



PROYECTO:

MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ

Informe de avance N°1 revisado

- ❖ **Evaluar la calidad de la información entregada por la red de monitoreo durante los últimos tres años.**
- ❖ **Evaluar la representatividad del monitoreo en el área cubierta por la red de monitoreo y los instrumentos de medición actualmente utilizados.**

Fecha de Entrega: 25 de noviembre 2019

Abreviaciones | Definiciones

| | |
|------------------|--|
| COP (VOC) | Compuesto Orgánico Persistente |
| CRA | Centro de Referencia Ambiental |
| EPA | Environmental Protection Agency - USA |
| FMI | Finnish Meteorological Institute (Instituto Metrológico de Finlandia) |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MPP | Meteorological Pre-processing |
| MP | Material Particulado |
| MS | Estado Miembro de la UE (Member State) |
| NILU | Norwegian Institute for Air Research (Norsk Institutt for luftforskning) |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| RM | Métodos de referencia |
| UE | Unión Europea |

Contenido

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1. | ANTECEDENTES | 5 |
| 2. | OBJETIVOS DEL PRIMER INFORME | 6 |
| 2.1. | Objetivo Específico 1 | 6 |
| 2.2. | Objetivo Específico 2 | 6 |
| 2.3. | Estructura del informe | 7 |
| 3. | RESULTADOS..... | 8 |
| 3.1 | Área de estudio | 8 |
| 3.2 | Evaluación diagnóstica a la base de datos de la red de calidad del aire y meteorología y descripción de tendencias estacionales y temporales de calidad del aire y las variables meteorológicas para el periodo 2016-2018..... | 15 |
| 3.2.1 | Normas de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) | 15 |
| 3.2.2 | Área de Quintero-Puchuncaví | 16 |
| 3.2.3 | Área de Concón | 49 |
| 3.3 | Evaluación de las condiciones del entorno, infraestructura, representatividad espacial y número relevante de las estaciones para monitorear el impacto industrial y la relevancia de sustancias/parámetros medidos | 65 |
| 3.4 | Evaluación del estado actual de los parámetros requeridos para la modelación de la calidad del aire | 67 |
| 3.4.1 | Medición de parámetros de altura..... | 68 |
| 3.4.2 | Modelación meteorológica y de calidad del aire | 69 |
| 3.5 | Evaluación de las técnicas de medición utilizadas y recomendaciones para estimar la contribución de las emisiones de quema de biomasa, aerosoles naturales y MP en suspensión producto de tráfico | 70 |
| 3.5.1 | Estaciones de monitoreo continuo y técnicas de monitoreo usadas..... | 70 |
| 3.5.2 | Comparación de las mediciones gravimétricas y continuas de MP | 71 |
| 3.5.3 | Campaña de monitoreo de COV implementada por NILU | 74 |
| 4. | CONCLUSIONES | 76 |
| 5. | BIBLIOGRAFIA | 78 |
| 6. | ANEXOS | 79 |
| 6.1 | Tablas de concentración de compuestos: valores promedios e intervalo de confianza del 95% | 79 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.2 | Fichas técnicas de las estaciones de monitoreo..... | 85 |
|-----|---|----|

1. Antecedentes

La Subsecretaría del Medio Ambiente del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) del Gobierno de Chile, ha contratado a Fundación Empresarial Eurochile para la ejecución de la consultoría denominada “MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ”.

Con la finalidad de dar cumplimiento a lo establecido en el Artículo 51, capítulo IX, del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (D.S N°105/2018), que establece la necesidad de la elaboración de estudios conducentes al rediseño y modernización de la Red de Monitoreo.

Eurochile mantiene vigente un convenio de colaboración con el Finnish Meteorological Institute (FMI), institución finlandesa que cuenta con experiencia y capacidad comprobada y reconocimiento en medición en aire y química atmosférica y en temas ad-hoc a la presente consultoría. Además, no es la primera vez que las dos instituciones trabajan en colaboración. En 2017, Eurochile fue contratada por la Subsecretaría del Medio Ambiente del MMA de Chile, como ejecutor del proyecto “Diseño de un Instituto Tecnológico y Centro de Referencia Ambiental (CRA)”, para lo cual Eurochile contrató al Instituto Ambiental de Finlandia (SYKE), el cual trabajó en conjunto con el FMI y el Centro de Investigación Tecnológica de Finlandia (VTT), consultoría y colaboración que resultó muy exitosa.

Por tal razón, y con el propósito de velar por el correcto desarrollo de un programa de mejoramiento, la Subsecretaría del MMA determinó suscribir un trato directo con Eurochile, a fin de que, juntamente con FMI en calidad de subcontratado por Eurochile, provean los servicios que se requieren para el cumplimiento del siguiente objetivo general:

“Realizar un diagnóstico del estado operacional actual de las 14 estaciones de monitoreo, seguido de la elaboración de una propuesta de rediseño, y en lo sucesivo, una auditoría técnica al sistema de monitoreo de calidad del aire y meteorología implementado en Concón, Quintero y Puchuncaví, con la finalidad de entregar recomendaciones y directrices para la implementación de una Red optimizada en base a estándares de la Unión Europea.”

El servicio requerido consta de una consultoría estratégica que se desarrolla en dos etapas:

- La primera correspondiente a la elaboración de un diagnóstico técnico de la Red de Monitoreo, y consecutivamente, la elaboración de un programa de rediseño según el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la zona que comprende las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, entregando recomendaciones sobre el número y clasificación de estaciones, parámetros a medir y metodologías a utilizar.
- La segunda etapa constituye la ejecución de una auditoría a las estaciones con posterioridad a la implementación del programa de rediseño. La finalidad de esta etapa es asegurar el grado de precisión de los sistemas de monitoreo y los protocolos QA/QC que se encuentren en funcionamiento producto de las recomendaciones establecidas en la primera fase.

Así, se establecen cuatro objetivos específicos a desarrollar en un periodo de 12 meses:

1. Evaluar la calidad de la información entregada por la red de monitoreo durante los últimos tres años.

2. Evaluar la representatividad del monitoreo en el área cubierta por la red y las medidas de los instrumentos actualmente utilizados.
3. Preparar recomendaciones técnicas y una propuesta conceptual de rediseño para la mejora y modernización de la actual red de monitoreo.
4. Ejecutar un proceso de auditoría a la nueva red de monitoreo luego de la implementación del programa de rediseño.

Este primer informe de avance tiene por objetivo entregar los productos para los objetivos 1 y 2 de la consultoría.

2. Objetivos del primer informe

A continuación, se presentan las actividades y objetivos específicos de este informe de avance 1 y se describe la estructura del informe.

2.1. Objetivo Específico 1

El primer objetivo de la consultoría es **“Evaluar la calidad de la información entregada por la red de monitoreo durante los últimos tres años”**. Este objetivo requiere el desarrollo de las siguientes actividades:

- a) Realizar una evaluación diagnóstica a la base de datos de la red de calidad del aire y meteorología para el periodo 2016-2018, indicando hallazgos en términos de calidad de la información y completitud de las series de tiempo.
- b) Describir las tendencias estacionales y temporales de calidad del aire y las variables meteorológicas registradas por la red de monitoreo para el mismo periodo 2016-2018.

Los resultados esperados incluyen una evaluación de la completitud de los datos basados en requerimientos de la Unión Europea, indicación de hallazgos en términos de desviaciones y otros aspectos relativos a la calidad de los datos, análisis de estadística descriptiva, comparación de las estaciones y valores de concentraciones medidos, descripción del comportamiento de los datos a nivel temporal (meses del año) y horario. Para este efecto, el Ministerio del Medio Ambiente aportará la base de datos y las fuentes de información necesarias para su realización (ver Anexos).

2.2. Objetivo Específico 2

El objetivo específico 2 es **“Evaluar la representatividad del monitoreo en el área cubierta por la red y las medidas de los instrumentos actualmente utilizados”** para lo cual se ha previsto el desarrollo de las siguientes actividades:

- c) Evaluar las condiciones del entorno, infraestructura, representatividad espacial y el número relevante de las estaciones para monitorear el impacto industrial y la relevancia de sustancias/parámetros medidos.
- d) Evaluar el estado actual de los parámetros requeridos para la modelación de la calidad del aire (por ejemplo, aplicación de modelos tipo Gaussiano u otros sugeridos).

- e) Evaluar las técnicas de medición utilizadas actualmente y proporcionar recomendaciones para estimar la contribución de las emisiones de quema de biomasa, aerosoles naturales y materiales particulados (MP) en suspensión producto de tráfico.

Los resultados esperados incluyen un reporte con observaciones realizadas a las condiciones físicas y localización espacial de las estaciones según estándares de la Unión Europea, teniendo en cuenta aspectos como: materiales de construcción e infraestructura de la estación, distancia a calles, obstrucciones naturales y residenciales en el entorno inmediato. Para esto, el Ministerio del Medio Ambiente apoyará al consultor con el levantamiento de la información en terreno (fotografías, fichas de las estaciones, información relevante, etc.). Adicionalmente, se deberá evaluar la pertinencia de los actuales parámetros medidos para optimizar la vigilancia del impacto industrial y modelos de calidad del aire. Para la definición de los compuestos/parámetros prioritarios a medir, el Ministerio dispondrá al consultor el último inventario de emisión generado para la zona.

2.3. Estructura del informe

Este informe se ha estructurado de la siguiente forma:

Una descripción del área de estudio y de los límites establecidos y los resultados de ambos objetivos se entregan en el apartado 3. Resultados. Las actividades realizadas y resultados para el objetivo 1 se presentan en el apartado 3.2, con un análisis dividido por zona de evaluación: una zona incluyendo las estaciones de monitoreo de calidad del aire ubicadas en las comunas de Quintero y de Puchuncaví y otra zona incluyendo las estaciones de la comuna de Concón.

Las actividades y resultados desarrollados para cumplir con el objetivo 2 se entregan en los apartados 3.3, 3.4 y 3.5, divididos por cada actividad asociada al objetivo.

En el apartado 4, se entregan las conclusiones generales del análisis desarrollado para los objetivos 1 y 2.

Todos los análisis, datos, comentarios y conclusiones presentados en los apartados 3 y 4 han sido preparados por el FMI. Eurochile apoyó con levantamiento de información, específicamente para la descripción del área de estudio.

Los anexos del informe corresponden a información entregada por el MMA, levantada en conjunto con el equipo de Eurochile, para el análisis por parte del FMI y la elaboración de este informe.

3. Resultados

A continuación, se entrega una descripción del área de estudio y luego se presentan los resultados obtenidos a raíz del desarrollo de las actividades incluidas en los objetivos 1 y 2.

3.1 Área de estudio

Este estudio tiene como objetivo analizar para luego proponer mejoras a la red de monitoreo de calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Las comunas de Quintero-Puchuncaví-Concón tienen una población de aproximadamente 100 000 habitantes y se caracterizan por presentar un clima mediterráneo costero con frecuentes inversiones térmicas. La estabilidad de la atmósfera cambia durante el día. Además, en la zona se encuentran importantes actividades industriales; el complejo industrial que data de 1960 consiste principalmente en la generación eléctrica, la fundición de cobre, la producción de petróleo y la actividad portuaria.

La red de calidad del aire de Quintero-Puchuncaví-Concón consta de 13 estaciones operativas: 9 estaciones en la zona norte de Quintero-Puchuncaví y 4 estaciones en la zona sur de Concón, más una estación meteorológica (Torre Meteorológica). Las tablas 1 y 2 presentan los parámetros de calidad del aire y meteorológicos medidos en cada estación de la red de monitoreo de calidad del aire en Quintero, Puchuncaví y Concón en el periodo 2016-2018.

Tabla 1. Parámetros de calidad del aire medidos por cada estación de la red de monitoreo de calidad del aire de Quintero, Puchuncaví y Concón en el periodo 2016-2018.

| Estación | SO ₂ | NO-NO ₂ - NO _x | O ₃ | CO | CH ₄ -NMHC- THC | PM _{2.5} | PM ₁₀ |
|----------------------------|-----------------|---|----------------|----|-------------------------------|-------------------|------------------|
| Quintero-Puchuncaví | | | | | | | |
| La Greda | X | X | X | | | X | X |
| Loncura | X | X | X | X | X | X | X |
| Los Maitenes | X | X | X | X | X | X | X |
| Puchuncaví | X | X | X | | | X | X |
| Quintero | X | X | X | X | | X | X |
| Quintero Centro | X | X | X | X | X | | |
| Sur | X | X | X | X | X | | X |
| Valle Alegre | X | X | X | | | | X |
| Ventanas | X | X | X | | X | X | X |
| Concón | | | | | | | |
| Colmo | X | X | X | X | X | | |
| Las Gaviotas | X | X | | X | X | | |
| Concón | X | X | X | X | X | X | X |
| Junta de Vecinos | X | X | | X | X | | |

Tabla 2. Parámetros meteorológicos medidos por cada estación de la red de monitoreo de calidad del aire de Quintero, Puchuncaví y Concón en el periodo 2016-2018.

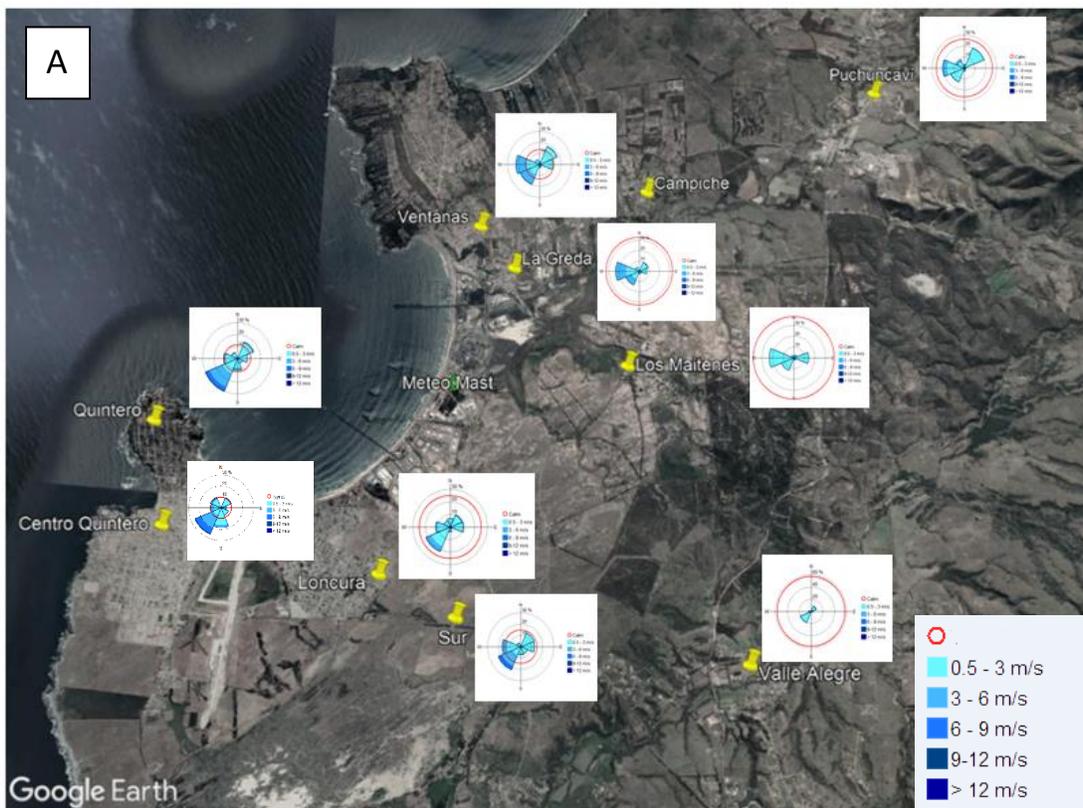
| Estación | ws | wd | swd | T | RH | Rad | Rain | P |
|---------------------|----|----|-----|---|----|-----|------|---|
| La Greda | X | X | X | | | | | |
| Loncura | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Los Maitenes | X | X | X | | | | | |
| Puchuncaví | X | X | X | | | | | |
| Quintero | X | X | X | | | | | |
| Quintero Centro | X | X | X | | | | | |
| Sur | X | X | X | | | | | |
| Valle Alegre | X | X | X | | | | | |
| Ventanas | X | X | X | | | | | |
| Colmo | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Las Gaviotas | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Concón | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Junta de Vecinos | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Torre Meteorológica | X | X | X | X | X | X | X | X |

El Inventario de Emisiones Atmosféricas, Prevención Atmosférica y Plan de Descontaminación (PPDA) para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (Air Quality Division, MMA, 2019) muestra que hay muchas fuentes fijas significativas de contaminación atmosférica ubicadas en la zona. Hay 7 fuentes para las cuales las emisiones atmosféricas de SO₂ superan las 10 toneladas/año. Además de la industria y la producción de energía (fuentes fijas), el tráfico de barcos también puede impactar significativamente sobre las emisiones de SO₂. Como la población en el área de estudio es en conjunto menos de 100 000, es probable que el tráfico o la quema a pequeña escala no sean la principal fuente de emisiones en el área. Sin embargo, es difícil evaluar el impacto de las diferentes fuentes de emisión en la calidad del aire en función de las cantidades totales de emisión, ya que muchos otros factores como el máximo de las fuentes de emisión, la temperatura de los gases de combustión, entre otros, y el entorno (condiciones topográficas y meteorológicas) alrededor de las fuentes de emisión tienen un gran impacto en las condiciones de dispersión de las emisiones. Es posible que emisiones de fuentes fugitivas, aunque limitadas, causen una mayor concentración de contaminación a nivel del suelo/a la altura respiratoria alrededor del operador en comparación con las emisiones, en cantidades totales mayores, emitidas por altas chimeneas con gases de combustión a alta temperatura. Sin embargo, las rosas de concentración (por ejemplo, Figura 6) pueden apoyar el análisis de la definición del origen de la emisión al evaluar el impacto de las diferentes fuentes de emisión en las concentraciones medidas en las estaciones.

El área tiene una topografía específica que afecta a las condiciones meteorológicas locales, tales como la dirección y velocidad de los vientos, ya que está bordeada por el Océano Pacífico Sur en el Oeste y la Cordillera de los Andes en el Este. Esto se puede ver en las mediciones meteorológicas realizadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire. Las estaciones ubicadas cerca de la línea costera como Quintero y Centro Quintero tienen velocidades de viento más altas y situaciones menos tranquilas (velocidad del viento inferior a 0,5 m/s) que las estaciones ubicadas más cerca o entre áreas elevadas como Valle Alegre y Los Maitenes. El análisis de los parámetros de la Torre Meteorológica se incluirá en el informe de avance N°2. Sin embargo, en el informe “Evaluación y Rediseño de las Redes de Monitoreo de Calidad del Aire” realizado por el Centro Mario Molina en 2016-2017, se indica que los patrones de ventilación día y noche mostrados en la Estación

Meteorológica Principal son similares a los encontrados en todas las estaciones meteorológicas ubicadas en la costa de la Red Puchuncaví (Estaciones Ventanas, La Greda, Los Maitenes) (Centro Mario Molina, 2017). Por otro lado, es muy probable que los alrededores de Valle Alegre estén bloqueando el flujo libre del viento, ya que la proporción de situaciones de calma es considerablemente alta, siendo de casi el 60% durante las mediciones de 2016-2018. La razón de esto podría ser las montañas y el elevado nivel del suelo a ambos lados de la estación. Aparentemente, también hay árboles altos alrededor de la estación que podrían contribuir a la situación (Ver anexo ficha técnica Valle Alegre). Las estaciones de Puchuncaví, La Greda, Los Maitenes y Loncura tienen entre un 25 % y más de un 35 % de situaciones de calma. Los árboles y los edificios grandes pueden bloquear el flujo del viento alrededor de la estación e influir en los resultados de supervisión. Se recomienda tener en cuenta y minimizar los posibles obstáculos que bloquean el libre flujo del viento alrededor de las estaciones.

En las figuras 1.A y 2.A se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en ambas áreas del estudio presentadas con las rosas de viento que muestran la dirección de los vientos predominantes, la proporción de las diferentes velocidades del viento y las situaciones de calma en los diferentes sectores de viento. Las direcciones de viento predominantes en el área de Quintero-Puchuncaví son Oeste y Suroeste y en el área de Concón, la dirección del viento predominante varía de acuerdo a la ubicación de la estación. En particular, en las estaciones de Colmo y Las Gaviotas la dirección predominante del viento es Este y Oeste. También hay mapas topográficos de elevación del terreno que se muestran en las figuras 1.B y 2.B.



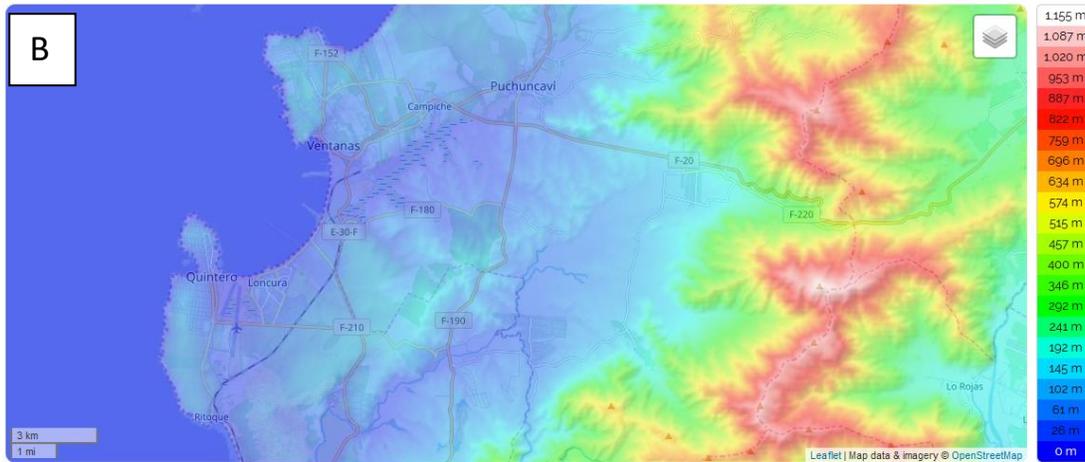
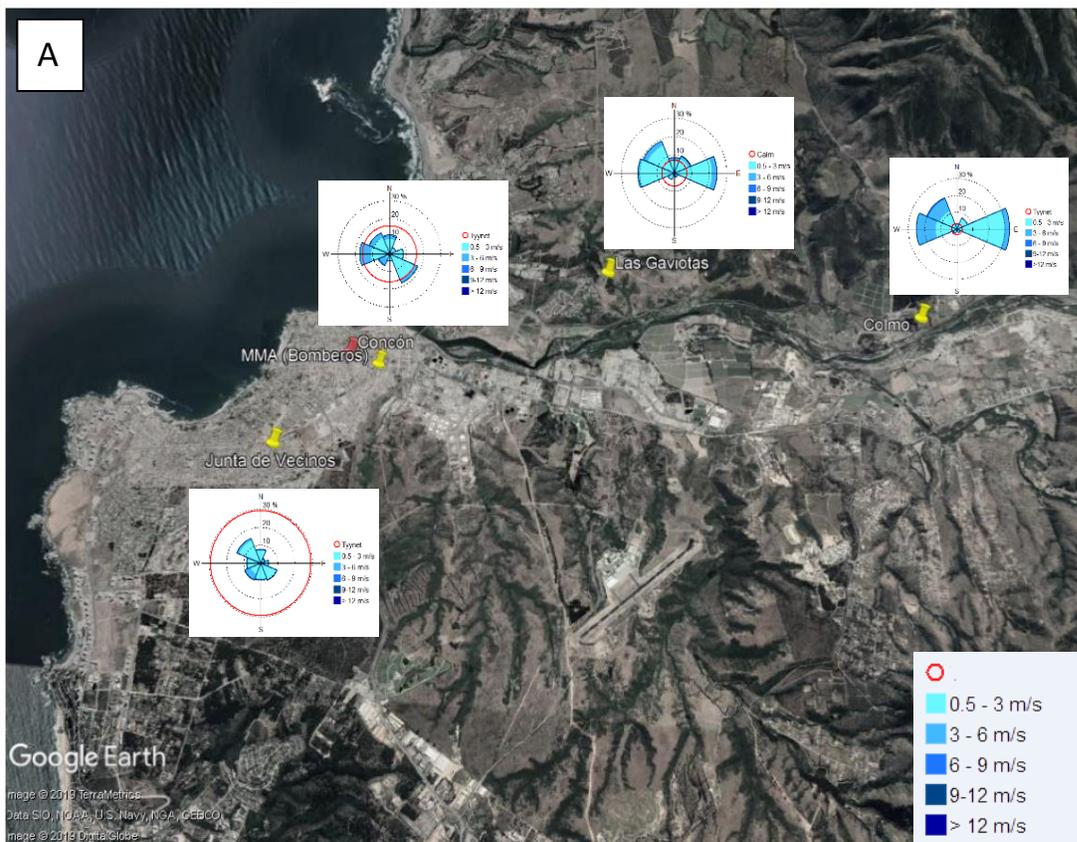


Figura 1. A: Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví y las rosas de viento que representan los porcentajes de distribución del viento entre los diferentes sectores; los círculos rojos representan la proporción de situaciones de calma. Se menciona la estación Campiche solo como referencia, ya que no fue considerada como representativa poblacionalmente por la superintendencia (DFZ-2017-3678-VNC-EI). **B:** Mapa topográfico de la zona.



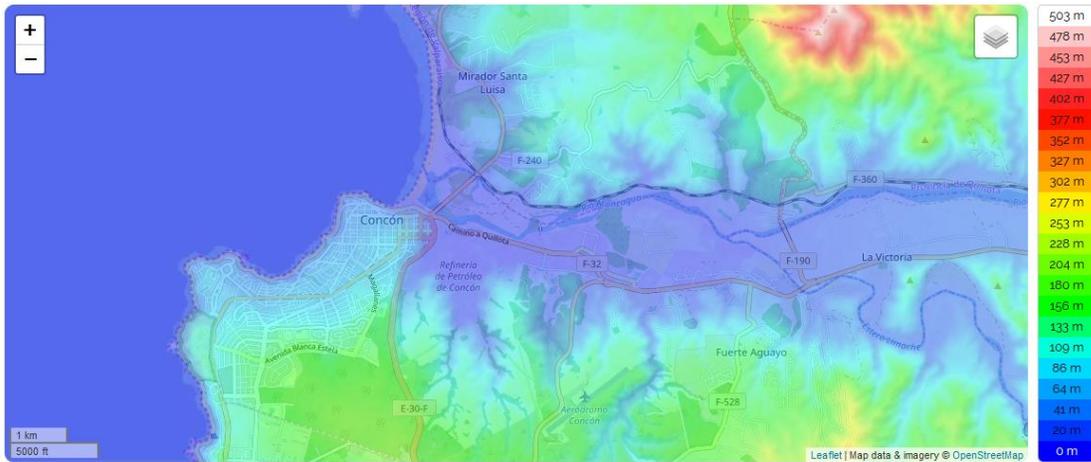


Figura 2. A: Ubicación de las estaciones de supervisión de la calidad del aire en el área de Concón y las rosas de viento que representan los porcentajes de distribución del viento entre los diferentes sectores; los círculos rojos representan la proporción de situaciones de calma. **B.** Mapa topográfico de la zona.

A continuación, se describe en detalle el parque industrial del área de estudio: dónde se ubican las empresas de la zona (figuras 3 y 4) y sus actividades industriales (tablas 3 y 4).

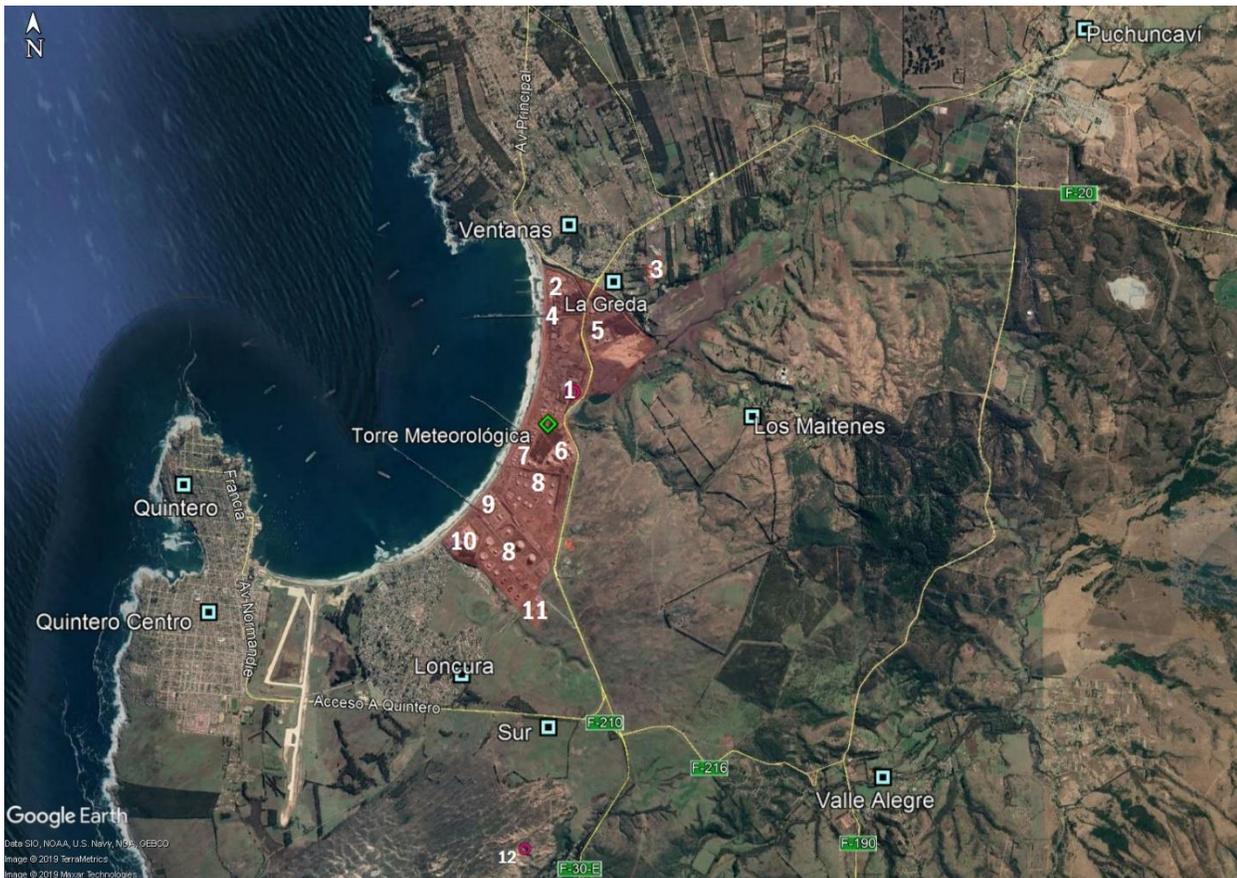


Figura 3. Ubicación geográfica del parque industrial del área de Quintero-Puchuncaví.

Tabla 3. Descripción de cada empresa y su actividad industrial del área de Quintero-Puchuncaví

| N° | Nombre empresa | Actividades |
|----|---------------------|--|
| 1 | CODELCO | Fundición y refinación de cobre |
| 2 | Aes-GENER | Central termoeléctrica a carbón(4 unidades) |
| 3 | ENEX | Almacenamiento de hidrocarburos |
| 4 | Puerto Ventanas | Terminal marítimo para exportación de concentrados de cobre, acopios de concentrados, abastecimiento de carbón, transferencia a buques de hidrocarburos. |
| 5 | Melón | Acopio de carbón y petcoke, planta de molienda de cemento, almacenamiento y transferencia. |
| 6 | Gasmar | Carga y descarga (de buques) y almacenamiento de gas licuado de petróleo (LPG). |
| 7 | Oxiquim | Terminal marítimo, almacenamiento y transferencia de compuestos orgánicos (tolueno, fenol, potasa caustica, gas licuado) |
| 8 | ENAP | Almacenamiento de crudo para combustible |
| 9 | GNL Quintero | Terminal marítimo, planta de regasificación y almacenamiento (gas natural licuado; GNL) |
| 10 | COPEC, SHELL | Planta de lubricantes |
| 11 | Enel | Central termoeléctrica (2 turbinas a GNL) |
| 12 | Áridos Santa Ángela | Extracción de áridos (arena) |

**Figura 4.** Ubicación geográfica del parque industrial del área de Concón.**Tabla 4.** Descripción de cada empresa del área de Concón y su actividad industrial.

| N° | Nombre empresa | Actividades |
|----|--------------------------|--|
| 1 | ENAP Refinería Aconcagua | Refinación y distribución de hidrocarburos, producción de gas licuado, gasolina, kerosene, diésel, solventes, fuel oil, pitch asfálticos y carbón de petróleo. |
| 2 | BASF | Plantas productivas de dispersiones, resinas y saponinas |
| 3 | Bosques del Mauco | Producción de champiñones |

Las tablas 5 y 6 muestran las distancias entre cada estación de monitoreo y las potenciales fuentes de contaminación:

Tabla 5. Registro de distancias entre las estaciones de monitoreo del área de Quintero-Puchuncaví y cada potencial fuente de emisión de contaminantes.

| Estación de Monitoreo | Punto de referencia | Distancia | Orientación |
|-----------------------|---|-----------|-------------|
| La Greda | Central eléctrica de carbón | 0.6 km | W |
| | Refinería de cobre (chimenea) | 1.6 km | SSW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos | 0.5 km | E |
| | Casa mas cercana | 30 m | S |
| | Calle | 17 m | S |
| | Carretera (F-30-E) | 175 m | NW |
| Loncura | Refinería de cobre (chimenea) | 3.9 km | NNE |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburo | 1.5 km | NNE |
| | Casa mas cercana | 8 m | SW |
| | Calle pavimentada | 30 m | NW |
| | Calle no pavimentada | 30 m | SE |
| Los Maitenes | Fundición de cobre y refinería (chimenea) | 2.4 km | WNW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENAP) | 2.7 km | SW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENEX) | 2.3 km | NNW |
| | Casa mas cercana | 42 m | NW |
| | Calle pavimentada | 100 m | N |
| | Planta de lixiviación (pequeña minería) | 0.6 km | NE |
| Puchuncavi | Fundición de cobre y refinería (chimenea) | 8.3 km | SW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENAP) | 6.5 km | SW |
| | Central eléctrica de carbón | 7.7 km | WSW |
| | Casa mas cercana | 18 m | NW |
| | Calle (camino) | 70 m | W |
| Quintero | Refinería de cobre (chimenea) | 5 km | |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos | 4 km | |
| | Casa mas cercana | 4.5 m | |
| | Calle | 9 m | |
| | Intersección de calles | 51 m | |
| Quintero Centro | Refinería de cobre (chimenea) | 5.5 km | NE |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos | 3.9 km | E |
| | Casa mas cercana | 13 m | W |
| | Calle | 18 m | S |
| | Intersección de calles | 30 m | SE |
| Sur | Fundición de cobre y refinería (chimenea) | 4.3 km | N |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENAP) | 2.1 km | NNW |
| | Central eléctrica de carbón | 7.7 km | WSW |
| | Casa mas cercana | 48 m | NW |
| | Calle pavimentada | 140 m | N |
| | Camino | 0.9 km | E |
| Valle Alegre | Fundición de cobre y refinería (chimenea) | 2.4 km | WNW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENAP) | 2.7 km | SW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENEX) | 2.3 km | NNW |
| | Casa mas cercana | 42 m | NW |
| | Calle pavimentada | 100 m | N |
| | Planta de lixiviación (pequeña minería) | 0.6 km | NE |
| Ventanas | Refinería de cobre (chimenea) | 2.3 km | S |
| | Central eléctrica de carbón | 0.7 km | SSW |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENEX) | 1.2 km | SE |
| | Tanques de almacenamiento de hidrocarburos (ENAP) | 3.5 km | SSW |
| | Casa mas cercana | 8 m | NNW |
| | Calle pavimentada | 135 m | S |

Tabla 6. Registro de distancias entre las estaciones de monitoreo del área de Concón y cada potencial fuente de emisión de contaminantes.

| Estación de Monitoreo | Punto de referencia | Distancia | Orientación |
|-----------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| Junta de Vecinos | Refinería de petróleo | 2.1 km | ENE |
| | Planta Química (BASF) | 3.6 km | NE |
| | Casa mas cercana | 17 m | S |
| | Intersección de calle | 85 m | SE |
| | Panadería | 58 m | N |
| Las Gaviotas | Refinería de petróleo | 1.8 km | SW |
| | Planta Química (BASF) | 1.1 km | W |
| | Casa mas cercana | 50 m | W |
| | Calle pavimentada | 50 m | N |
| Concon | Refinería de petróleo | 1 km | E |
| | Casa mas cercana | 3.8 m | S |
| | Casa | 7.6 m | E |
| | Casa | 12.4 m | W |
| | Intersección de calle | 59 m | NE |
| | Calle pavimentada | 23 m | N |
| Colmo | Refinería de petróleo | 5 km | WSW |
| | Casa mas cercana | 7 m | W |
| | Casa con chimenea | 30 m | E |
| | Carretera (F-190) | 152 m | W |

3.2 Evaluación diagnóstica a la base de datos de la red de calidad del aire y meteorología y descripción de tendencias estacionales y temporales de calidad del aire y las variables meteorológicas para el periodo 2016-2018

3.2.1 Normas de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Las directrices de la OMS sobre calidad del aire, aplicables en todas las regiones dónde se encuentra la OMS, están designadas para ofrecer orientación para reducir los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. Sobre la base de las pruebas científicas, los valores referencia de la OMS (World Health Organisation, 2006; World Health Organisation, 2017) para los contaminantes atmosféricos más comunes se presentan en la tabla 7:

Tabla 7. Valores referencia de la OMS para los contaminantes atmosféricos más comunes

| Contaminante | Período promedio | Directrices de calidad del aire de la OMS (g/m ³) |
|---|------------------|---|
| Material Particulado (PM10) | 24 horas | 50 |
| | 1 año | 20 |
| Material Particulado (PM2.5) | 24 horas | 25 |
| | 1 año | 10 |
| Dióxido de nitrógeno (NO ₂) | 1 hora | 200 |
| | 1 año | 40 |
| Dióxido de azufre (SO ₂) | 10 minutos | 500 |
| | 24 horas | 20 |

3.2.2 Área de Quintero-Puchuncaví

En el área de Quintero-Puchuncaví hay nueve (9) estaciones de monitoreo de calidad del aire. La Greda y Ventanas se encuentran a sólo un par de cientos de metros al norte de la orilla del parque industrial. Los Maitenes se encuentra a dos kilómetros al este del parque. Loncura y Sur están a un kilómetro al sur. Quintero y Quintero Centro se encuentran en zonas urbanas y residenciales a un par de kilómetros al oeste del parque industrial. Y Puchuncaví y Valle Alegre están a unos 7 kilómetros al noreste y sureste, respectivamente. Por lo tanto, hay 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire que se encuentran dentro de un radio de 10 kilómetros de las principales fuentes de emisión (fundición de cobre y refinería, central de energía de carbón, tanques de almacenamiento de hidrocarburos). Las nueve estaciones de monitoreo miden dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), seis estaciones miden MP_{2,5}, ocho estaciones el MP₁₀ y O₃, cinco estaciones el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no metano (VOCNM) y metano (CH₄). Por lo tanto, la red de monitoreo de calidad del aire y el número de estaciones de monitoreo pueden considerarse muy densos y extensos teniendo en cuenta la cantidad de residentes en la zona y los niveles de concentración de muchos contaminantes.

3.2.2.1 Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ se monitorea en las nueve (9) instalaciones de monitoreo de la red de Quintero-Puchuncaví. Las series de tiempo por hora muestran que la calidad de los datos es razonablemente buena:

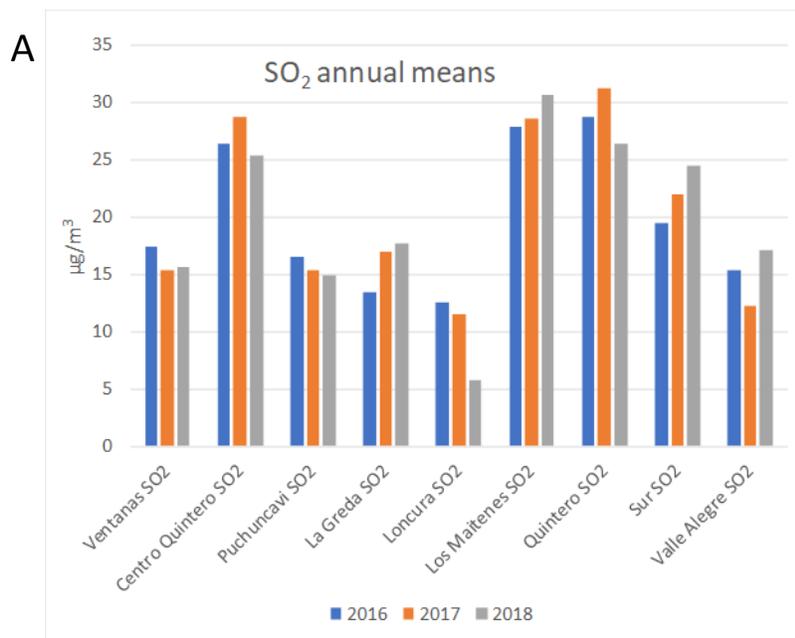
- La cobertura de datos es muy buena (95-98 % para cada estación por año, excepto Centro Quintero en 2016, con sólo el 40 %);
- El nivel cero de los resultados del monitoreo es normal, no hay deslizamiento visible del nivel cero;
- Los datos tienen ciclos diurnos realistas;
- Los datos tienen un comportamiento típico para el SO₂ y en la mayoría de los casos son realistas;
- Desde marzo de 2018, la estación de calidad del aire de Loncura tiene concentraciones de SO₂ excepcionalmente bajas en comparación con otras estaciones.

Cabe destacar que los peaks horarios más altos son significativos (figura 7): durante el período de estudio de 2016-2018 se registraron frecuentemente valores horarios superiores a 500 µg/m³ en La Greda (3 veces),

Ventanas (5 veces), Los Maitenes (63 veces), Loncura (3 veces), Sur (14 veces), Quintero (120 veces) y Quintero Centro (17 veces). Sin embargo, estos valores máximos no se producen simultáneamente. Esto se ve claramente en el ciclo diurno de los valores horarios. Las dos instalaciones con los niveles más altos de SO₂, Quintero y Los Maitenes, tienen un comportamiento diurno muy diferente. Los Maitenes (línea roja gruesa en figura 5.B) comienza a aumentar por la mañana, alcanza su punto máximo al mediodía y durante la noche la concentración es baja. El ciclo de Quintero (azul grueso en figura 5.B) es opuesto a esto. Una vez más, la brisa marina diurna trae la contaminación a Los Maitenes, mientras que durante la noche la brisa terrestre la lleva a Quintero y Quintero Centro. Como resultado, en las primeras horas de la mañana el nivel de concentración de SO₂ en las áreas densamente pobladas del municipio de Quintero alcanza valores tan altos como 50-60 µg/m³.

La proximidad de las principales emisiones de SO₂ del área del parque industrial y el tráfico marítimo con las actividades portuarias, junto con los factores meteorológicos y topográficos locales, provocan una grave exposición al SO₂ en los residentes de Quintero. De las zonas residenciales, Loncura también está muy expuesta, aunque los niveles de concentración parecen excepcionalmente bajos en comparación con las otras estaciones en 2018. Los valores promedios anuales y el ciclo diurno del SO₂ se presentan en la figura 5 y los valores promedios anuales de SO₂ con línea de tendencia de media deslizante de 30 días se presentan en la figura 7. Las rosas de concentración de contaminación se presentan en la figura 6. Los valores horarios de SO₂ se presentan en la figura 8.

Se observa que las concentraciones más altas de SO₂ ocurren en muchos casos durante julio-agosto (período invernal). Es muy probable que los niveles de emisión de SO₂ se mantengan iguales a lo largo del año, por lo que es factible que las mayores concentraciones en la temporada de invierno sean causadas por las condiciones meteorológicas estacionales. Durante los meses de invierno, el SO₂ permanece como gas durante más tiempo en la atmósfera ya que la transformación fotoquímica en sulfuros no se está produciendo tan rápido como durante los meses de verano. Las situaciones de inversión también son más comunes en los meses de invierno que en los meses de verano.



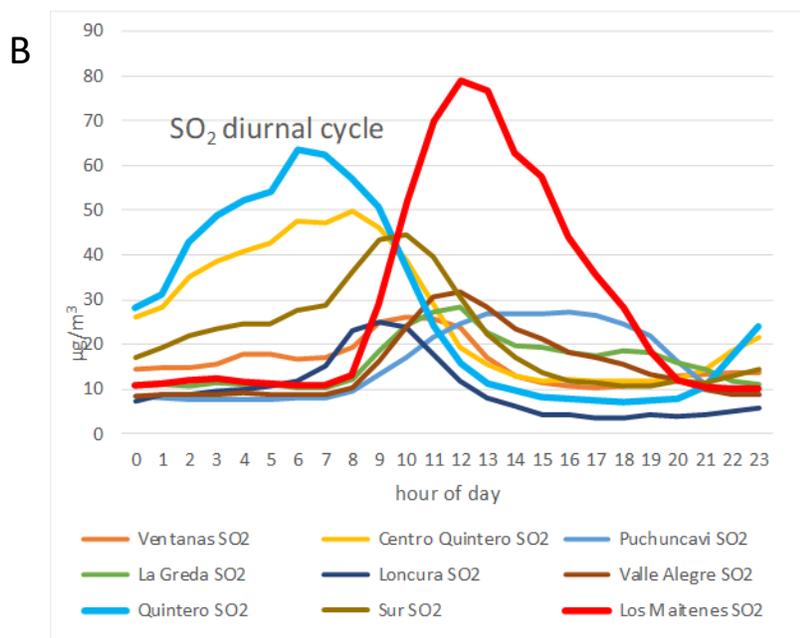


Figura 5. A. Valores promedio anuales de SO₂ (µg/m³N) medidos en 9 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví. B. Ciclo diario de concentraciones de SO₂ de las mismas 9 estaciones de calidad del aire de la zona

Generalmente, las concentraciones de SO₂ de todas las estaciones son muy altas, excepto en la estación de calidad del aire de Loncura que, desde marzo de 2018, tiene concentraciones de SO₂ excepcionalmente bajas en comparación con otras estaciones. La pregunta es ¿qué ha ocurrido en la estación o en sus alrededores en marzo 2018 para provocar un cambio significativo en los niveles de concentración? Se espera resolver esta duda durante la visita a Chile en noviembre 2019 e incluir conclusiones en el informe 2.

En la figura 6 se presentan las rosas de concentración de SO₂ en cada estación de calidad del aire. Las rosas de concentración pueden utilizarse para analizar las posibles fuentes de contaminación y para definir las direcciones del viento con las mayores concentraciones de SO₂ medidas en la estación de monitoreo. De acuerdo al análisis realizado, las principales fuentes de concentración de SO₂ parecen ser el área industrial, el tráfico marítimo y las actividades portuarias.

Las estaciones de La Greda y Loncura se encuentran en las cercanías (a menos de 3 kilómetros) de otras estaciones de calidad del aire. Se recomienda que estas estaciones proporcionen información adicional sobre las concentraciones de SO₂ en comparación con otras estaciones cercanas. De lo contrario, no es necesario contar con las 9 estaciones para disponer de suficiente información sobre los niveles de concentración de SO₂ y su variación en la zona. Por lo tanto, en la planificación a largo plazo de la red de supervisión, serían suficientes menos puntos de vigilancia de SO₂ (aproximadamente 4 estaciones de SO₂) para la zona, aunque las concentraciones sean elevadas. Sin embargo, en caso de que se reduzca el número de mediciones de SO₂, deben tenerse en cuenta minuciosamente la ubicación, representatividad y calidad de las estaciones restantes. Esto se abordará en más detalle en el informe de avance N°2.

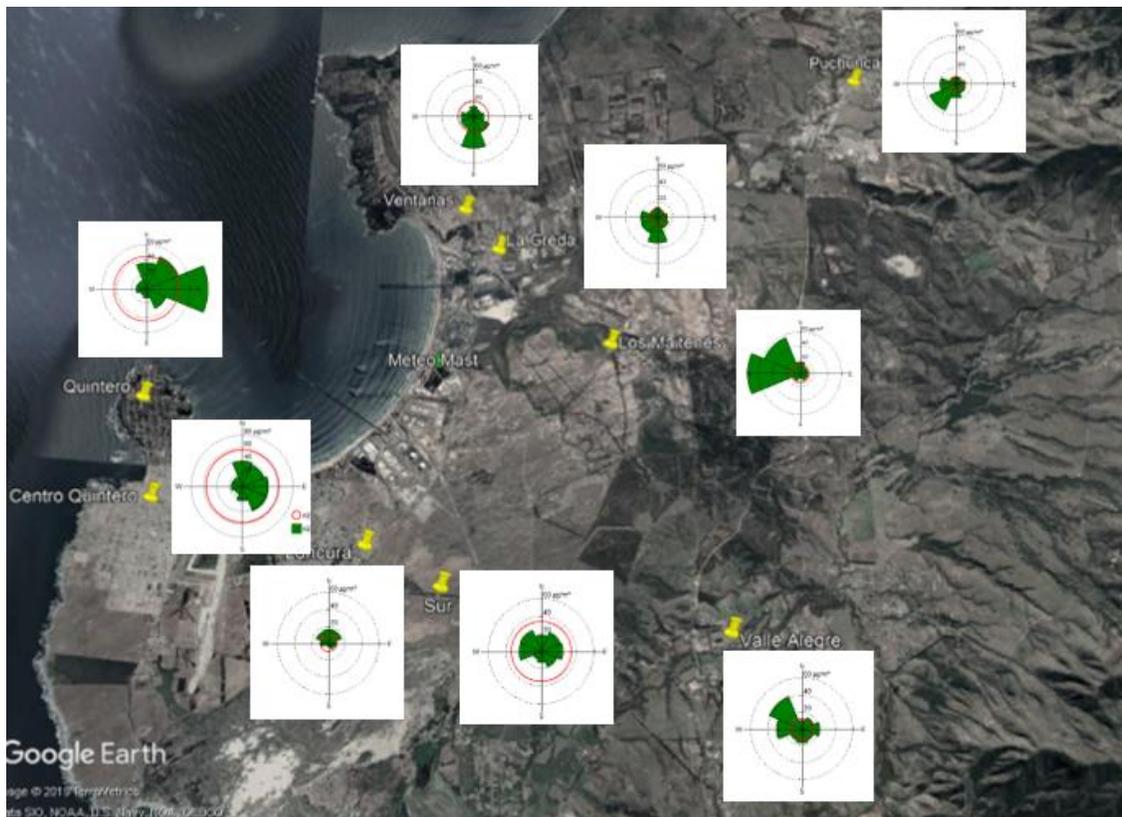


Figura 6. Foto del área de Quintero-Puchuncaví con rosas de la contaminación por SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidas en 9 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví. La rosa de contaminación indica de qué dirección del viento provienen las mayores concentraciones.

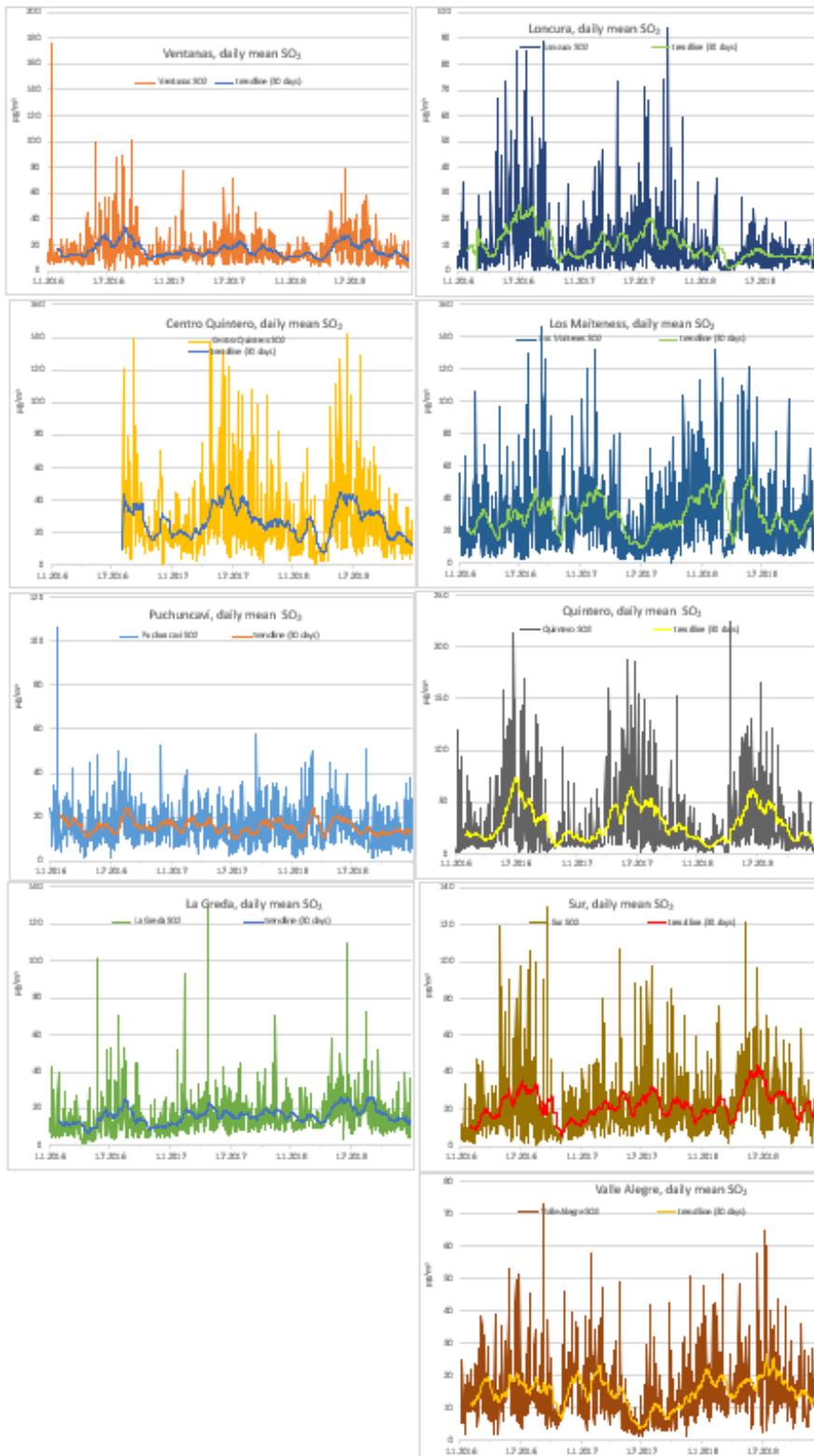


Figura 7. Valores promedio anuales de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) con línea de tendencia de media deslizando de 30 días medidos en 9 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví.

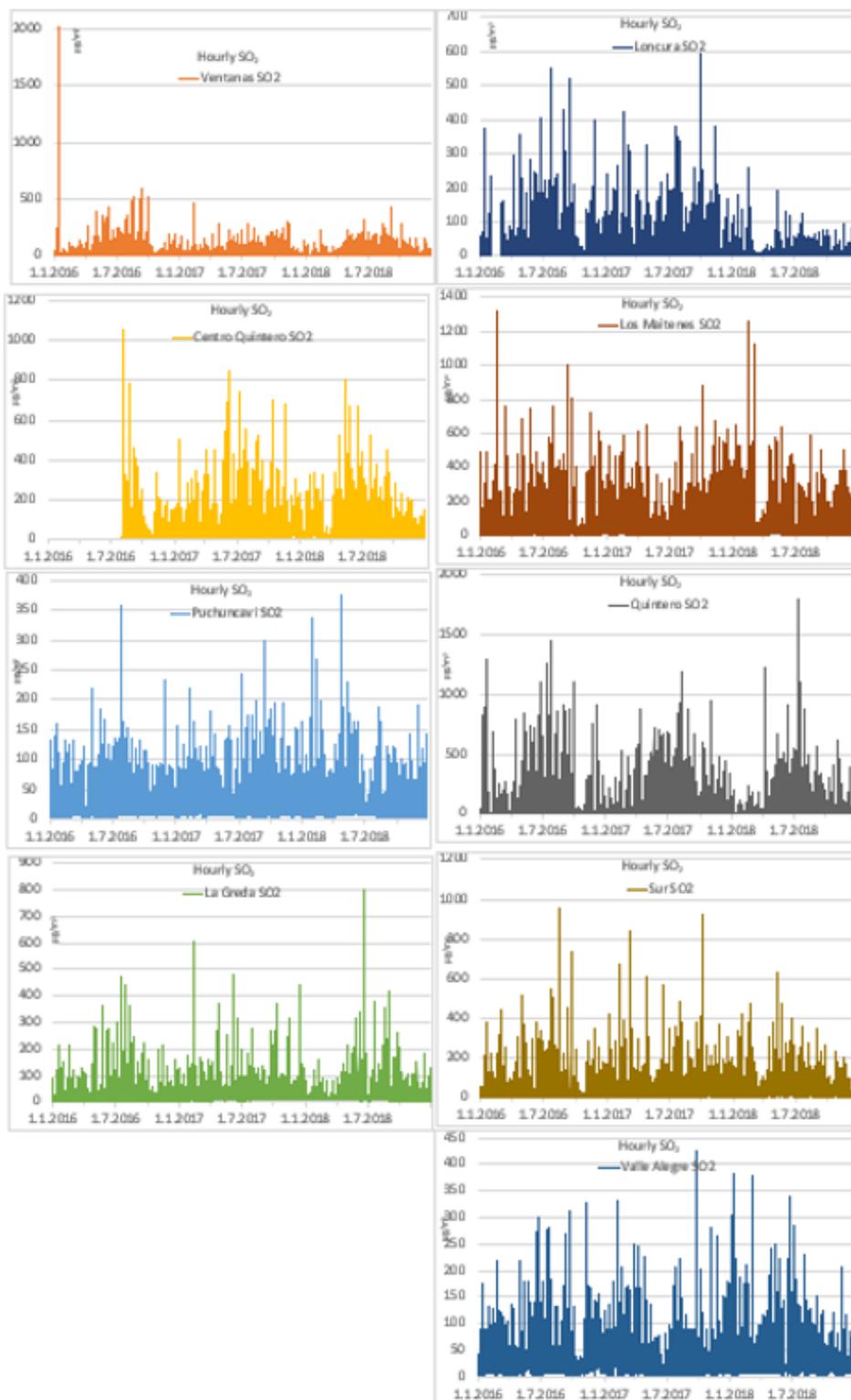


Figura 8. Valores promedio por hora de SO₂ (µg/m³N) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví.

3.2.2.2 Material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀)

PM_{2.5}

El PM_{2.5} se monitorea con analizadores continuos en seis instalaciones (La Greda, Quintero, Loncura, Ventanas, Puchuncaví y Los Maitenes) en el área de Quintero-Puchuncaví. Todas estas estaciones también están equipadas con muestreadores que se utilizan para recoger material particulado en las muestras de filtro (método gravimétrico). De acuerdo con las series de tiempo, los promedios anuales (figura 9), promedio 1 hora (Figura 10) y las variaciones diurnas (figura 11), los datos son generalmente buenos;

- La cobertura de datos es buena (91-100 % por estación y año);
- El nivel cero de la supervisión es generalmente bueno, no se observan problemas importantes en los datos;
- Los datos son realistas y tienen patrones lógicos;
- El muestreo por filtro (análisis gravimétrico) de partículas en cada estación es una adición interesante. Para fines de optimización es bueno considerar si es necesario hacerlo en todas las estaciones en paralelo y qué información proporciona el muestreo con respecto a la red de supervisión y/o calidad del aire. ¿Se validan los datos del analizador continuo frente al análisis gravimétrico de las muestras de filtro recogidas?

Las concentraciones de PM_{2.5} son altas en toda el área. El valor de referencia diario de la OMS de PM_{2.5} (25 µg/m³) se supera con frecuencia en los seis puntos de monitoreo, la mayoría de las veces durante el período invernal, pero también durante los episodios estivales. El número de excesos durante el periodo de estudio es La Greda= 140; Quintero=128; Loncura=123; Ventanas=114; Puchuncaví=110 y Los Maitenes=57 (figura 11). El promedio anual de PM_{2.5} supera el valor de referencia de la OMS (10 µg/m³) en todos los sitios (figura 9).

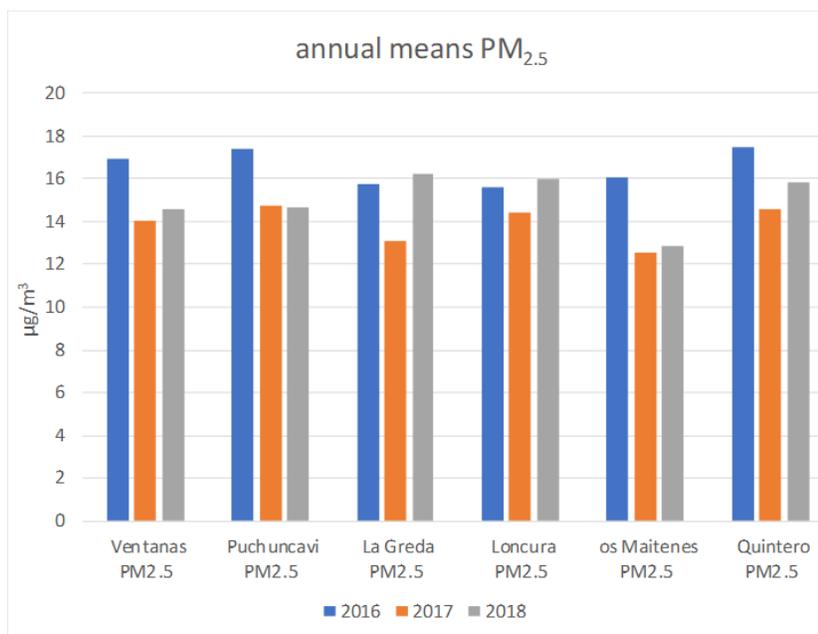


Figura 9. Valores promedios anuales de PM_{2.5} (µg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

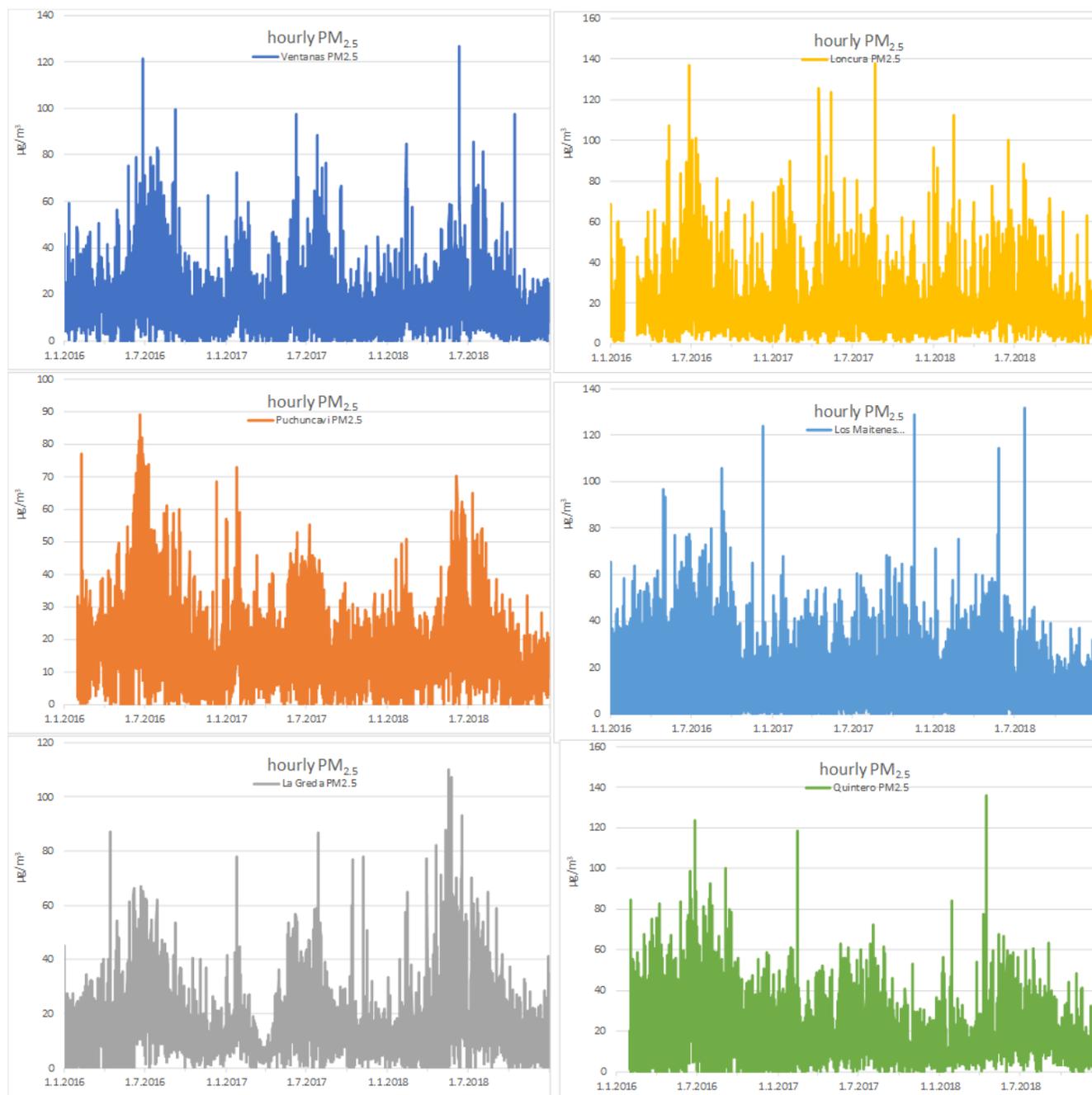


Figura 10. Valores por hora de PM_{2.5} (µg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

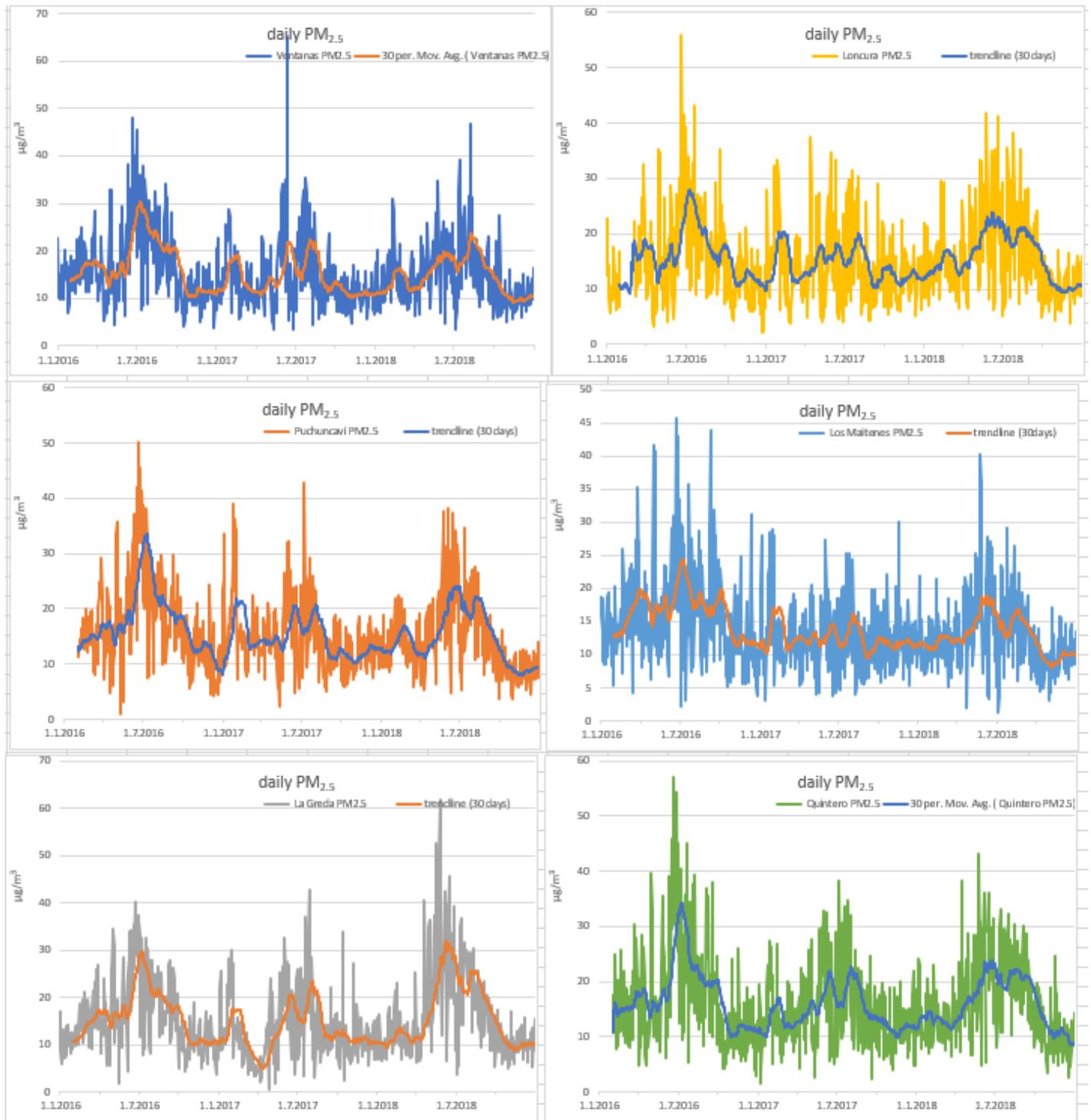


Figura 11. Valores diarios de PM_{2.5} con línea de tendencia (media deslizante de 30 días, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018. Estándar nacional para el promedio diario de PM_{2.5} es 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ N

Curiosamente, hay varios tipos de fluctuaciones diarias de $PM_{2.5}$ en esta área. El patrón principal podría ser el máximo nocturno debido a la mezcla limitada (figura 15). En las tres instalaciones (Ventanas, Puchuncaví y La Greda) más cercanas al polígono industrial el ciclo diario es bimodal, con segundos máximos diurnos, quizás debido a las elevadas emisiones. La sincronización de los picos en Loncura sugiere una combinación típica de emisiones de tráfico y variación diurna de la estabilidad atmosférica. Ventanas y La Greda podrían verse afectadas por la actividad industrial (Inventario de Emisiones). Quintero y Los Maitenes (figura 16) repiten el patrón diurno ya visto en el caso del SO_2 , el transporte de la masa de aire contaminada con la brisa mar-tierra. En base a las variaciones diurnas y similares, es muy probable que las altas concentraciones sean causadas por fuentes locales.

En este caso, las fuentes locales indican que es muy probable que el material particulado $PM_{2.5}$ medido en las estaciones contenga:

- sulfatos inorgánicos secundarios (relacionados con las considerables emisiones de SO_2 en la zona procedentes de la industria, la producción de energía, la navegación y las actividades portuarias),
- aerosoles orgánicos secundarios (COV),
- algunas emisiones directas de la industria de la zona,
- posiblemente algo de sal marina (más en la fracción PM_{10})
- posiblemente también la combustión residencial, especialmente en las estaciones situadas cerca de las zonas residenciales

Dado que la densidad de población de la zona es limitada (en total alrededor de 100 000 habitantes en las zonas de Quintero-Puchuncaví y Concón), no se prevé que el tráfico o la combustión residencial de los residentes locales tengan un impacto importante en las concentraciones de partículas ($MP_{2.5}$). En cambio, es muy probable que las actividades industriales pesadas de la zona tengan un impacto considerable en las concentraciones de $MP_{2.5}$ en la zona.

Los niveles de concentración anual en las diferentes estaciones de medición de calidad del aire (figura 9) son similares y no difieren mucho. Las rosas de concentración (figura 14) de las estaciones indican que las concentraciones de $MP_{2.5}$ medidas en cada estación no tienen un sector **eólico** predominante claro con las concentraciones más altas de $MP_{2.5}$, sino que las concentraciones se miden por igual en todos los sectores **eólicos** de todas las estaciones de medición. Esto sugiere que el $MP_{2.5}$ de la zona se forma principalmente por partículas secundarias envejecidas que crean una «masa de aire contaminada» en la zona y sus alrededores.

La relación entre la concentración de SO_2 y $MP_{2.5}$ medida en las estaciones de Quintero y Maitenes (figuras 12 y 13) también respalda esa suposición ya que no existe correlación entre las concentraciones de SO_2 y $MP_{2.5}$. Esto indica que SO_2 y $MP_{2.5}$ tienen diferentes fuentes. Las emisiones de SO_2 provienen principalmente de fuentes de emisiones directas, como la industria, la producción de energía y el tráfico de buques, y $MP_{2.5}$ son partículas secundarias (por ejemplo, sulfatos formados a partir de emisiones directas).

En base a los actuales resultados disponibles del monitoreo de la calidad del aire, no es posible evaluar o concluir de manera fiable el impacto de las diferentes fuentes de emisión en la calidad del aire en el área de estudio. Se necesitarían mediciones más detalladas, como el análisis químico (metales, aniones y cationes, y algunos oligoelementos como el levoglucosano) de las muestras de filtro de partículas, para realizar un análisis

más detallado de la distribución de las partículas en la fuente y analizar el impacto de diferentes fuentes de emisión en los niveles de contaminación en el área. Este análisis se incluirá en el informe de avance N°2.

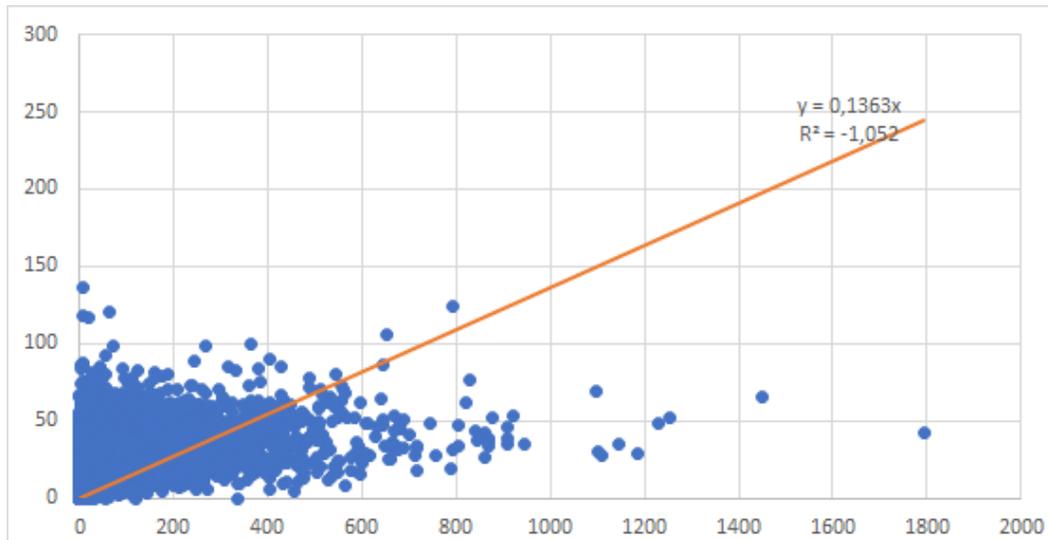


Figura 12. Relación entre la concentración de SO₂ por hora (eje x) y las concentraciones de PM_{2.5} por hora (eje y) en la estación de Quintero.

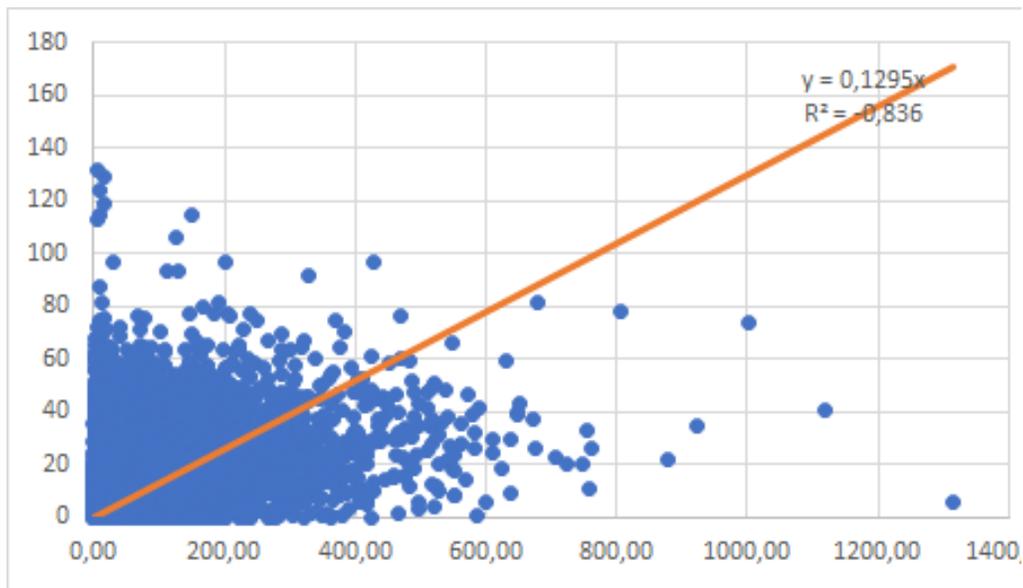


Figura 13. Relación entre la concentración de SO₂ por hora (eje x) y las concentraciones de PM_{2.5} por hora (eje y) en la estación de Maitenes.



Figura 14. Rosas de contaminación por $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) basadas en mediciones en 6 estaciones de monitoreo AQ en el área de Quintero-Puchuncaví. La rosa de contaminación indica de qué dirección del viento provienen las mayores concentraciones.

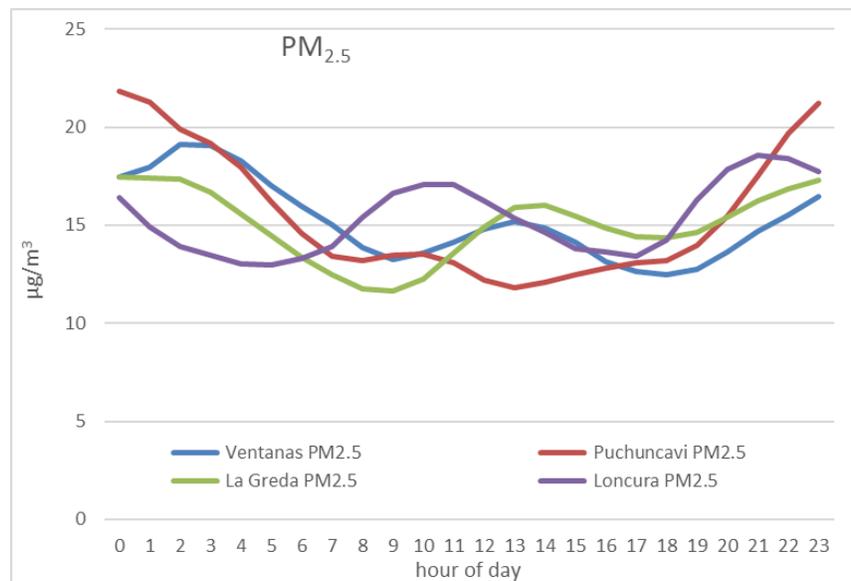


Figura 15. Ciclo diario de valores de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Ventanas, La Greda, Puchuncaví y Loncura entre 2016-2018.

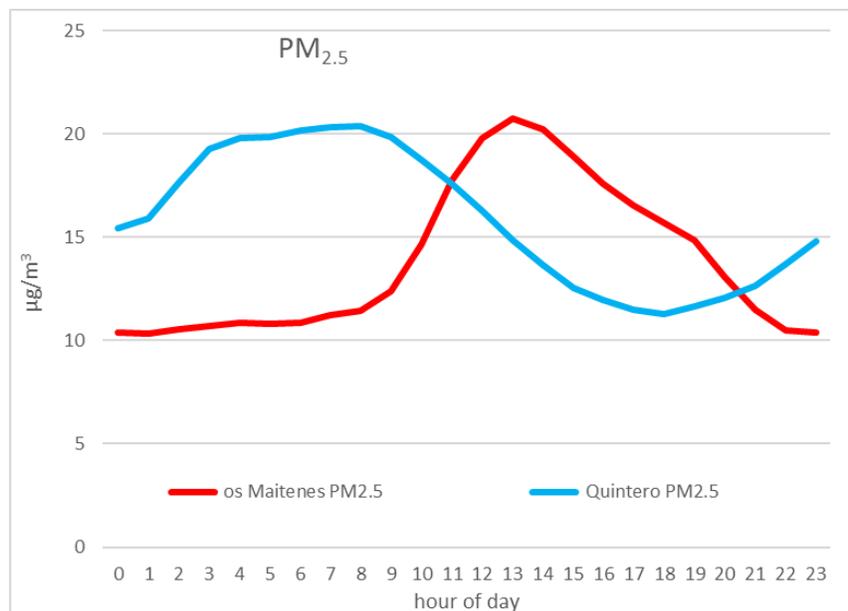


Figura 16. Ciclo diario de valores de concentración de PM_{2.5} (µg/m³) en Maitenes y Quintero entre 2016-2018

PM₁₀

El PM₁₀ continuo se monitorea en ocho instalaciones (Ventanas, La Greda, Puchuncaví, Loncura, Los Maitenes, Quintero, Sur y Valle Alegre) del área de Quintero-Puchuncaví. El valor guía anual de la OMS (20 µg/m³) se supera en todas las instalaciones y todos los años (figura 17). De acuerdo con la serie de tiempo (promedio 1 hora) (figura 18), los datos se ven generalmente buenos;

- La cobertura de datos es buena (91-100 % por estación y año);
- El nivel cero de los datos es generalmente bueno, no se observan problemas importantes en los datos;
- Los Maitenes tiene las concentraciones más bajas, en octubre de 2016-enero de 2017 los niveles de concentración de PM₁₀ muestran una caída considerable (figura 19), lo cual es sorprendente. Esto se conversará durante la visita de los expertos del FMI en noviembre 2019;
- Algunos peaks promedios diarios muy elevados, de hasta 120-140 µg/m³;
- Algunas diferencias en los ciclos diarios, el patrón principal es que las concentraciones comienzan a aumentar temprano por la mañana hasta el mediodía, por la tarde o al final de la tarde/medianoche, dependiendo de la estación, y luego disminuyen hasta la madrugada. Quintero parece ser la excepción a esto;
- Variación estacional poca clara (verano/invierno) en los niveles de concentración.

El valor de referencia diario de la OMS (50 µg/m³) (tabla 7) se supera con frecuencia en todas las instalaciones, sobre todo en las más cercanas al área industrial, es decir, en Ventanas (441 veces), La Greda (293 veces) y en el área residencial de Quintero (258 veces) (figura 19). En todas las instalaciones, con excepción de Quintero, el ciclo diario sugiere altas concentraciones debido a las actividades locales diurnas que levantan polvo (figura

20). Algunas de las estaciones, por ejemplo, Loncura, se ubican cerca de una carretera no pavimentada, lo que tiene un impacto en los resultados de monitoreo.

El PM_{10} puede verse influenciado por las actividades locales, como obras de construcción cerca de las estaciones de monitoreo, carreteras no pavimentadas y carreteras sucias y polvorientas.

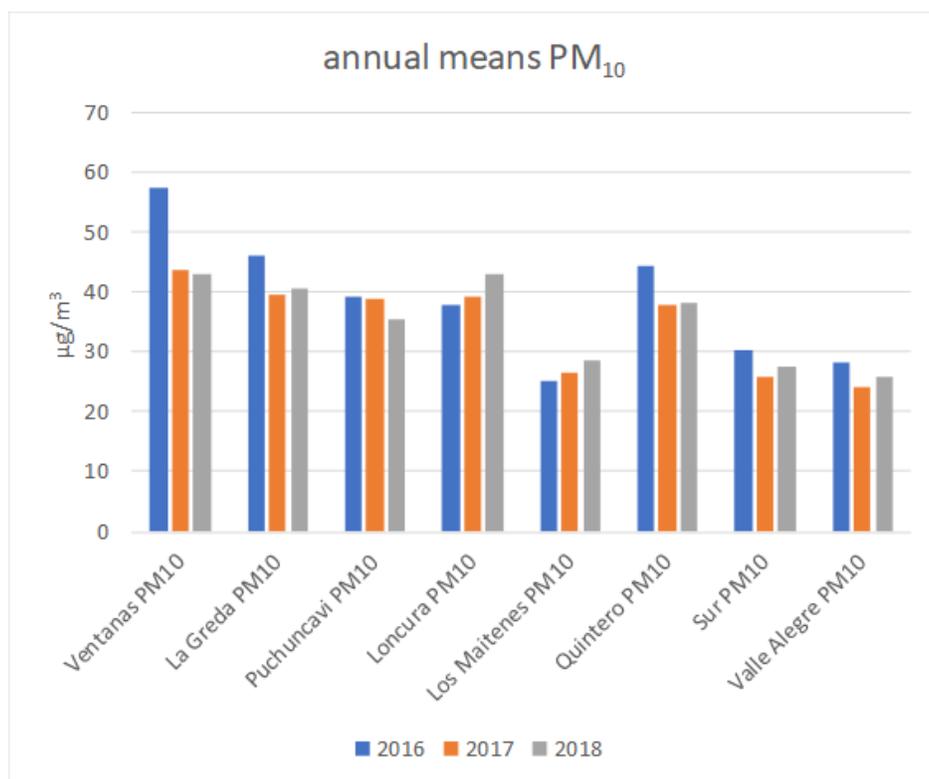


Figura 17. Valores de concentración promedios anuales de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

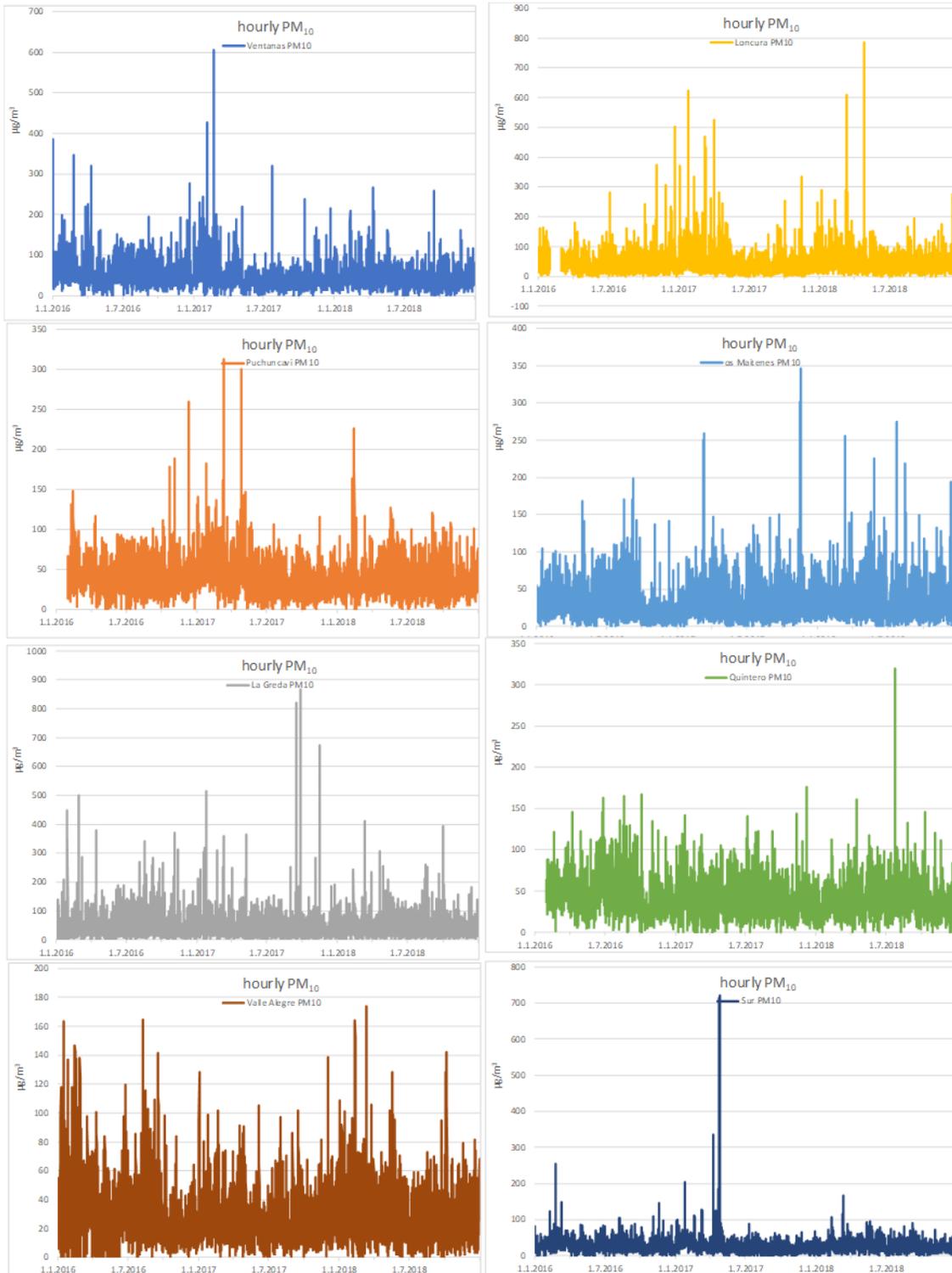


Figura 18. Valores de concentración por hora de PM₁₀ (µg/m³N) medidos en 8 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

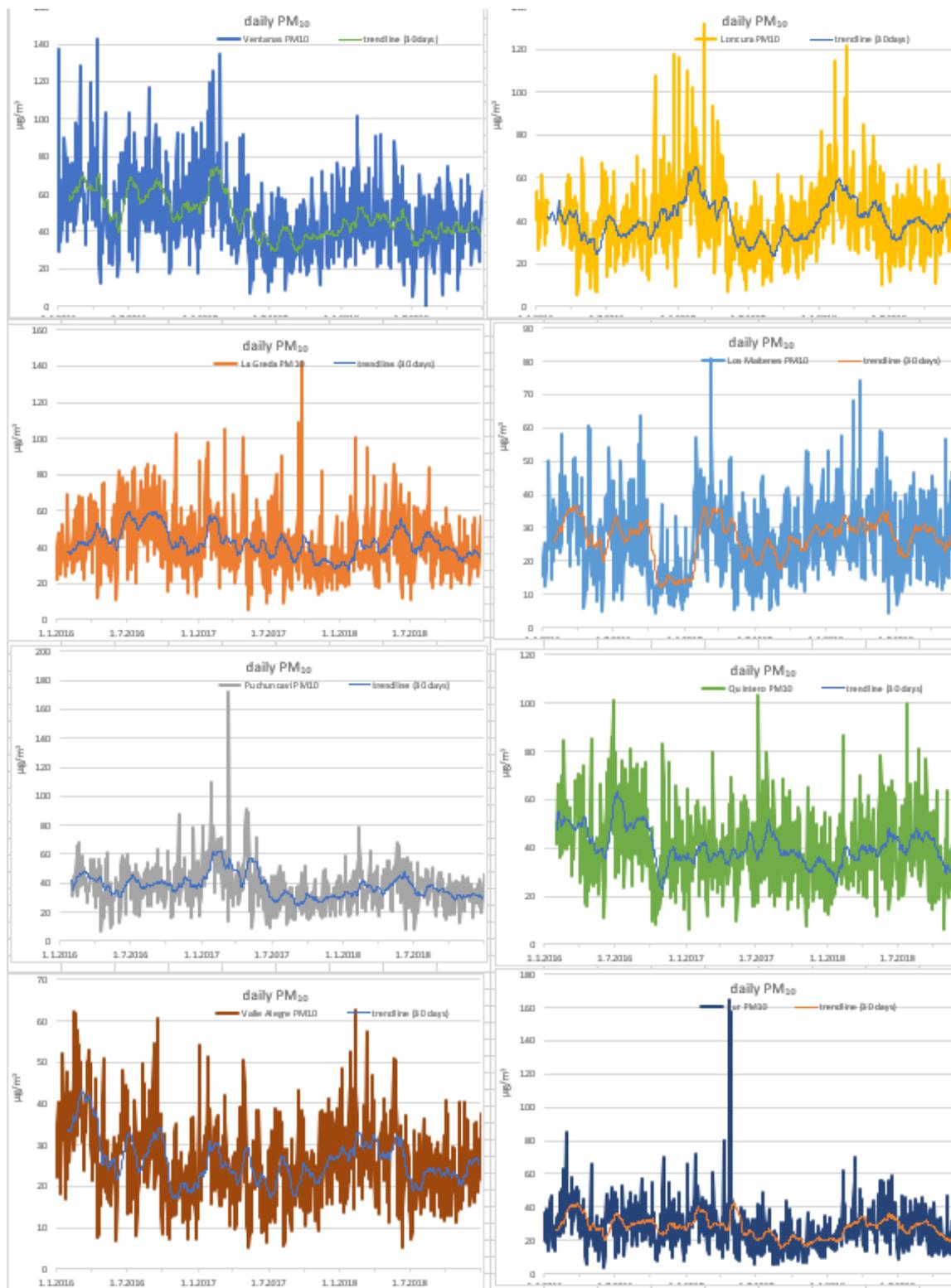


Figura 19. Valores de concentración promedio diarios de PM₁₀ (µg/m³) con línea de tendencia (30 días) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018. Estándar nacional para promedio diario de PM₁₀ es 150 µg/m³N.

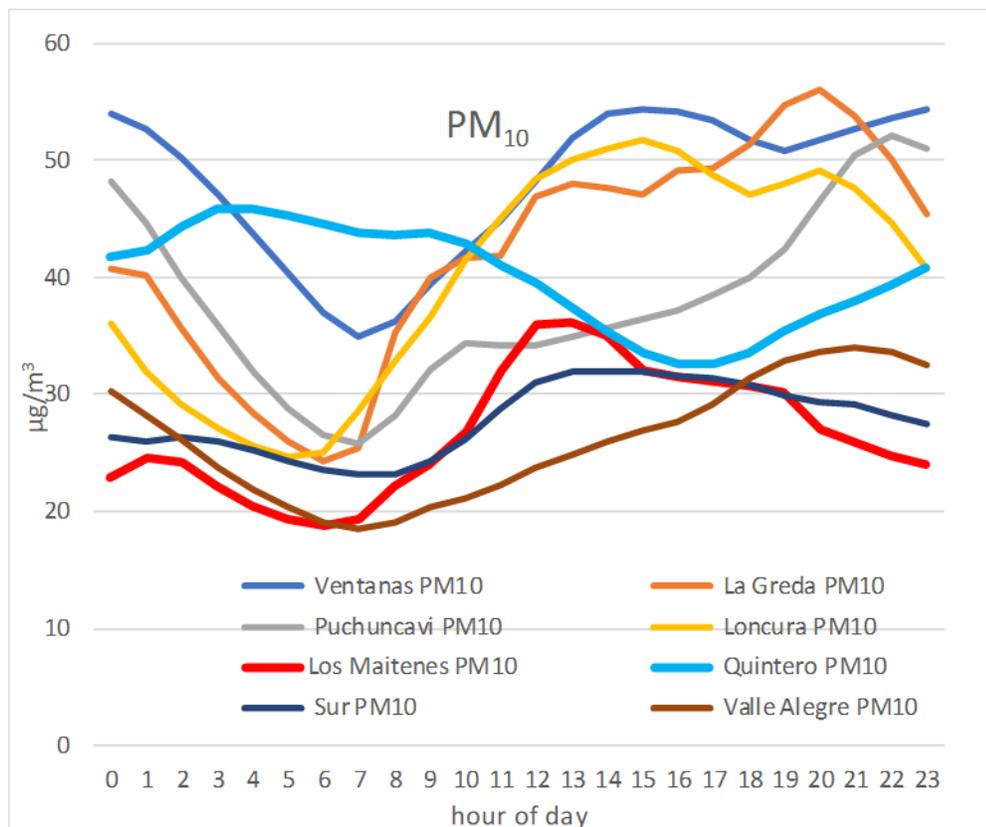


Figura 20. Ciclo diario de valores de concentración de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medido en 8 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

3.2.2.3 Óxidos de Nitrógeno (NO_2 , NO , NO_x)

En 2016-2018, el NO_2 se monitoreó en las nueve estaciones de la red de Quintero-Puchuncaví. Los promedios anuales son bastante bajos (figura 21), muy por debajo del valor límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la OMS (tabla 7). Por lo tanto, la red de monitoreo de NO_2 en la zona es muy amplia y se podría reducir el número de estaciones de monitoreo. Parece haber algunos problemas de calidad de los datos. De acuerdo con la serie de tiempo por hora (figura 27), se pueden observar los siguientes puntos:

- La cobertura de datos es principalmente buena (91-99 %, excepto Centro Quintero 40 % en 2016);
- se parecen a los «datos brutos», que no han sido validados y corregidos en base a las calibraciones;
- Los datos tienen problemas con el nivel cero, que no parece estar fijado en el lugar correcto. Se observan de forma periódica oscilaciones sistemáticas en los niveles cero en algunas estaciones de monitoreo (por ejemplo, en la estación de Maitenes en diciembre de 2017-mayo de 2018);
- No está claro lo que ocurre con el nivel cero, si los analizadores están fluctuando, si hay algunas dificultades en el proceso de calibración o algo más. Se espera resolver esta duda durante la visita de noviembre 2019;

- Se observa un cambio sustancial en los niveles de concentración en la estación de Quintero en octubre de 2016 que necesita ser analizado en más detalle para poder explicarlo;
- Se observan peaks máximos (y mínimos) aleatorios que son muy elevados en comparación con otros valores del conjunto de datos;
- Se observan variaciones diurnas (horas punta de tráfico por la mañana y por la tarde) realistas;
- Las concentraciones de NO₂ son mayores en los meses de invierno, probablemente debido a las condiciones meteorológicas, ya que las emisiones son las mismas durante todo el año (figura 28).
- Dado que la calidad de los datos es cuestionable al menos en parte, se espera hacer un análisis mas profundo de los datos luego de aclarar estas dudas durante la visita a Chile.

Los datos beneficiarían de un mejor proceso de validación. Se supera un par de veces el valor recomendado por hora de la OMS (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero es posible que los excesos puedan ser registros erróneos (figura 27). Normalmente, el tráfico por carretera tiene el mayor impacto en los niveles de NO₂. Las emisiones de NO_x de la industria y producción energética se liberan a menudo a través de altas chimeneas, en cuyo caso se dispersan de forma efectiva y su impacto en la calidad del aire local cerca de la instalación es bajo.

Sería interesante conocer los detalles de la flota de vehículos locales, por ejemplo, el porcentaje de vehículos diésel, etc. Parece haber tres tipos de variación diurna: primero, el tráfico típico, luego, transporte diurno hacia el este desde el polígono industrial y la ciudad, y último, altas emisiones diurnas locales (figura 24 - 26).

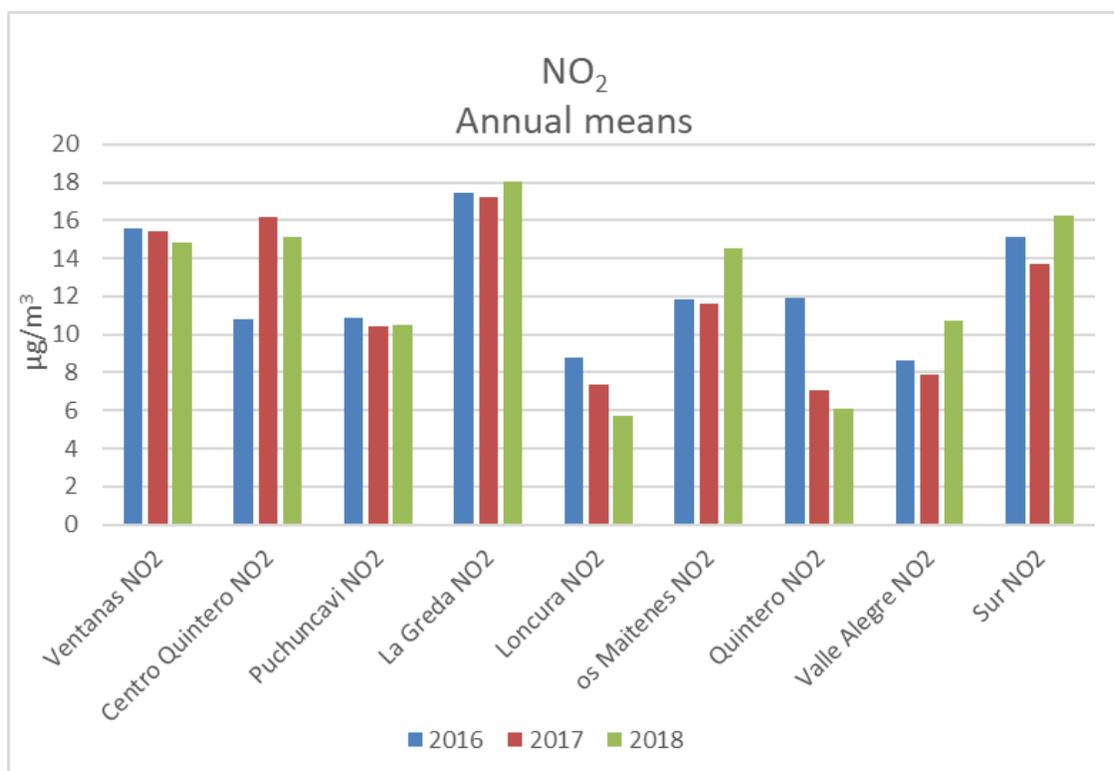


Figura 21. Valores promedios anuales de concentración de NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

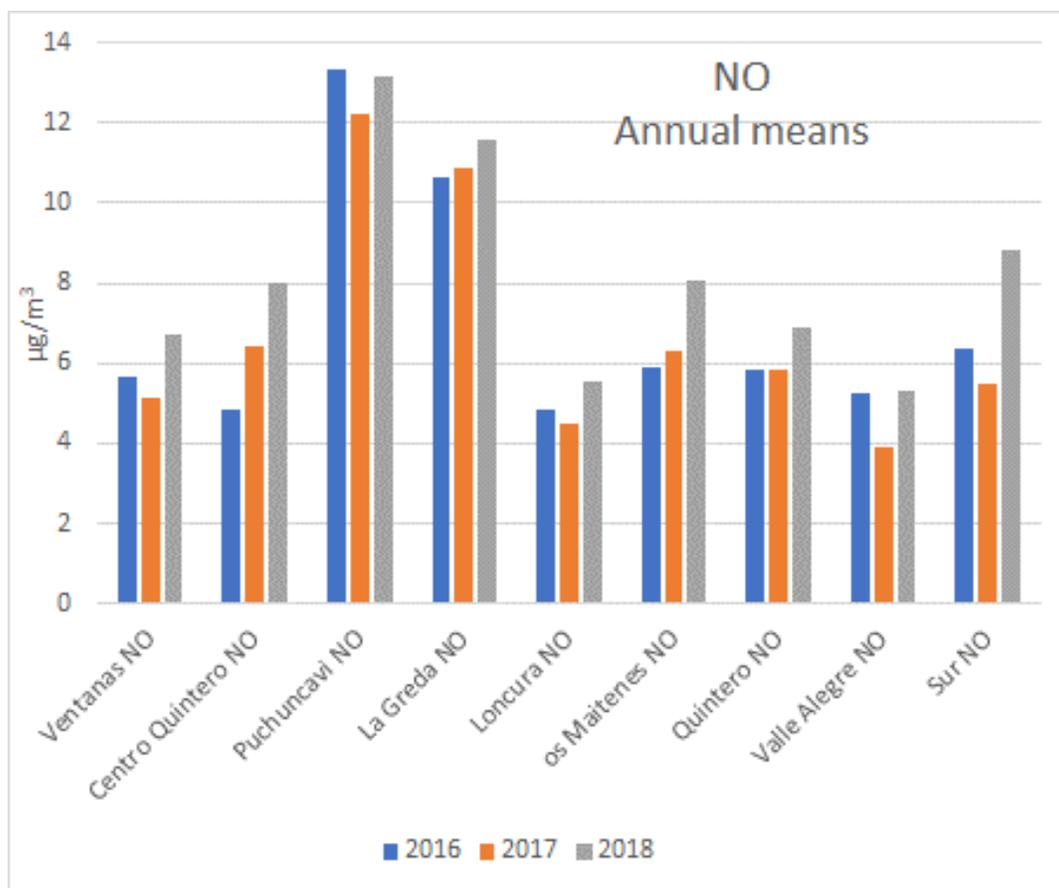


Figura 22. Valores promedios anuales de concentración de NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 9 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

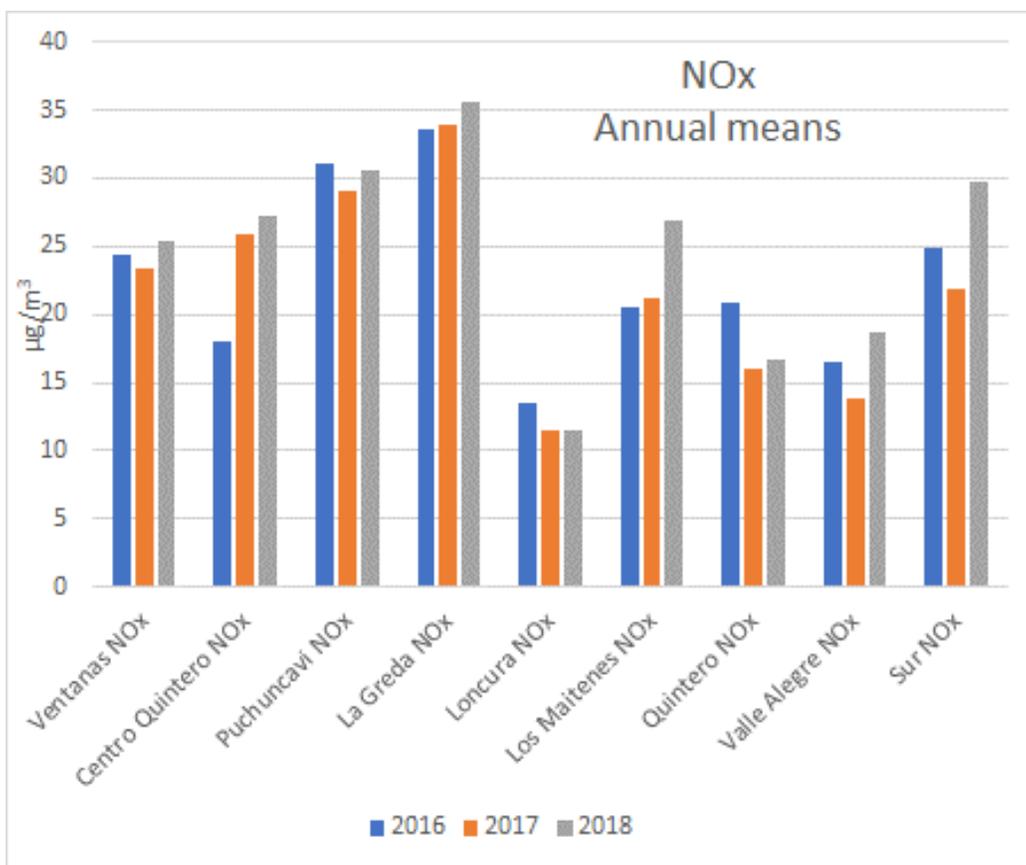


Figura 23. Valores promedios anuales de concentración de NO_x (µg/m³N) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

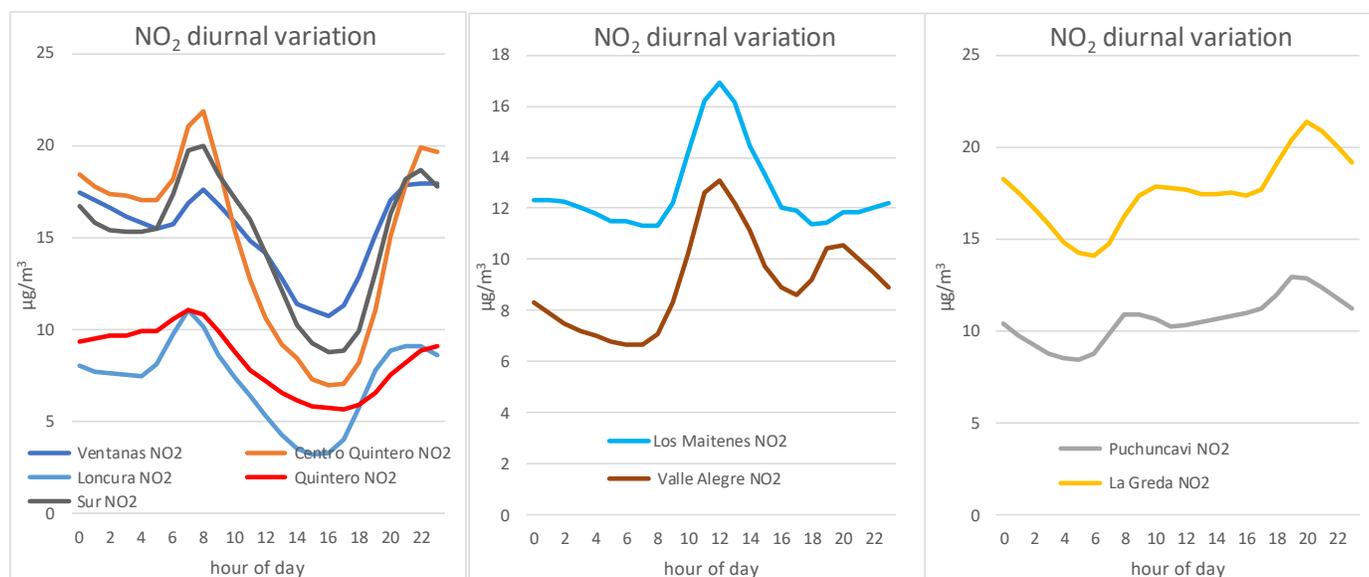


Figura 24. Ciclo diario de valores de concentración de NO₂ (µg/m³N) medido en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

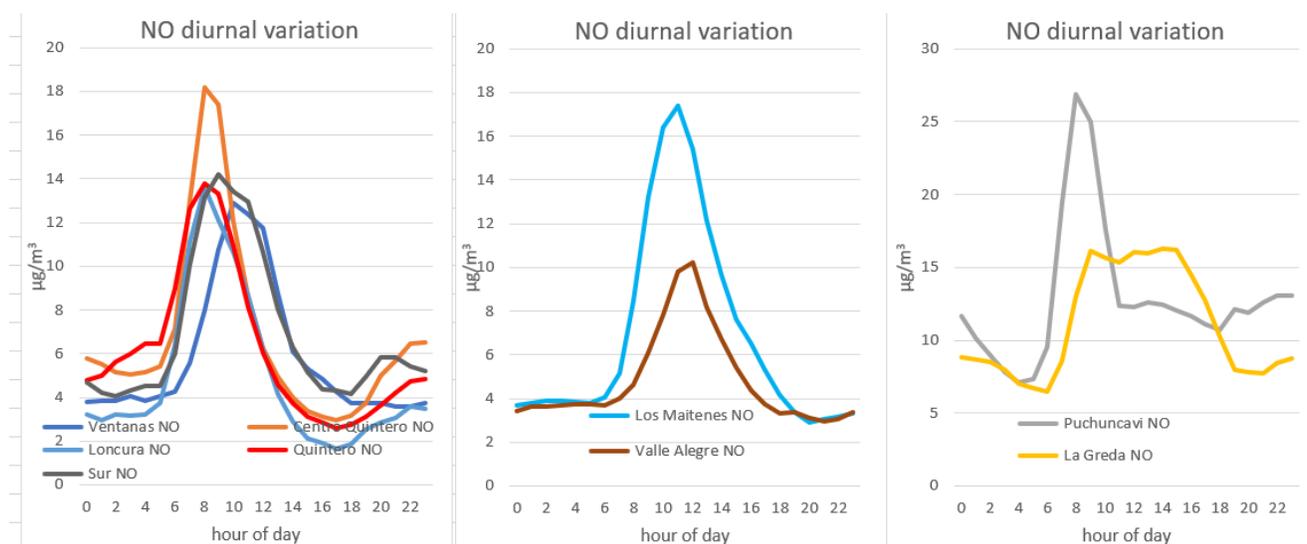


Figura 25. Ciclo diario de los valores de concentración de NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

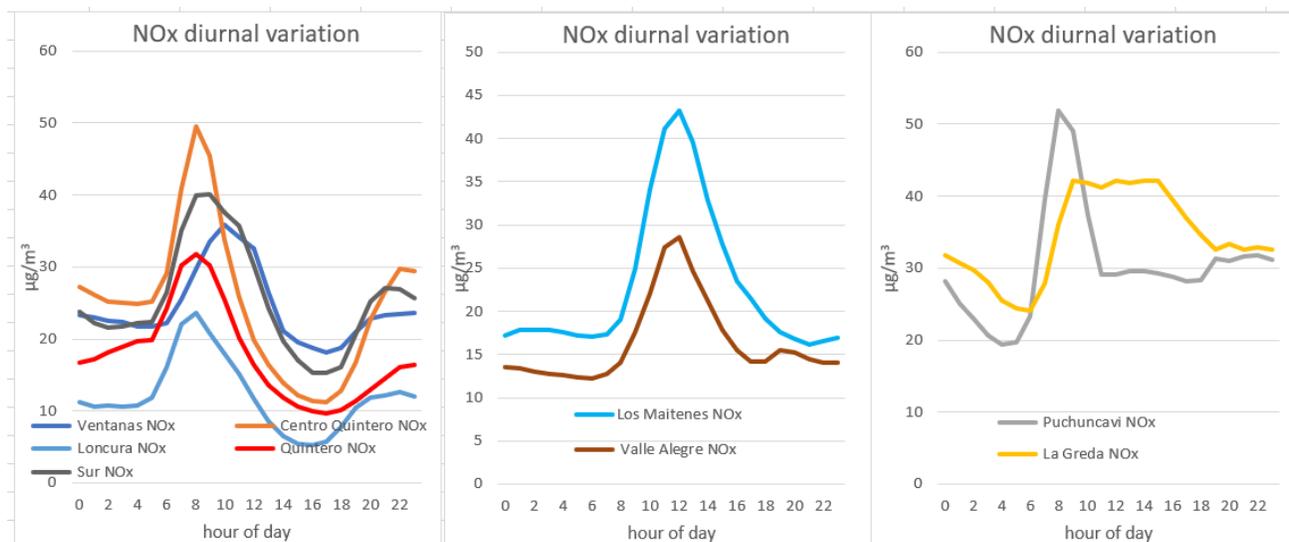


Figura 26. Ciclo diario de los valores de concentración de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

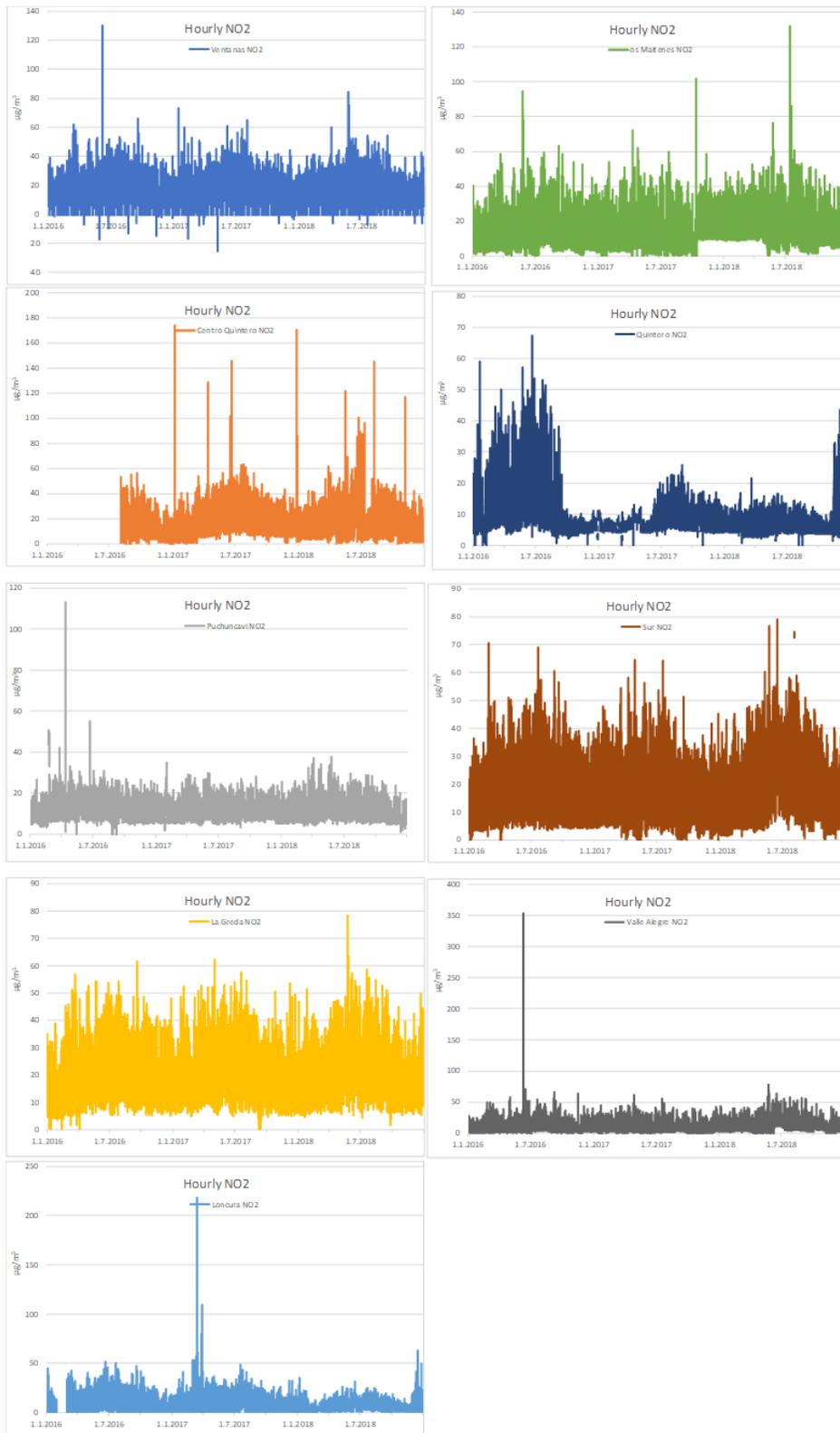


Figura 27. Valores de concentración por hora de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018

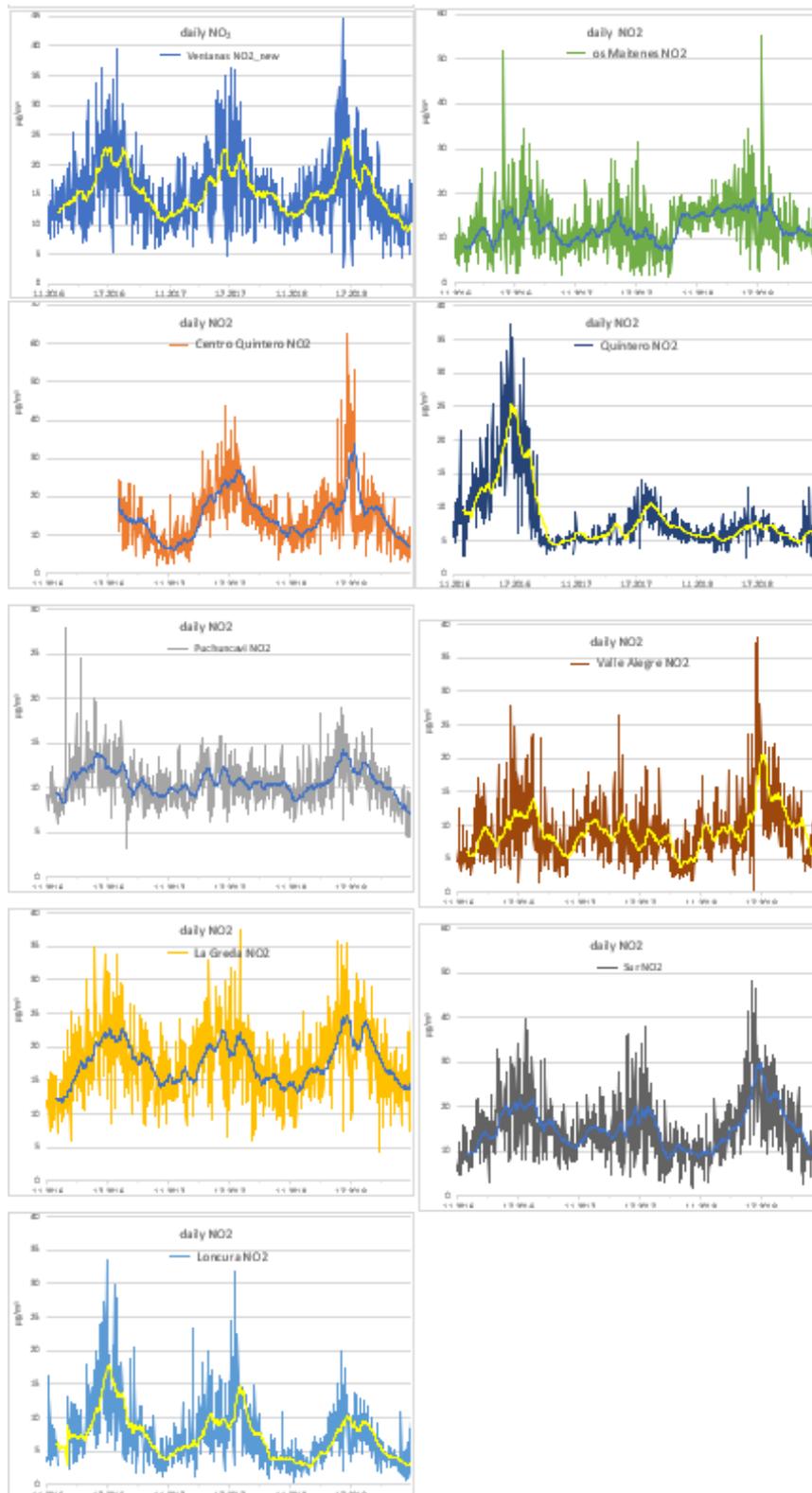


Figura 28. Valores de concentración promedio diarios de NO₂ (µg/m³N) con línea de tendencia (30 días) medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

3.2.2.4 Ozono (O₃)

O₃ fue monitoreado en ocho sitios en 20016-2018. Los datos de monitoreo de O₃ parecen tener problemas de calidad. Sin embargo, los niveles de concentración son muy bajos (figura 29.A). Si los niveles de concentración son realistas para la zona que representan las estaciones de monitoreo de calidad del aire actuales (principalmente el impacto de las emisiones industriales), no se necesitan tantas estaciones de monitoreo de O₃ en la zona: unas 2 o 3 estaciones sería suficiente. Por lo general, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas cuando no hay fuentes de emisión directa cerca y el ozono no se consume en los procesos de transformación química con otros contaminantes. Las concentraciones de ozono también tienden a ser más altas en altitudes más altas. Por lo tanto, se recomienda establecer una estación de vigilancia del ozono en el área de fondo o “background”, lo suficientemente lejos del impacto de las fuentes de emisión industrial y el tráfico vehicular. Teniendo en cuenta el volumen de actividades industriales en la zona y las concentraciones de ozono medidos en otras partes del país (Chile), es posible que las concentraciones de ozono sean más altas más lejos de las áreas industriales (Rubio, Sanchez, & Lissi, 2010).

Se sabe que los valores de ozono en el hemisferio norte superan a los del hemisferio sur en la misma latitud, pero no tenemos la información de cuáles serían los valores esperados de ozono en estas condiciones particulares del hemisferio sur.

De acuerdo con la serie de tiempo (promedio 1 hora) (figuras 30), se pueden observar los siguientes puntos:

- Cobertura de datos muy buena (97-99 %);
- Los datos parecen tener problemas, especialmente en el extremo inferior de las concentraciones, dónde se cortan los valores más bajos;
- Los datos tienen importantes problemas con el nivel cero, que no está fijado en el lugar correcto. Hay algunas oscilaciones sistemáticas en niveles cero en casi todas las estaciones;
- Se parecen a los «datos brutos», que no han sido validados y corregidos en base a las calibraciones;
- A pesar de los problemas de datos, la variación diurna (figura 29.B) muestra un buen proceso de formación de ozono en todas las instalaciones. Los peaks se producen en el período fotoquímicamente intenso del mediodía.

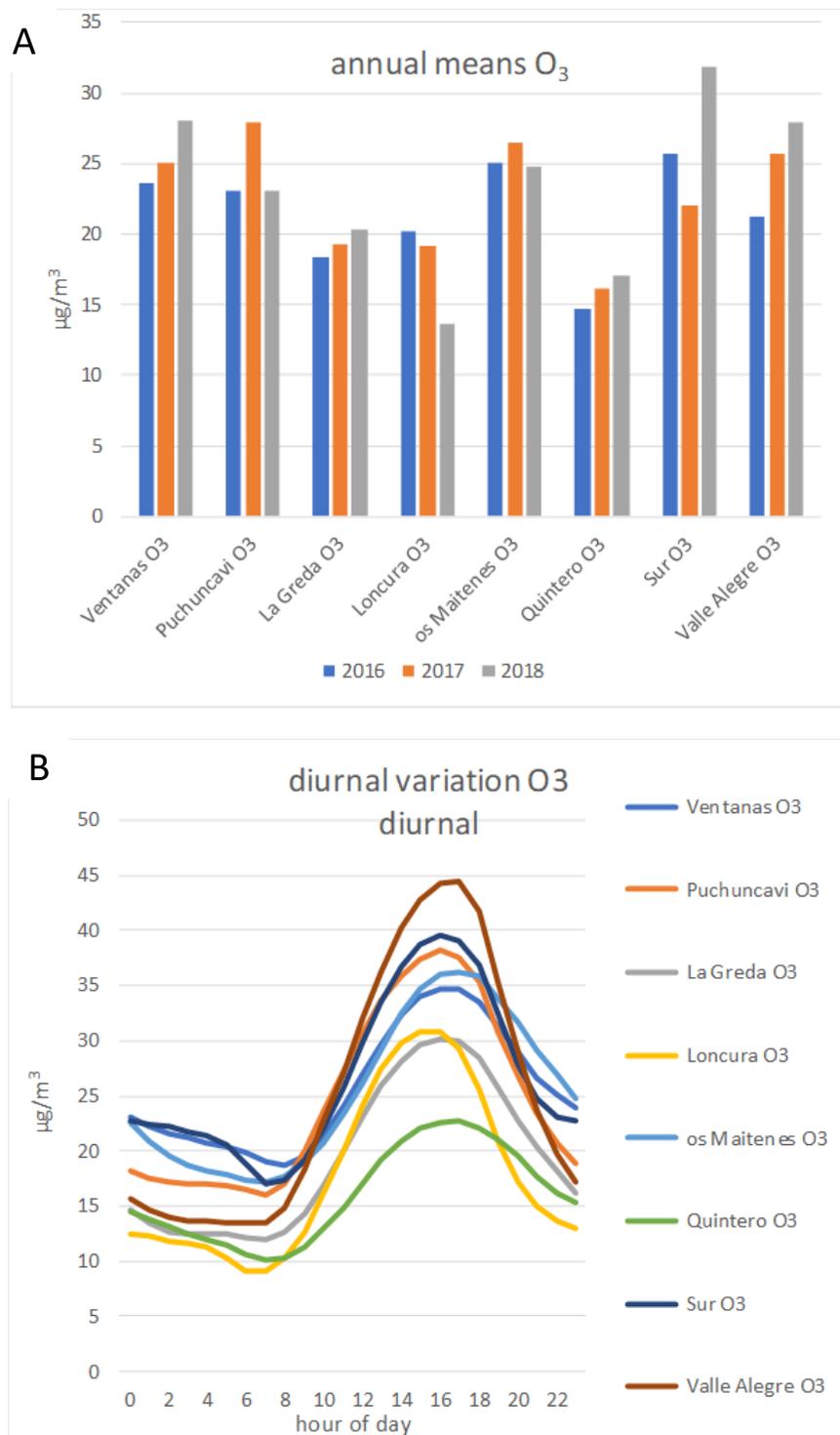


Figura 29. A. Valores de concentración medios anuales de O₃ (µg/m³N) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018. **B.** Variación diurna de las concentraciones de O₃.

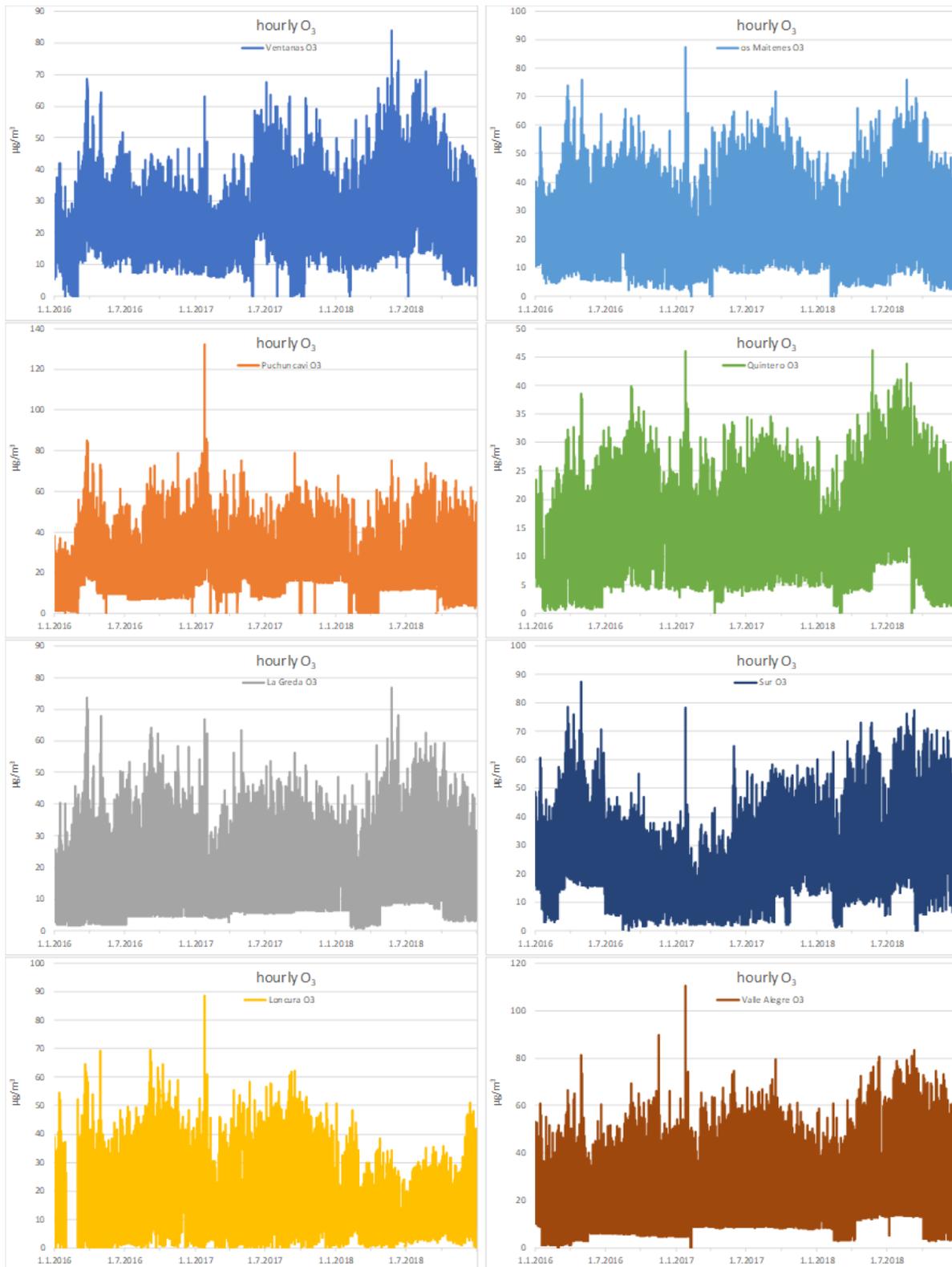


Figura 30. Valores de concentración por hora de O₃ (µg/m³N) medidos en 8 estaciones de supervisión de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018

3.2.2.5 Monóxido de carbono (CO)

El monitoreo del CO se realizó en cinco instalaciones (Central Quintero, Loncura, Los Maitenes, Quintero y Sur) en 2016-2018. Aproximadamente el 30 % de los datos de Loncura es cero, algo que puede deberse a la sensibilidad del instrumento, ya que las concentraciones son muy bajas, o a otros problemas técnicos. Se espera resolver esta duda durante la visita en el mes de noviembre 2019. Otras estaciones parecen manejar mejor el nivel más bajo. La cobertura de datos de otras estaciones es del 91-98 %. Parece que el nivel cero del analizador en Loncura se está desviando (figura 33). La mejora del proceso de validación de los datos sería beneficiosa para conciliar el desvío del nivel cero y corregir los datos en consecuencia.

Los valores de referencia de la OMS (valor medio horario de 30 mg/m^3 , media deslizante de $10 \text{ mg}/8 \text{ horas}$) no superan los resultados de la supervisión (Figura 23). En particular, la estación de Centro Quintero muestra una variación diurna típica para el CO, los picos de tráfico de la mañana y de la tarde (Figura 22). En base a los niveles muy bajos de concentración de CO medidos en la zona, no haría falta supervisar el CO en absoluto. Por lo tanto, se recomienda reducir considerablemente el número de estaciones de monitoreo que miden el CO en la zona. Si fuera necesario, una estación sería suficiente para supervisar el CO. A modo de comparación, en Finlandia no se han realizado mediciones de CO en el aire ambiente de todo el país durante muchos años, ya que la concentración ha sido muy baja o se ha dado durante mucho tiempo.

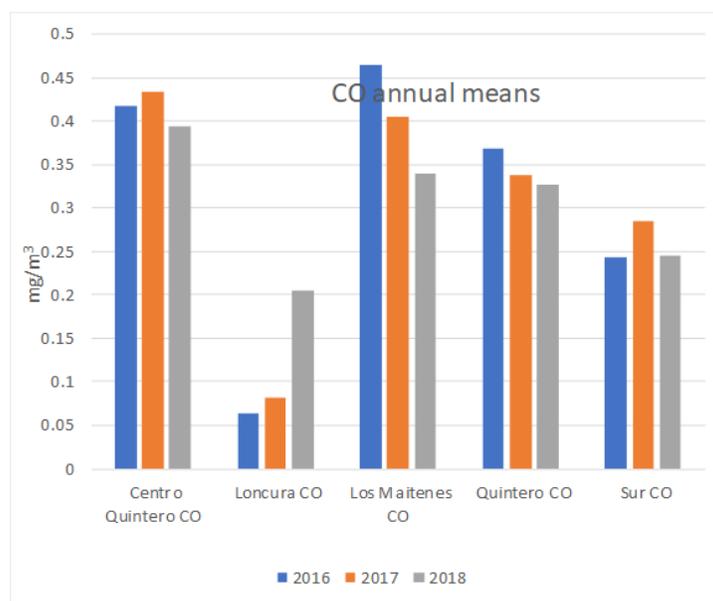


Figura 31. Valores de concentración medios anuales de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

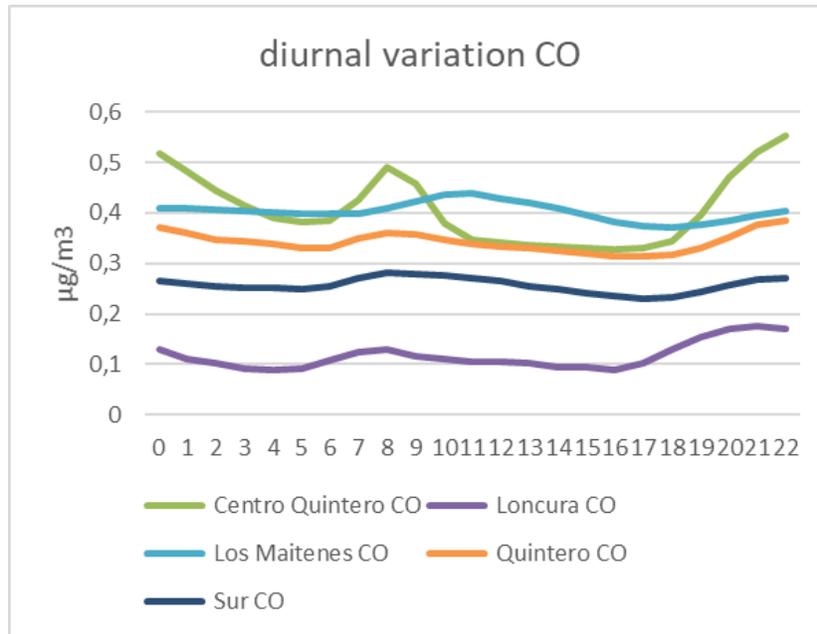


Figura 32. Variación diaria de las concentraciones de CO.

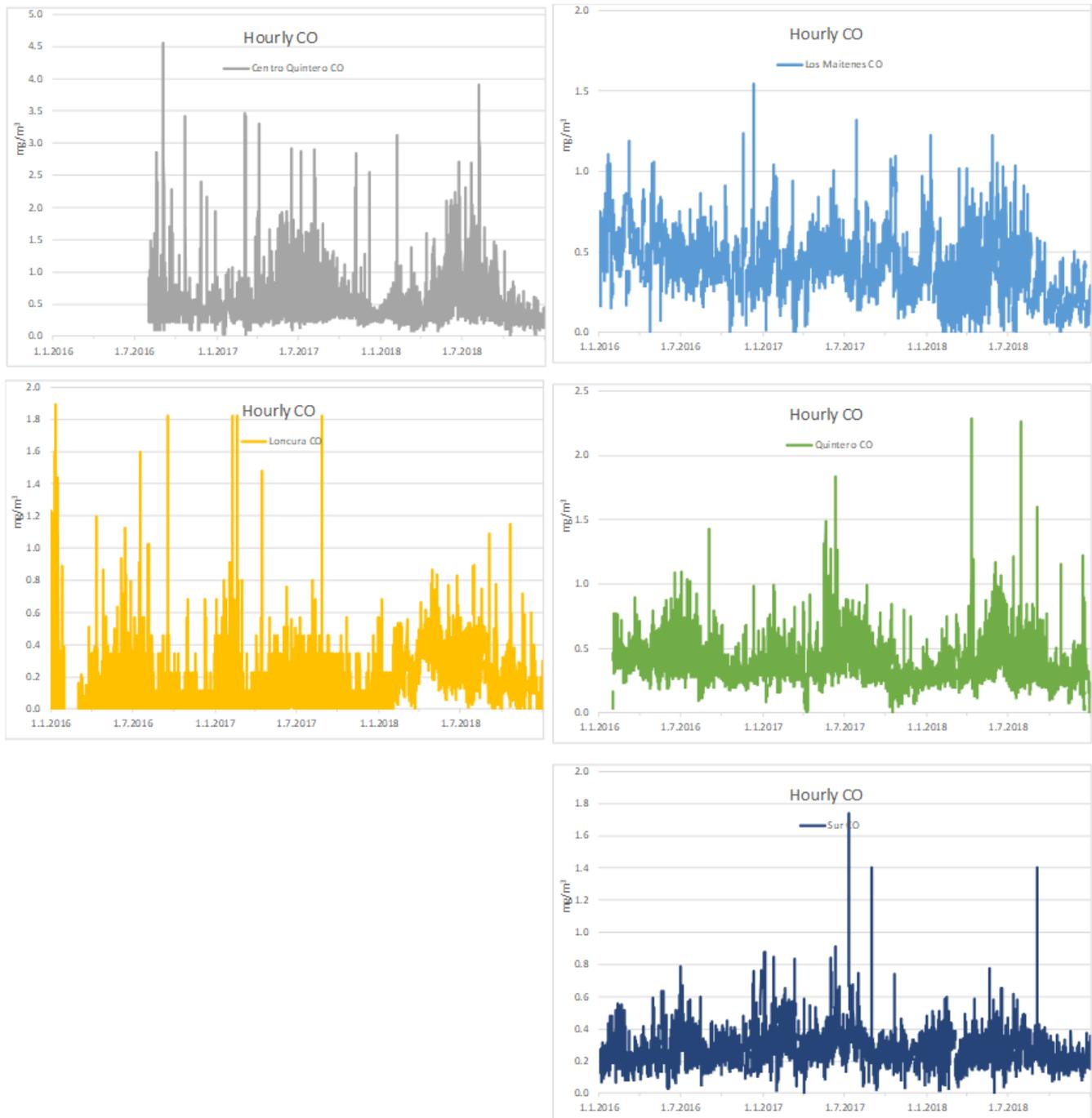


Figura 33. Valores de concentración por hora de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

3.2.2.6 Hidrocarburos no metánicos (COVNM) y metano (CH₄)

El monitoreo de los COVNM y el CH₄ se realizó en cinco instalaciones (Central Quintero, Loncura, Los Maitenes, Ventanas y Sur) en 2016-2018. La cobertura de los datos de estas mediciones oscila entre el 0 % y el 99 %.

El CH₄ (metano) no se considera un contaminante del aire ambiente en la Unión Europea y no tiene valor límite. Por lo tanto, no se evalúa con más detalle en el presente informe. El CH₄ es un gas de efecto invernadero, y puede haber otras razones además de la calidad del aire, para controlarlo (es decir, el riesgo de fugas de gas, etc.).

El promedio anual y los valores promedios horarios de los COVNM se presentan en las figuras 34 y 36, y la variación diurna en la figura 35. No obstante, se recomienda que, en lugar de examinar las concentraciones totales de COVNM, se examinen las concentraciones de los distintos compuestos o grupos de compuestos que forman los COVNM. De esta manera se pueden estimar las fuentes y es posible evaluar si los niveles de concentración son elevados/exceden los estándares de calidad del aire. En la Unión Europea no existe un valor límite para los COVNM totales, sino un valor límite para el benceno. Normalmente en el análisis de COV, también se analizan otros COV además del benceno, pero no tienen los valores límite con los que comparar los resultados de la medición.

La revisión del informe elaborado por el Norwegian Institute for Air Research (NILU) sobre los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en la zona de Quintero-Puchuncaví permite observar que los métodos de medición utilizados fueron realmente buenos y las concentraciones detectadas fueron bajas, excepto para los hidrocarburos ligeros, se midieron las concentraciones más altas. Estas concentraciones afectan a la formación de ozono y tienen una larga vida útil, por lo que migran lejos de las fuentes de emisión, afectando al ozono en el aire (NILU, 2019).

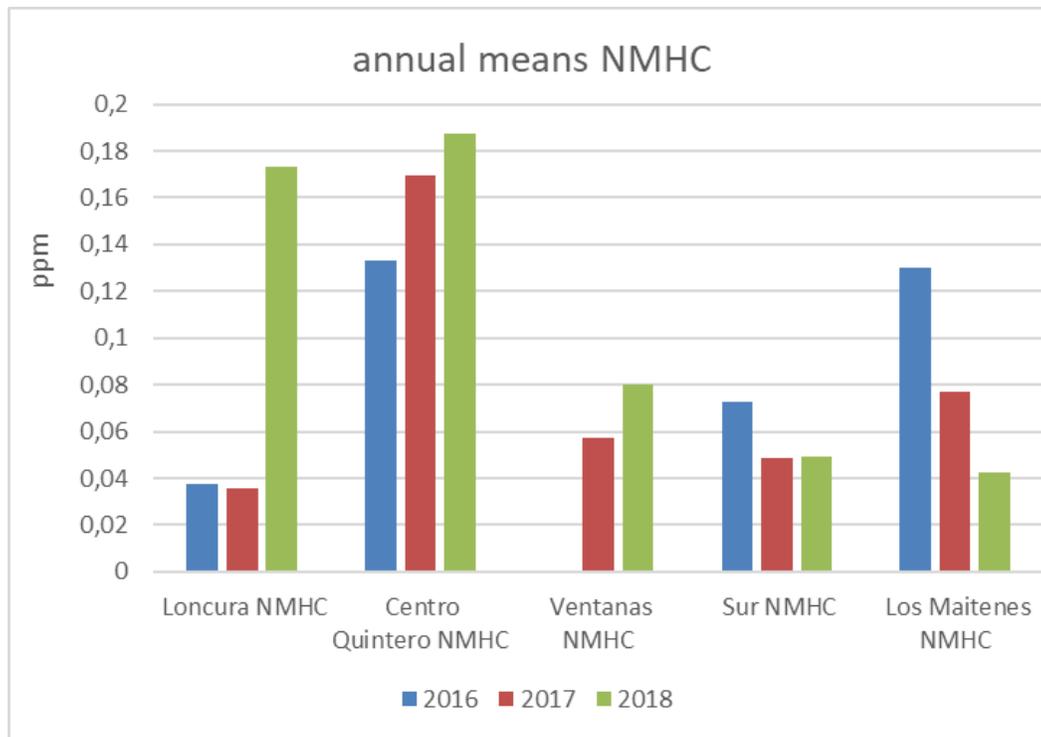


Figura 34. Valores de concentración medios anuales de COVNM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de supervisión monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

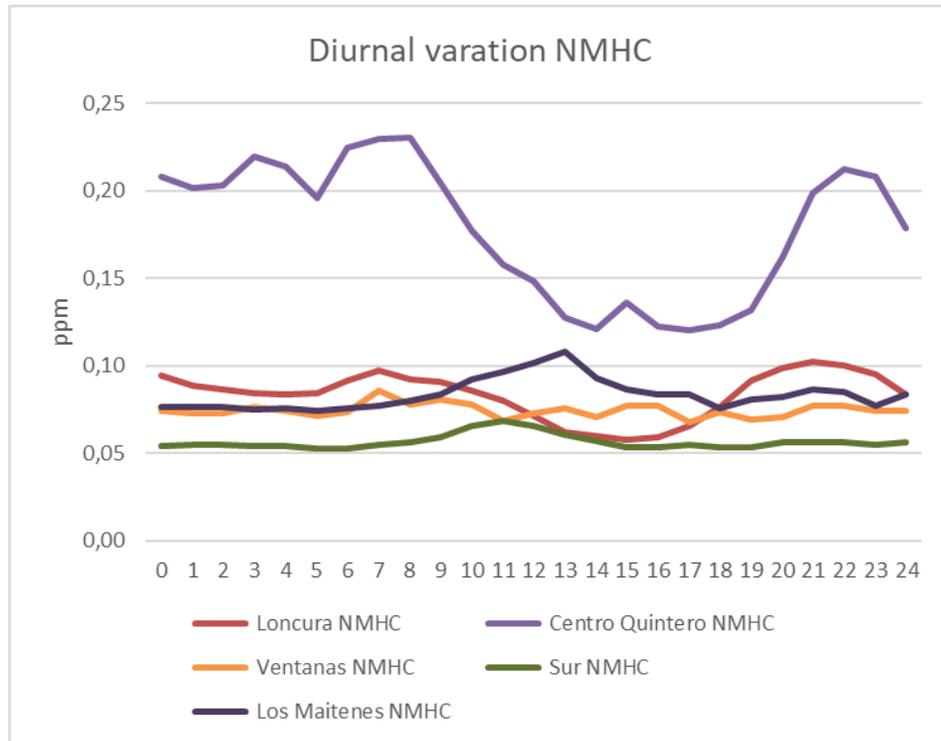


Figura 35. Variación de valores de concentración de COVNM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medido en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

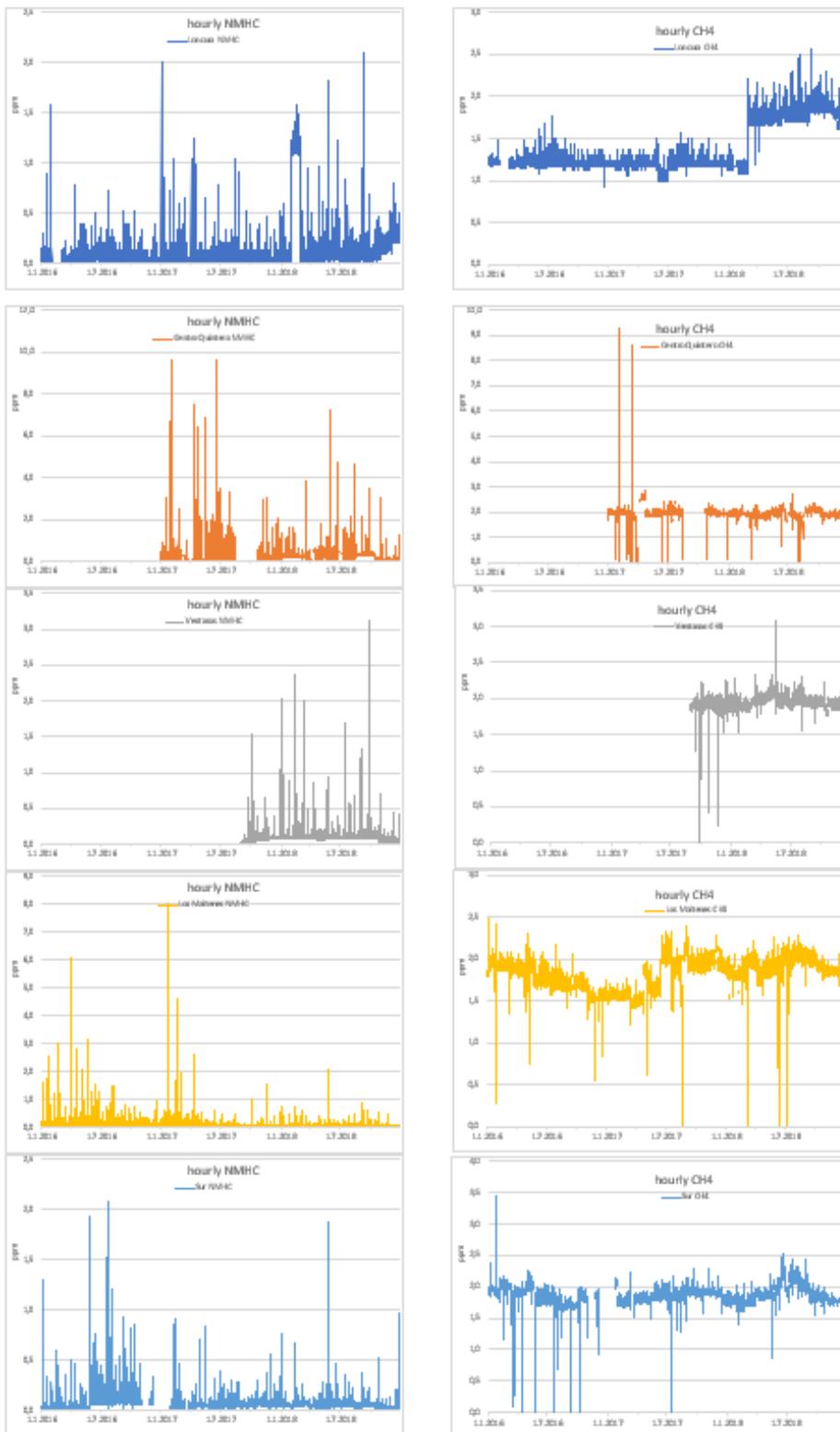


Figura 36. Valores de concentración por hora de COVNM y CH₄ (μg/m³) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví en 2016-2018.

3.2.3 Área de Concón

El área de Concón cuenta con cuatro estaciones de calidad de aire, tres de ellas (Junta Vecinos, Las Gaviotas y Concón) están ubicadas dentro de un radio de 1-2 kilómetros desde el Suroeste hacia el Noreste desde el área industrial principal. La cuarta estación (Colmo) se encuentra más al Este, a una distancia de unos cuatro kilómetros.

3.2.3.1 Dióxido de azufre (SO₂)

Las concentraciones promedio anuales de SO₂ en Concón son principalmente más bajas que en el área de Quintero-Puchuncaví (figura 37). Las series de tiempo por hora muestran que la calidad de los datos de SO₂ parece ser generalmente buena (figura 38). La cobertura de los datos de las cuatro estaciones es del 95-99 %, excepto en Colmo en 2018, donde la cobertura de datos es sólo del 67 %. Las concentraciones más altas de SO₂ a corto plazo se detectan en Concón, donde con frecuencia se supera el umbral del valor límite horario de 350 µg/m³ de la Unión Europea (tabla 7). También se supera el umbral de alerta de la UE de 500 µg/m³. Estos rebasamientos están relacionados con episodios de varios días de duración (por ejemplo, uno a principios de septiembre de 2016 y otro a finales de marzo de 2017). Durante estos episodios se detectan concentraciones elevadas también en otras estaciones en el área de Concón. Estos episodios son detectables también en las series temporales diarias (figura 39).

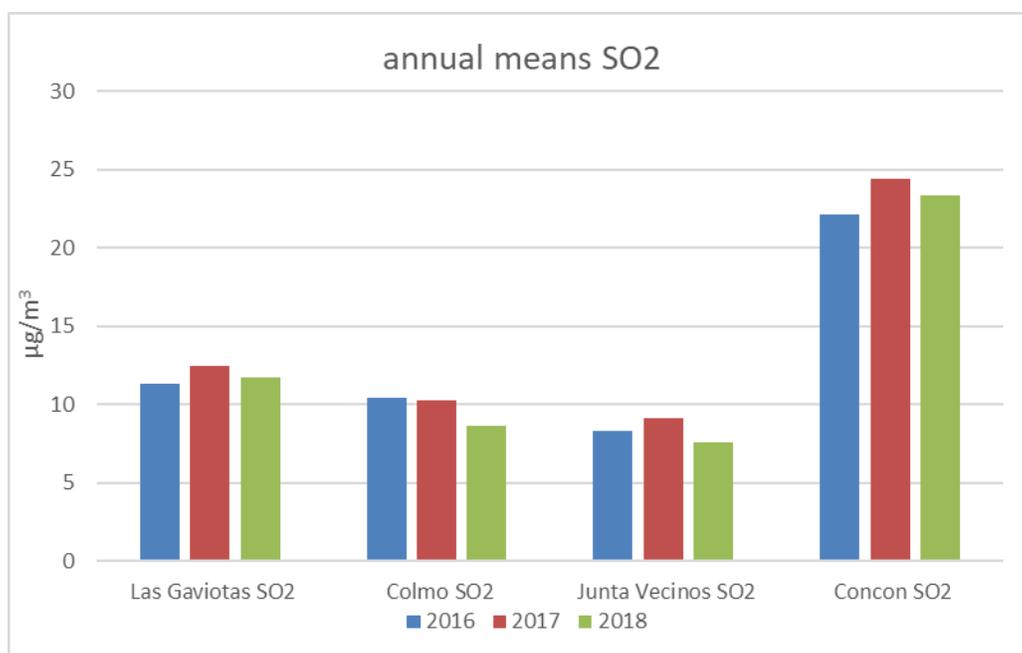


Figura 37. Valores de concentración medios anuales de SO₂ (µg/m³) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Concón en 2016-2018.

En Concón, las concentraciones comienzan a aumentar a última hora de la tarde, aumentan toda la noche, alcanzando el valor máximo a primera hora de la mañana. Este patrón está obviamente relacionado con la brisa marina diurna del océano, que trae aire fresco a la zona (figura 40). La rosa de concentración de la estación de Concón indica la dirección del viento de dónde provienen las mayores concentraciones de SO₂. Sorprendentemente, las rosas de concentración en otras 3 estaciones indican que las concentraciones de SO₂ provienen de manera bastante igualitaria de todas las direcciones del viento (figura 41).

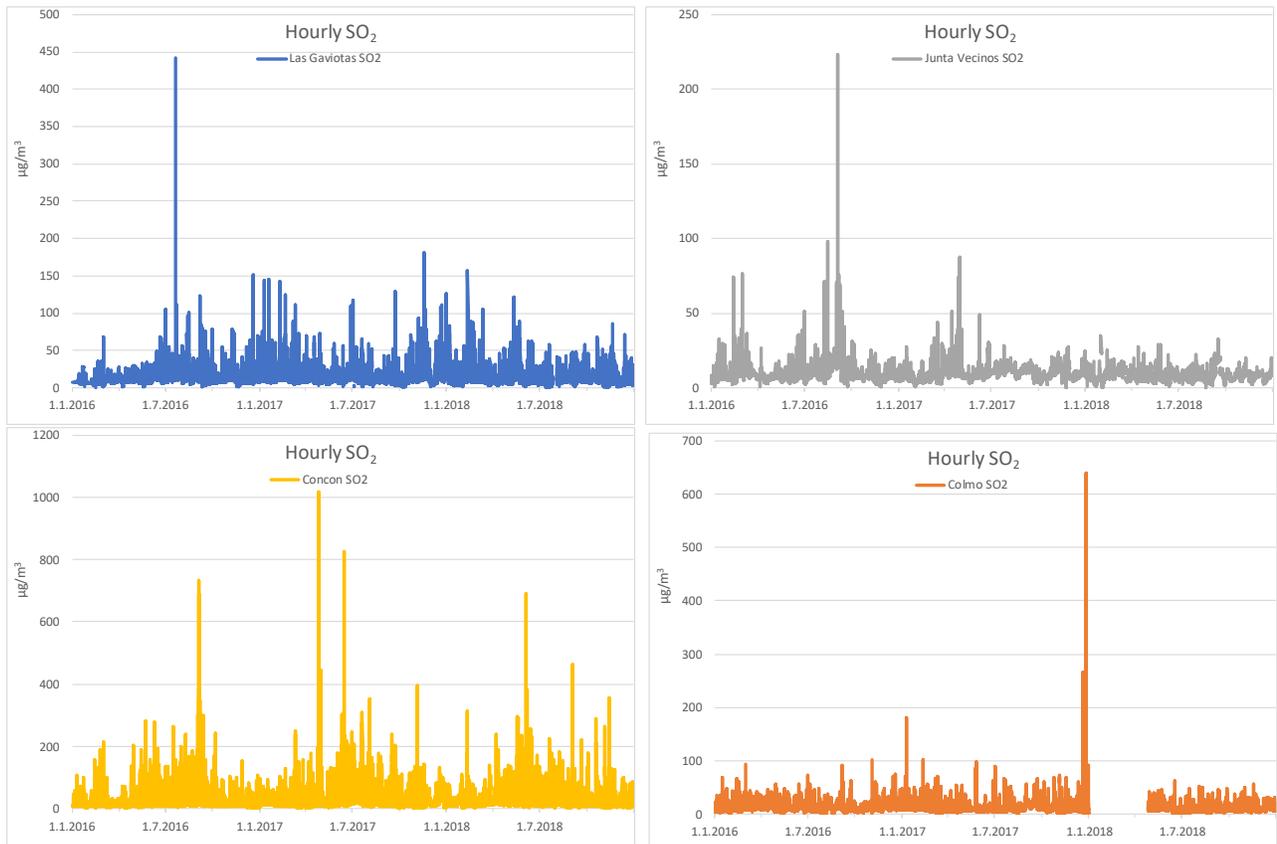


Figura 38. Valores de concentración por hora de SO₂ (µg/m³N) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Concón en 2016-2018.

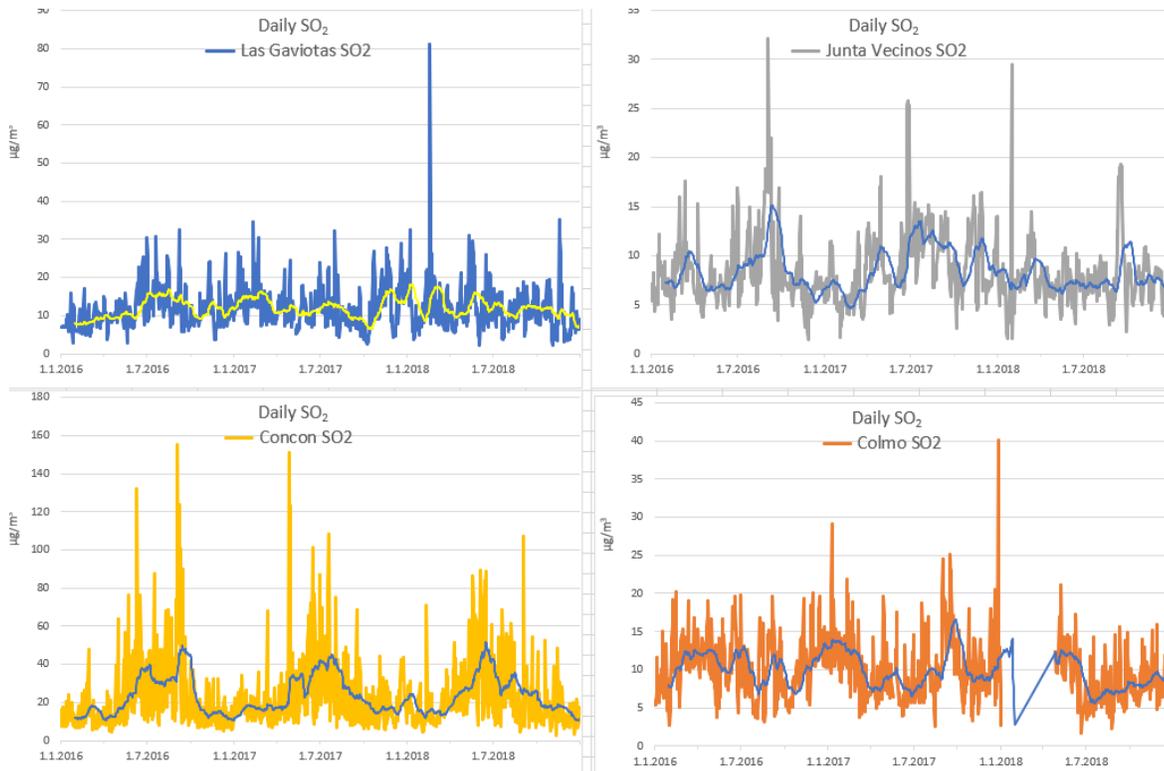


Figura 39. Valores de concentración diarios de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Concón en 2016-2018.

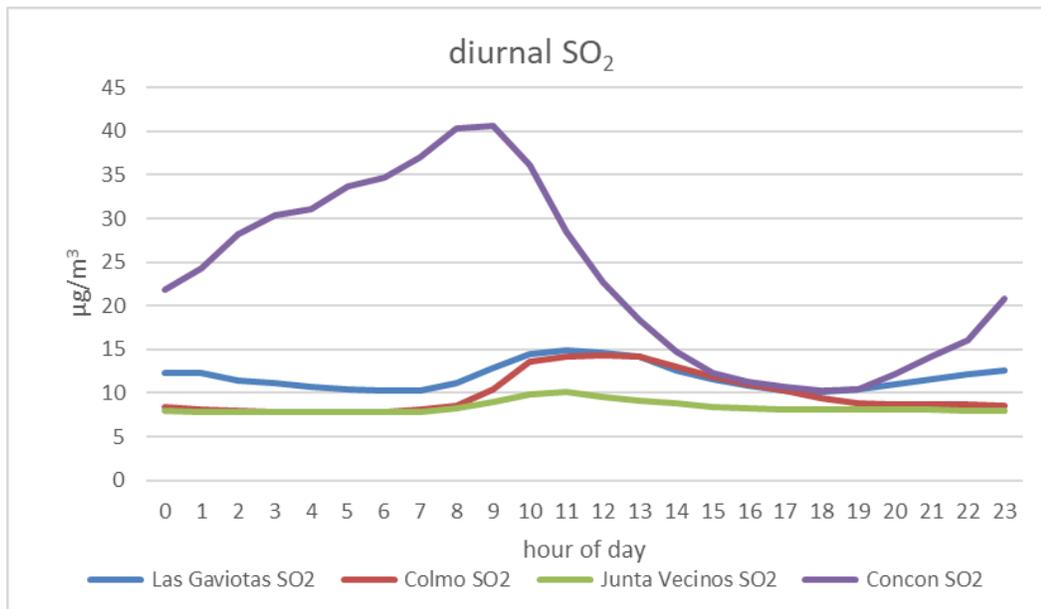


Figura 40. Variación diurna de valores de concentración de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Concón en 2016-2018.



Figura 41. Valores promedio por hora de SO_2 presentados como rosas de concentración en diferentes direcciones de viento en cuatro estaciones de calidad del aire durante 2016-2018. Las rosas de concentración indican de qué dirección del viento provienen las mayores concentraciones.

3.2.3.2 Partículas ($\text{MP}_{2,5}$ y MP_{10})

En el área de Concón, sólo se monitorean el $\text{MP}_{2,5}$ y el MP_{10} en la instalación de Concón. Las medias anuales de $\text{MP}_{2,5}$ superan el valor de referencia anual de la OMS de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el MP_{10} el valor referencial anual de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en los tres años (figura 42). De acuerdo con la serie de tiempo por hora (figura 43), los datos se ven generalmente buenos. La cobertura de los datos de $\text{MP}_{2,5}$ es 76-95% y los datos de MP_{10} 79-85%.

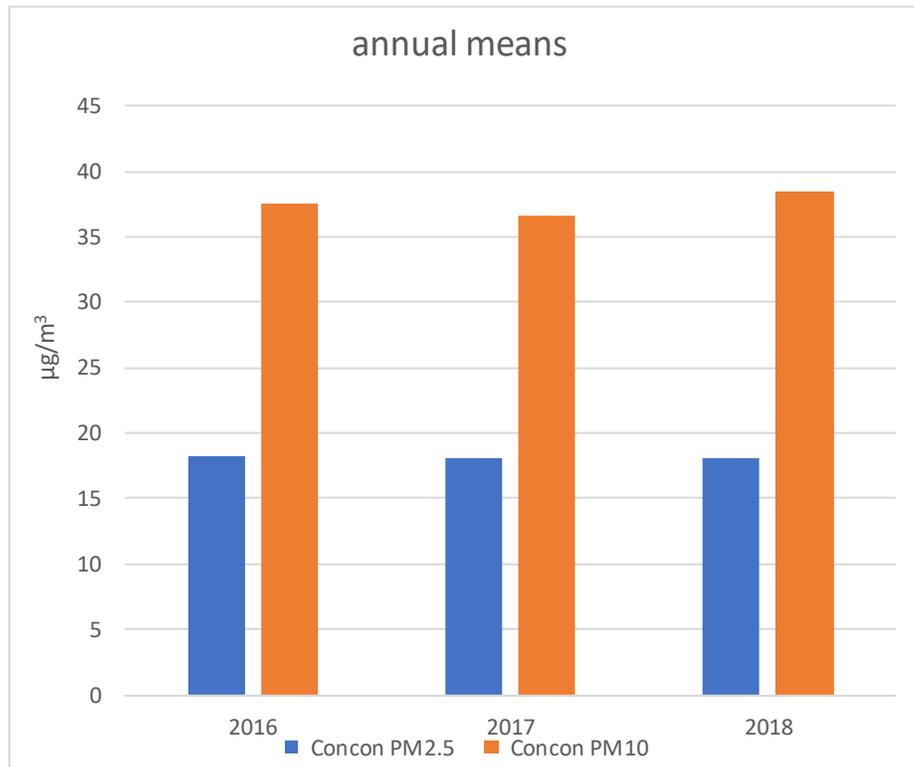


Figura 42. Valores de concentración promedios anuales de MP_{2.5} y MP₁₀ (µg/m³) medidos en la estación de monitoreo de calidad del aire de Concón en 2016-2018.

El MP_{2.5} muestra patrones episódicos claros, sin embargo, los episodios de partículas finas no coinciden con episodios de SO₂. Los episodios de SO₂ son locales y la masa de MP_{2.5} está dominada por aerosoles secundarios (como el sulfato) de origen regional. Además, el ciclo diurno de MP_{2.5} sugiere un origen más regional (figura 44). El ciclo diurno de MP₁₀ es interesante; las concentraciones máximas diurnas pueden estar relacionadas con las actividades locales diurnas que generan polvo, pero también es posible que el aerosol de sal marina tenga influencia en la fracción gruesa de MP.

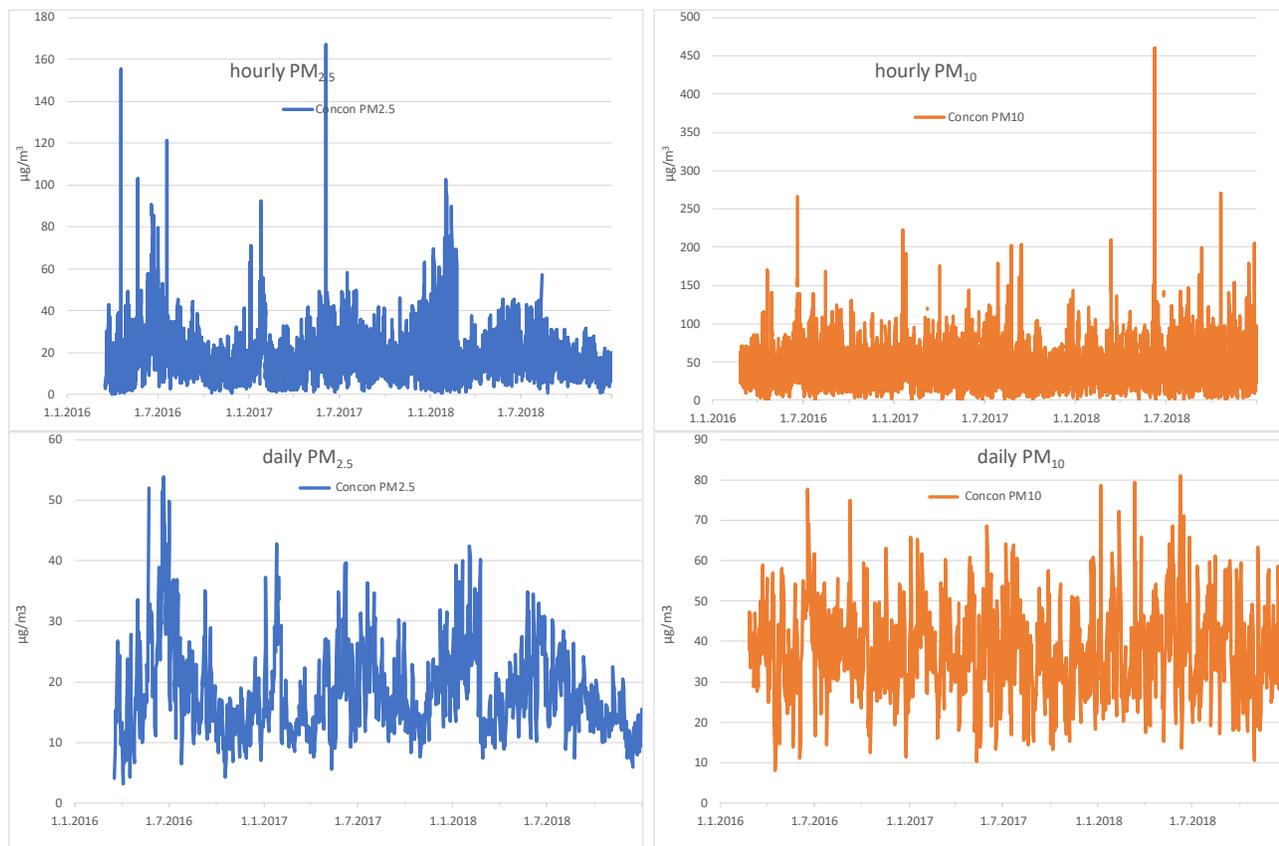


Figura 43. Valores de concentración por hora de MP_{2.5} y MP₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en la estación de Concón en 2016-2018. Estándar nacional para promedio diario de MP_{2.5} es 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y para MP₁₀ es 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

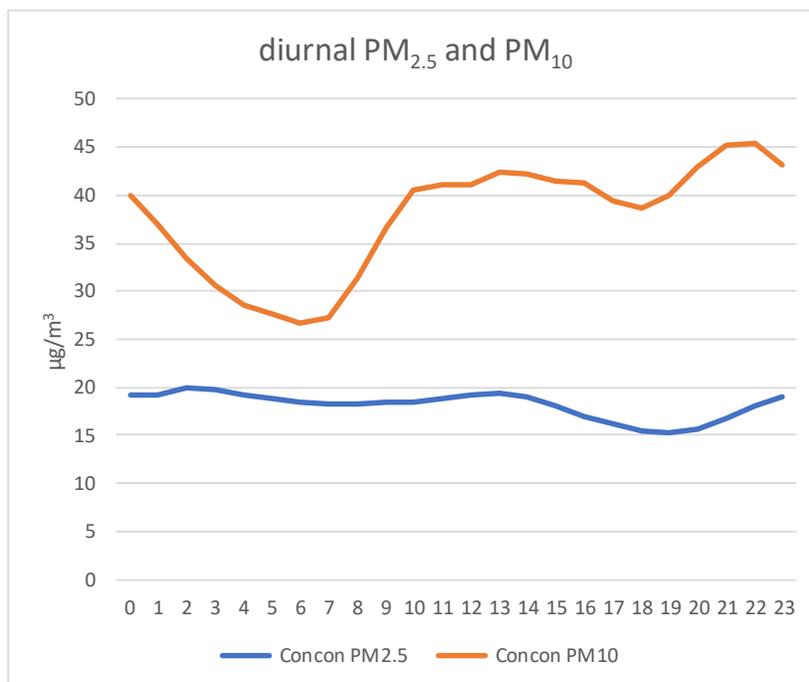


Figura 44. Variación diurna de los valores de concentración de MP_{2.5} y PM₁₀ (µg/m³) medidos en la estación de monitoreo de Concón en 2016-2018.

3.2.3.3 Óxidos de nitrógeno (NO₂, NO y NO_x) y Ozono (O₃)

En el área de Concón, los óxidos de nitrógeno (NO₂, NO y NO_x) y el O₃ se monitorean en dos estaciones, Concón y Colmo.

Óxidos de nitrógeno (NO₂, NO y NO_x)

Los niveles de concentración anual de NO₂ están por debajo de los valores límite y de referencia de la Unión Europea/de la OMS (figura 45.A). Los datos por hora de NO₂ parecen suficientemente buenos en ambas instalaciones (figura 48), aunque hay algunos problemas de cobertura de los datos en la estación de Colmo en 2018 (cobertura de datos del 66 %). Ambos sitios presentan una buena variación estacional (peaks estivales), lo que sugiere una fuerte influencia de los factores meteorológicos sobre la formación de NO₂, es decir, el ciclo fotoquímico básico de NO₂, NO y O₃. El ciclo diurno sugiere la fuente de emisión vehicular con las horas peak de la mañana y de la tarde junto con la disminución del mediodía debido a la formación de ozono, la mezcla de turbulencias aumentada y la brisa marina diurna (figura 45.B).

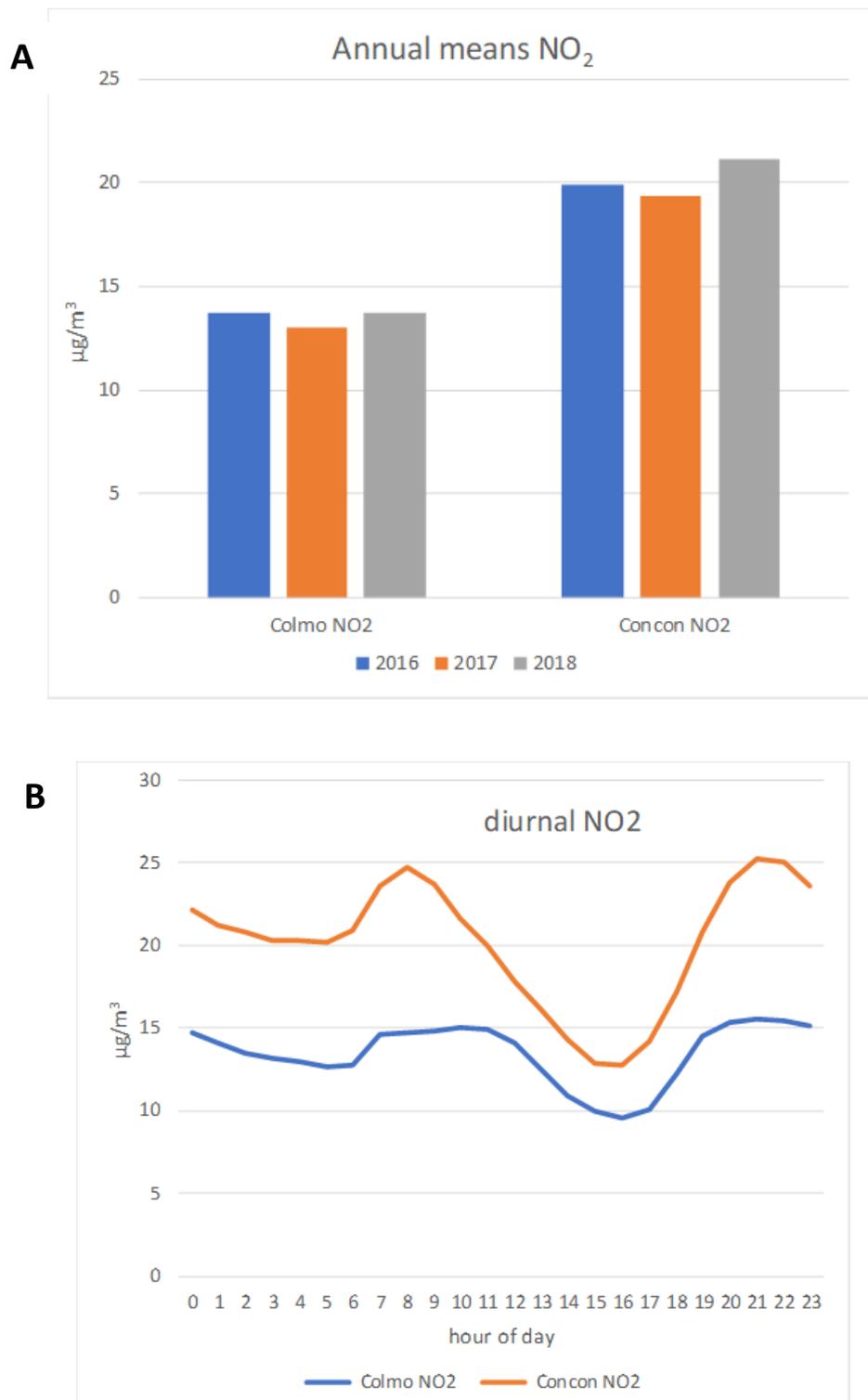


Figura 45. A. Valores promedios anuales de concentración de NO₂ (µg/m³N) medidos en las estaciones de calidad del aire de Concón y Colmo en 2016-2018. **B.** Variación diurna de las concentraciones de NO₂.

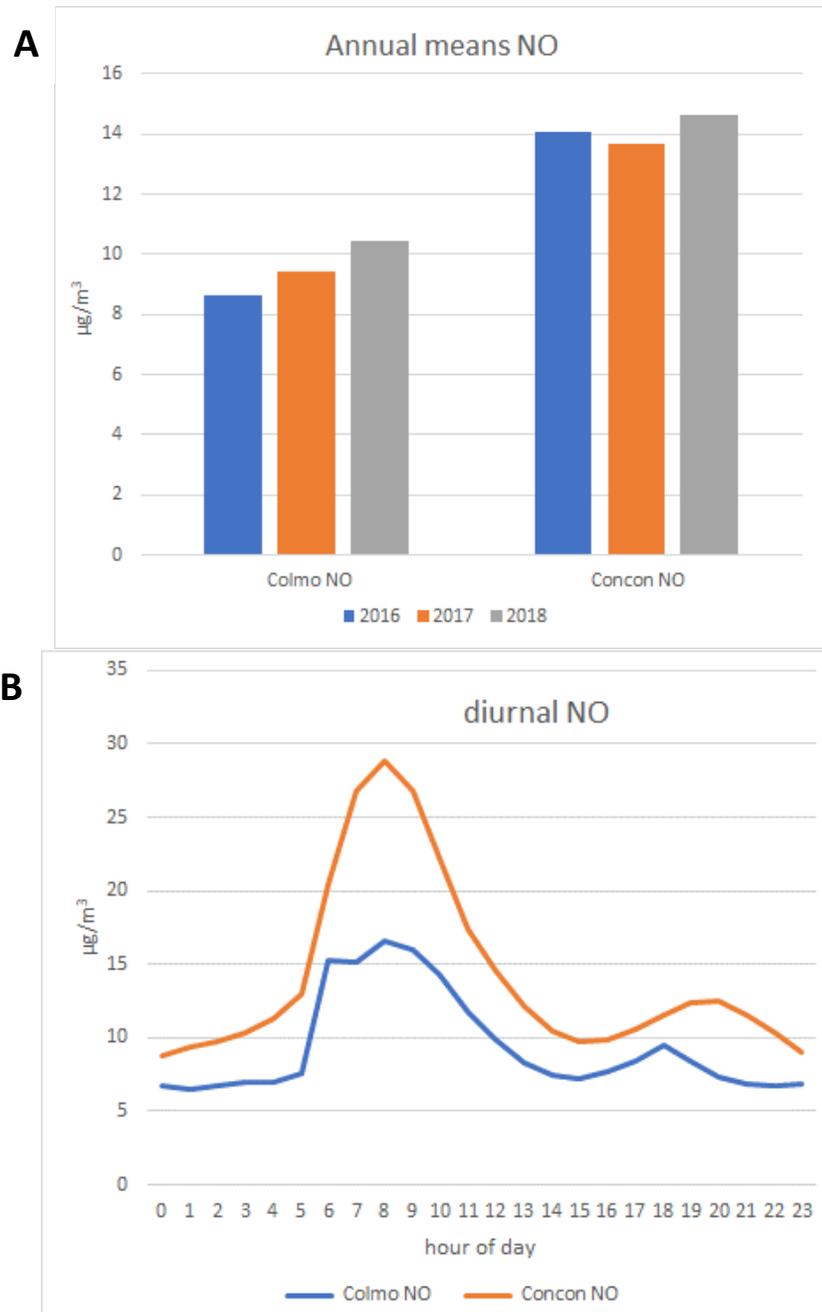


Figura 46. A. Valores promedio anuales de concentración de NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en las estaciones de monitoreo de calidad del aire Concón y Colmo en 2016-2018. **B.** variación diurna de las concentraciones de NO.

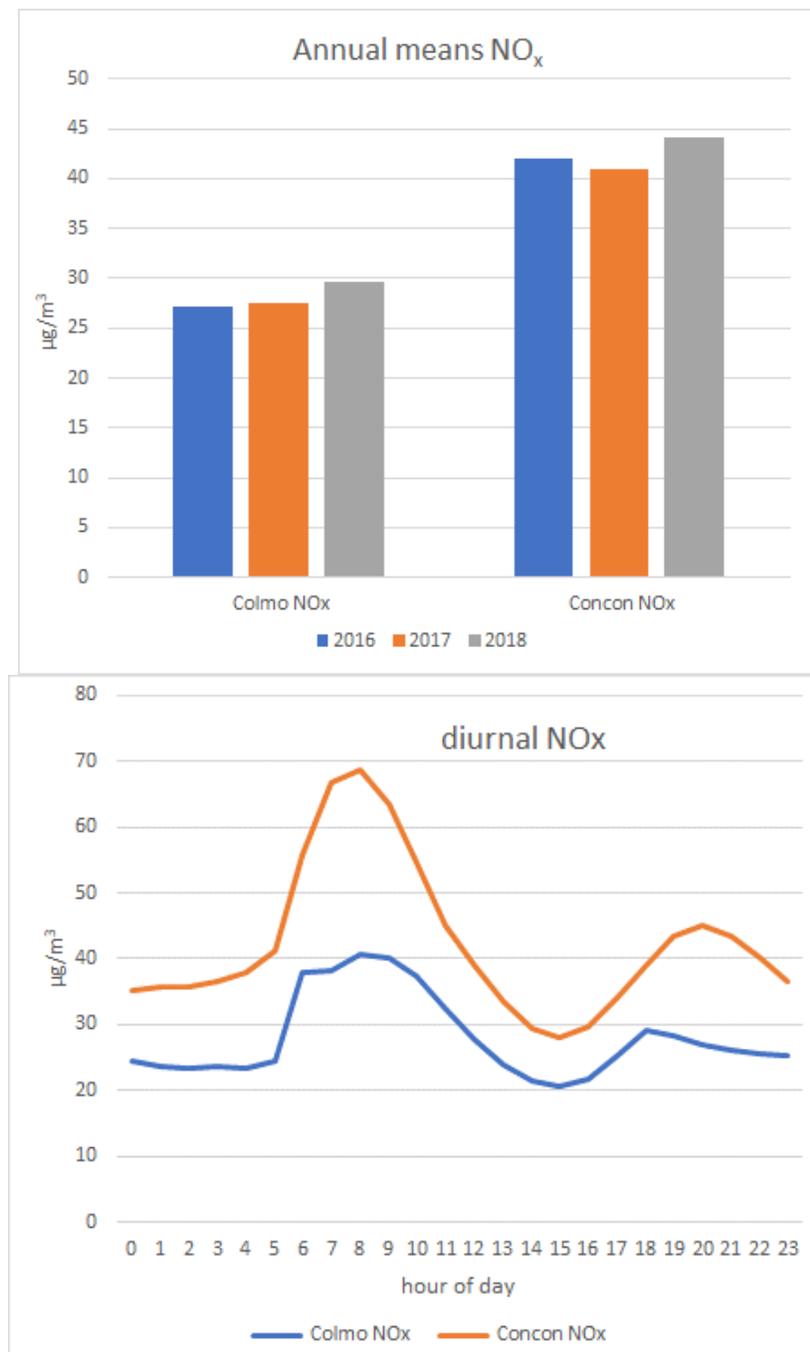


Figura 47. A. Valores promedio anuales de concentración de NO_x (µg/m³N) medidos en las estaciones de monitoreo de calidad del aire Concón y Colmo en 2016-2018. **B.** Variación diurna de las concentraciones de NO_x

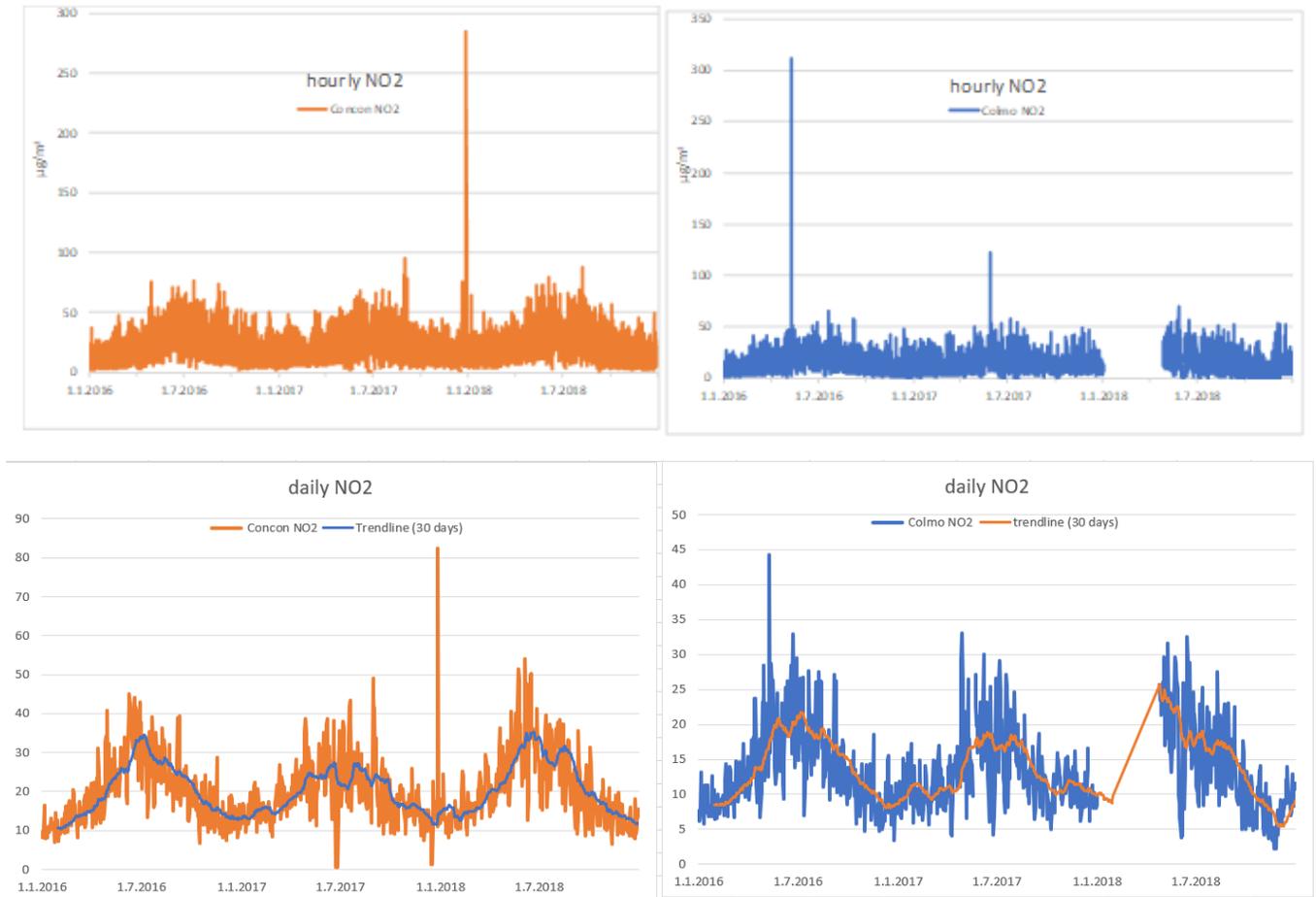


Figura 48. Valores de concentración por hora y día de NO₂ (µg/m³N) medidos en las estaciones de Concón y Colmo en 2016-2018.

O₃

Desafortunadamente, los datos por hora de O₃ (figura 49) tienen serios problemas en el extremo inferior del rango de concentración, lo cual limita la utilización de los datos. Sin embargo, los valores máximos son bajos, lejos de los valores límite establecidos para la protección de la salud humana (UE y OMS). La variación diurna de O₃ (figura 50) parece normal. La cobertura de los datos varía entre 68-99% dependiendo de la estación y del año.



Figura 49. Valores de concentración por hora de O₃ (µg/m³N) medidos en las instalaciones de Concón y Como en 2016-2018.

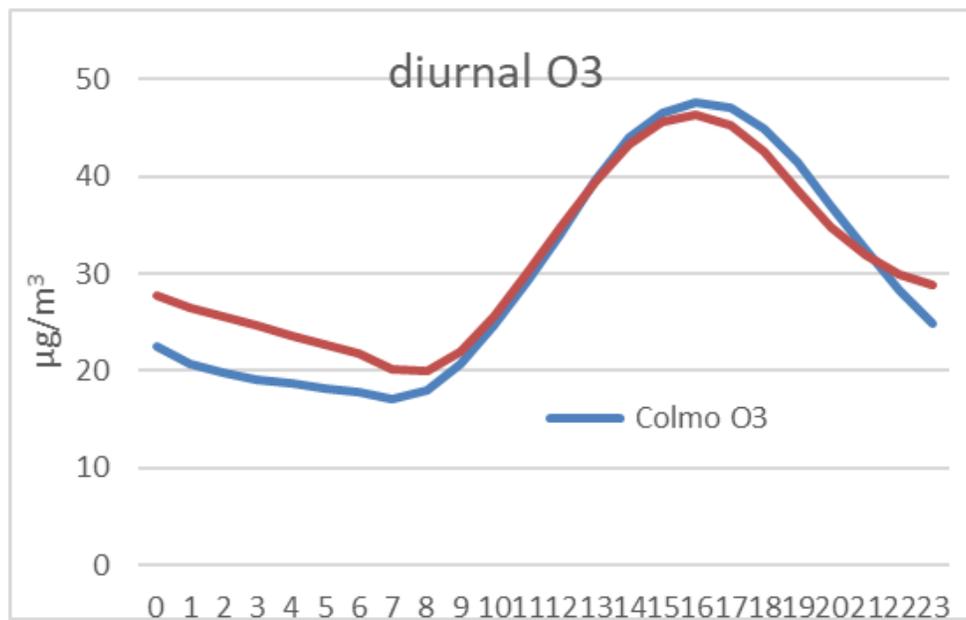


Figura 50. Variación diurna de valores de concentración de O₃ (µg/m³N) medidos en las instalaciones de Concón y Colmo en 2016-2018.

3.2.3.4 Monóxido de carbono (CO)

El CO se monitorea en las cuatro instalaciones del área de Concón. También parece que los datos de CO tienen algunos problemas de calidad (el nivel cero fluctúa) (figura 52). Sin embargo, existe una cierta correlación con el comportamiento del NO₂, es decir, máximo en verano, ciclo diurno y niveles de concentración moderados (figuras 45.B, 48, 53 y 54). La cobertura de los datos varía entre 68-99% dependiendo de la estación y del año. En base a los bajos niveles de concentración de CO, no sería necesario supervisarlos de forma continua. Por lo tanto, se recomienda reducir el número de estaciones de supervisión de CO en la zona: una estación sería suficiente.

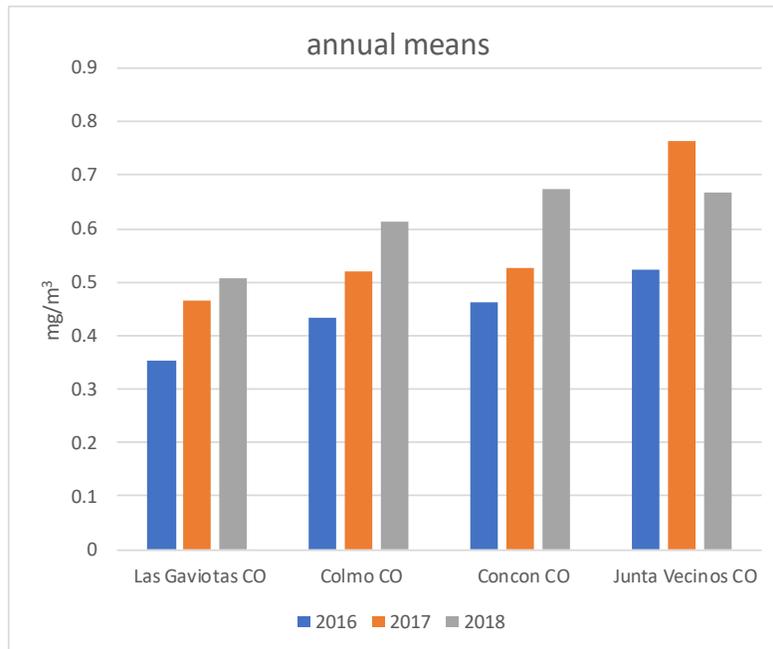


Figura 51. Valores promedios anuales de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en el área de Concón en 2016-2018.

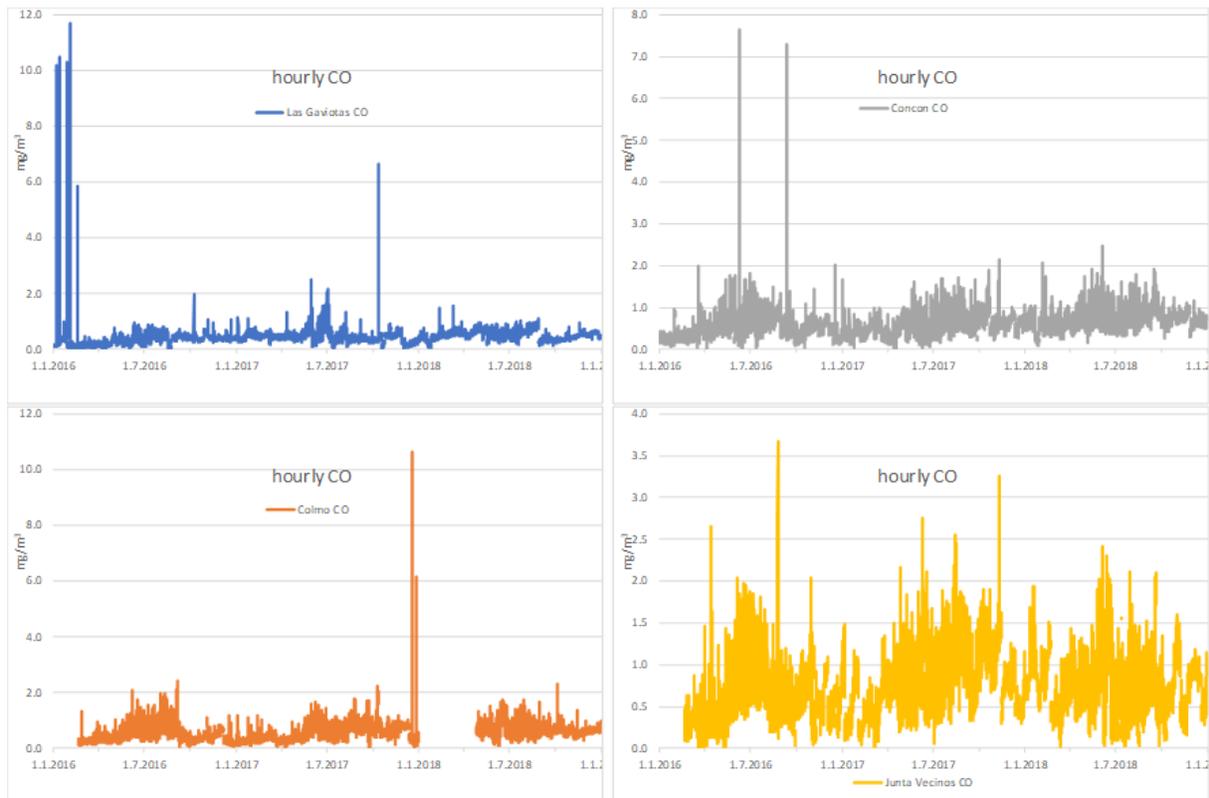


Figura 52. Valores de concentración por hora de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 4 estaciones del área de Concón en 2016-2018.

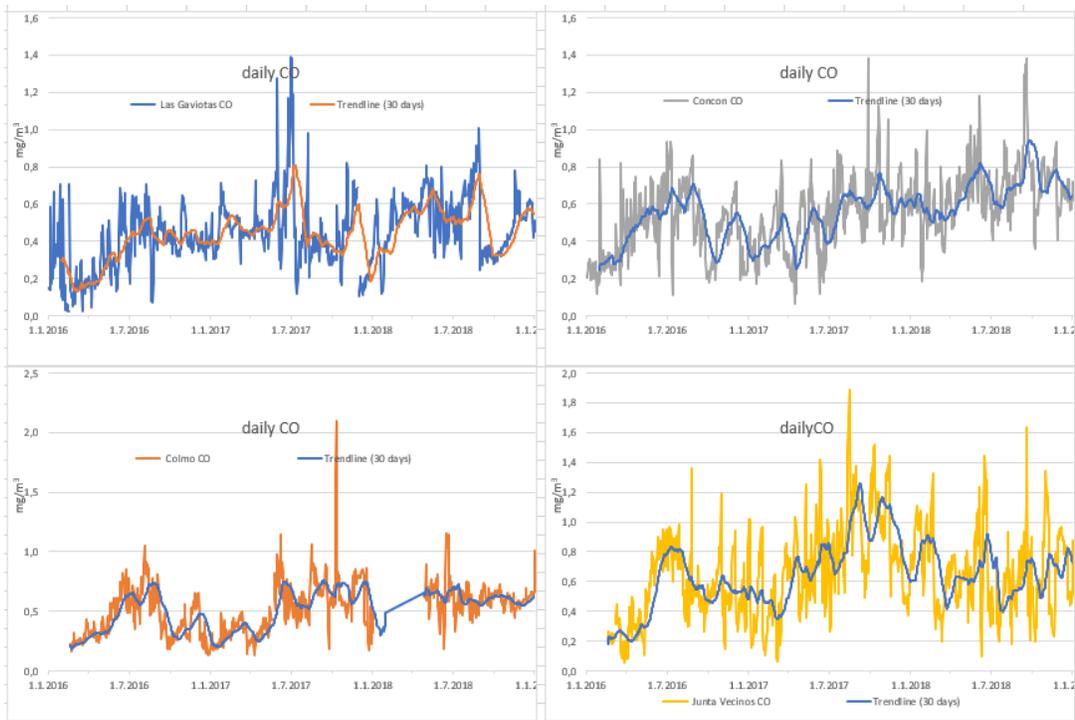


Figura 53. Valores de concentración diarios de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en 4 instalaciones en el área de Concón en 2016-2018.

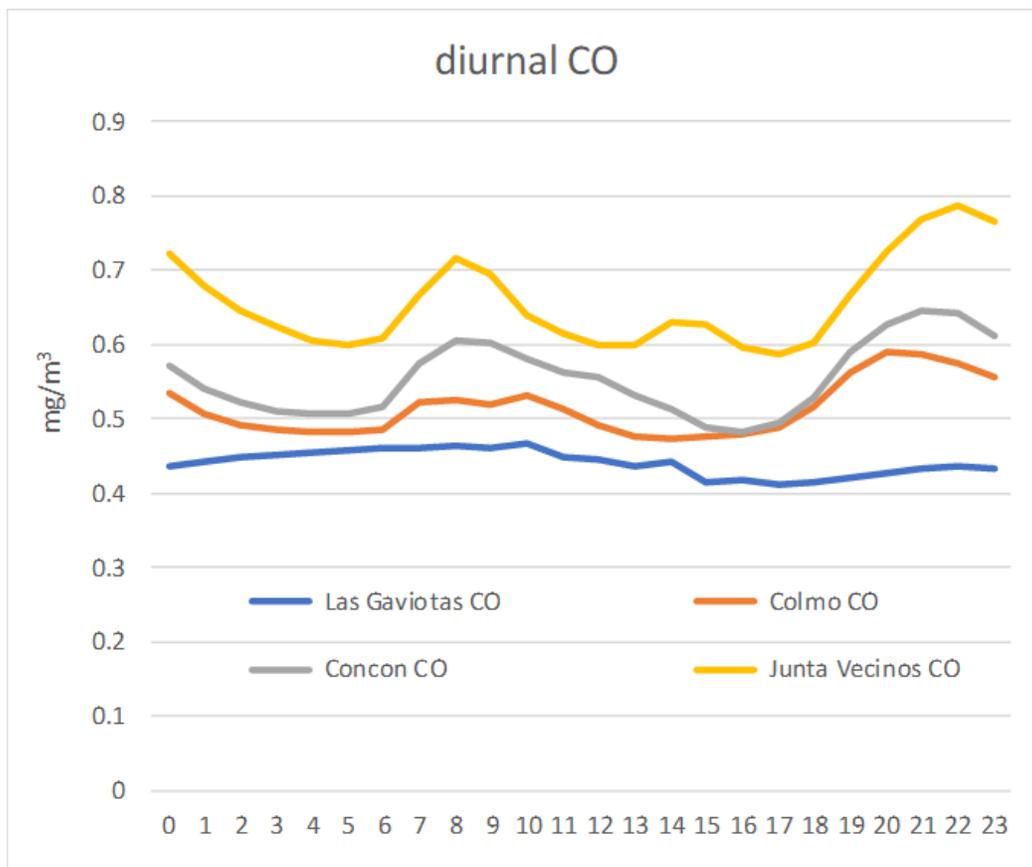


Figura 54. Variación diurna de valores de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) medidos en el área de Concón en cuatro instalaciones de supervisión en 2016-2018.

3.2.3.5 Hidrocarburos no metánicos (COVNM) y metano (CH_4)

Los COVNM y el CH_4 se monitorean en las cuatro estaciones del área de Concón. Desafortunadamente, hay graves problemas con la calidad de los datos (cobertura de datos, problemas de nivel cero). Sin embargo, el período de cinco meses de datos de Concón a finales de 2018 tiene una variación diurna muy similar a la del SO_2 que puede sugerir la misma fuente (figuras 39 y 55)

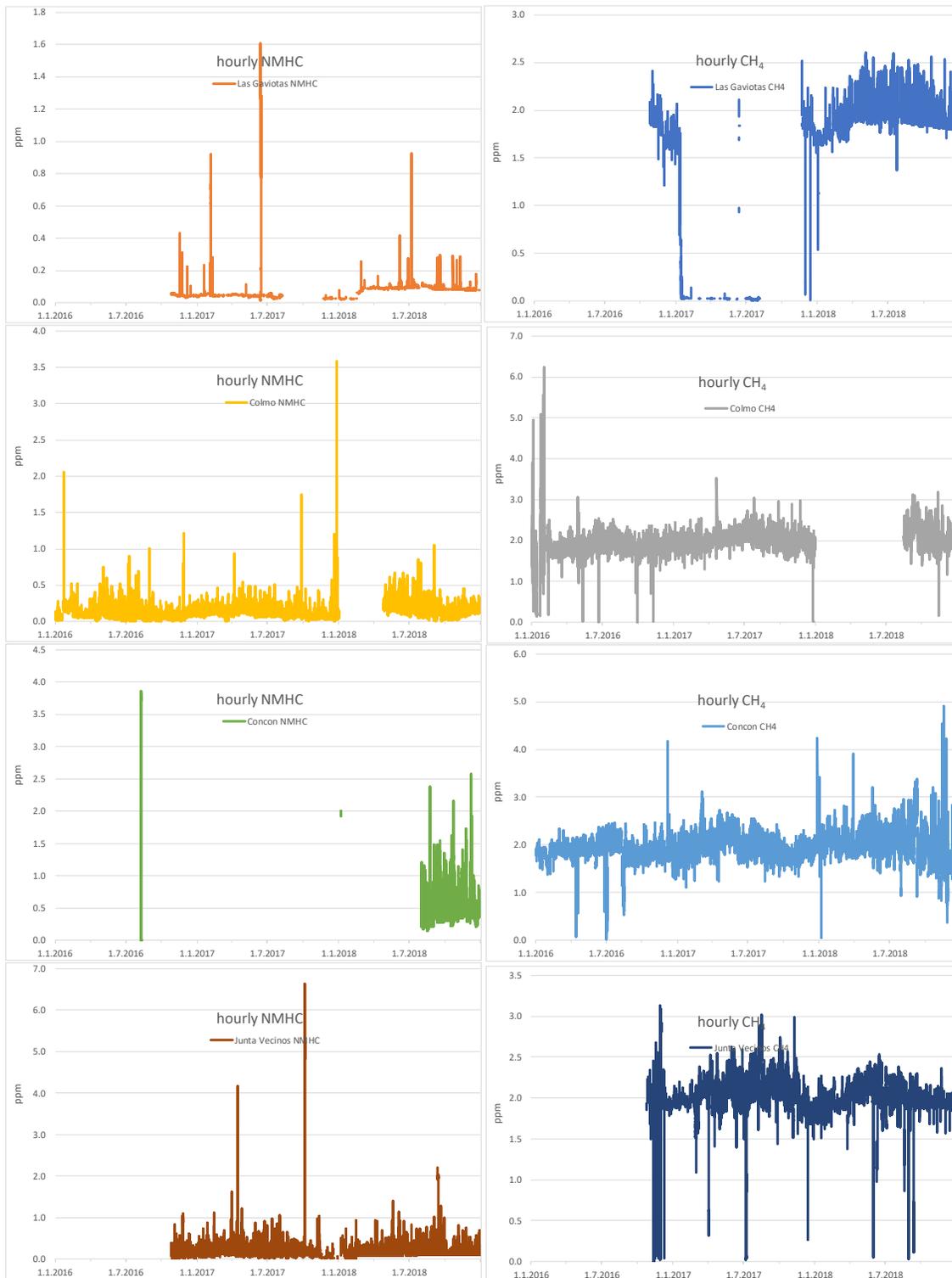


Figura 55. Valores de concentración por hora de COVNM y CH₄ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 4 instalaciones en el área de Concón en 2016-2018.

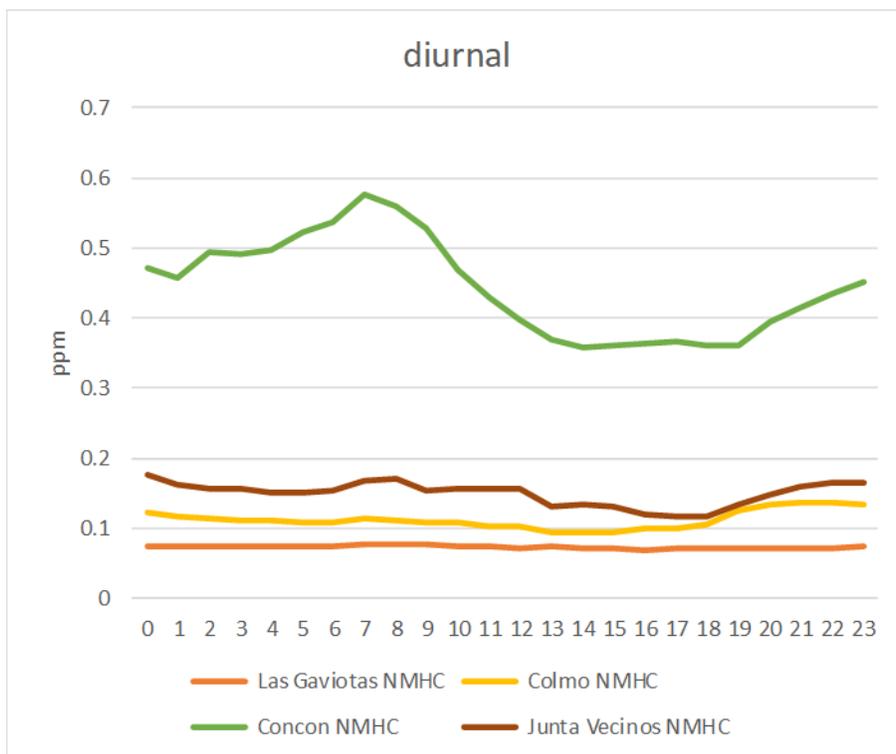


Figura 56. Variación diurna de valores de concentración de COVNM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 4 estaciones en el área de Concón en 2016-2018.

3.3 Evaluación de las condiciones del entorno, infraestructura, representatividad espacial y número relevante de las estaciones para monitorear el impacto industrial y la relevancia de sustancias/parámetros medidos

El análisis correspondiente a esta sección se ha desarrollado a lo largo del reporte y se resume en la sección de Conclusiones.

Se complementa la evaluación de la infraestructura con la comparación descrita por la siguiente tabla 8 de materialidad y las figuras 57 y 58 que describen estaciones de monitoreo típicas de Finlandia, utilizadas por el FMI, ubicadas en un área rural y otra en un área urbana. De acuerdo con la información y fotos presentadas en las fichas técnicas (anexo), específicamente, las estaciones parecen estar en buenas condiciones y bien mantenidas.

Tabla 8. Cuadro comparativo de la infraestructura de las estaciones de monitoreo de la red de Quintero-Puchuncaví y Concón

| Estación | Tipo | Cerco perimetral | Material exterior | Techo | Suelo inmediato | Interior |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Ventanas</i> | container | panel de alambre | metálico blanco | con andamio | concreto, gravilla | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Valle Alegre</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | gravilla, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Sur</i> | container | no tiene | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Quintero</i> | container | muro de concreto | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Puchuncavi</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | gravilla, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Los Maitenes</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | gravilla, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Loncura</i> | container y andamio lateral | muro de concreto | metálico blanco | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>La Greda</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Centro Quintero</i> | doble container y andamio lateral | muro de concreto | metálico blanco | sin andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Las Gaviotas</i> | container | no tiene | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Junta de Vecinos</i> | container | panel de concreto | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Concón</i> | container | patio de vivienda | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Colmo</i> | container | patio de vivienda | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |



Figura 57. Estación de calidad del aire de “background” rural en Sammaltunturi, Finlandia (FMI)



Figura 58. Cabina móvil de medición de calidad del aire que es fácil de desplazar entre diferentes lugares de medición.

3.4 Evaluación del estado actual de los parámetros requeridos para la modelación de la calidad del aire

Las estimaciones de la dispersión de contaminantes a escala local, como es la zona de Quintero, Puchuncaví y Concón, requieren de datos de observación meteorológica detallados que representen de forma adecuada el área de estudio y sus condiciones meteorológicas locales y las condiciones climatológicas. Las condiciones meteorológicas definen las condiciones de dispersión de los contaminantes, por lo que es recomendable explorar las condiciones locales de estabilidad superficial y mediciones de capa límite planetaria en la zona. Lo anterior se relaciona con el desempeño de distintas herramientas de modelación de la calidad del aire, por

ejemplo, modelos de tipo gaussianos, eulerianos o lagrangeanos o combinación de ellos, de los cuales es recomendable siempre evaluar su desempeño en el caso de estudio o zona de aplicación. Además, es siempre recomendable disponer de actualizaciones de los inventarios de emisiones para poder contar con información que represente las emisiones de contaminantes de la zona.

3.4.1 Medición de parámetros de altura

Los parámetros meteorológicos básicos relevantes para las simulaciones de dispersión son viento, temperatura ambiente, estabilidad de la capa límite y altura de mezcla. En este caso es importante la mantención del monitoreo de variables meteorológicas en altura como el que se mantiene con la estación de 40 metros de altura llamada “Torre Meteorológica” (figura 59). Esta estación mide temperaturas y vientos a varios niveles, lo que permite evaluar los fenómenos de estabilidad cercana a la superficie de la zona costera. Los datos medidos en las estaciones de muestreo son necesarios para entender el comportamiento local de la dispersión de los contaminantes, pero deben complementarse con mediciones especiales. Este tipo de mediciones especiales pueden ser de parámetros de capa límite y mediciones climatológicas de la zona que permitan entender los fenómenos de dispersión de contaminantes en las distintas estaciones del año. Lo anterior es válido para las dos zonas geográficas donde se mantienen las redes de monitoreo de Quintero-Puchuncaví y la red de Concón.

El viento permite determinar la velocidad y la dirección de dispersión de contaminantes, mientras que la estabilidad indica la velocidad de mezcla turbulenta dentro de la capa límite. La mezcla turbulenta es el factor más importante para la dilución de contaminantes durante su transporte, siendo la estimación de la altura de la capa de mezcla, la medición de la extensión vertical de la pluma de contaminantes que puedan estar generándose en la zona. Es recomendable la implementación de sistemas de medición que permitan estudiar primero el comportamiento de la capa límite en la zona, que en este caso es del tipo de capa límite costera. En general los datos de turbulencia y la altura de la capa límite no están disponibles en ninguna medición de rutina. Por lo tanto, es recomendable desarrollar mediciones adicionales a las obtenidas desde la Torre Meteorológica, que puede acompañarse con campañas de mediciones con globos cutivos por ejemplo, lo que asegura mediciones directas de parámetros meteorológicos de altura, pero que tienen dificultades, sobre todo frente a eventos de fuerte viento costero. También es importante ver la posible realización de mediciones de flujos a través, por ejemplo, de anemómetros ultrasónicos, o mediciones indirectas desarrolladas por equipos remotos tales como LIDAR (Light Detection and Ranging), SODAR (Sonic Detection and Ranging) o desarrollar estudios especiales que permitan conocer la dinámica de la meteorología en diferentes escalas para zona.



- Sensores de Temperatura, Humedad Relativa a: 10, 20 y 40m
- Velocidad y Dirección del Viento a: 20 y 40m
- Presión y Radiación a 20 m
- Pluviometría a 2,5 m.

Figura 59. Torre Meteorológica de la red Quintero-Puchuncaví y Concón

3.4.2 Modelación meteorológica y de calidad del aire

Para el estudio de la estabilidad superficial, se puede introducir la aplicación de métodos indirectos para calcular estos parámetros que permiten estimar la altura de la capa de mezcla. Por ejemplo, el modelo Meteorological Pre-Processing Model (MPP-FMI) (Backman, et al., 2017) desarrollado en el FMI se basa en una versión ligeramente modificada del método de presupuesto de energía de van Ulden y Holtslag (Van Ulden & Holtslag, 1985). Este método evalúa los flujos turbulentos de calor y flujos de momento en la capa límite atmosférica utilizando las observaciones meteorológicas disponibles habitualmente. El output del preprocesador consiste en estimaciones de la serie de tiempo por hora de los parámetros atmosféricos relevantes (la escala de longitud Monin-Obukov, la velocidad de fricción y la escala de velocidad convectiva), así como la altura de la capa límite.

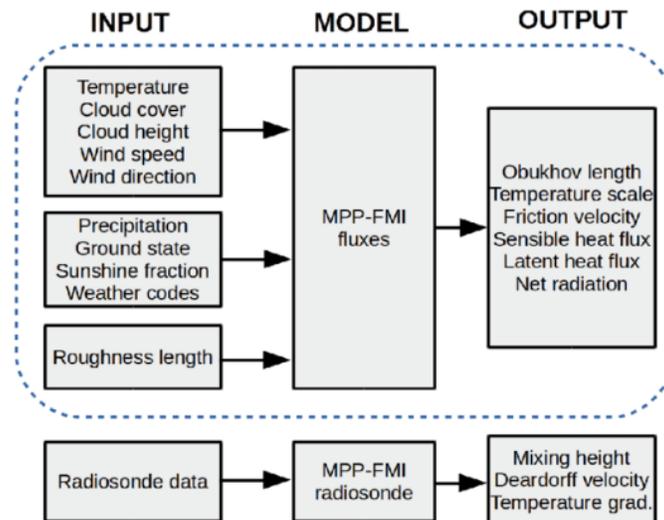


Figura 60. Ejemplo de diagrama esquemático sobre el flujo de información del preprocesador meteorológico MPP-FMI (Backman, et al., 2017)

Para la aplicación de la modelación de calidad del aire, si se evalúa el uso de modelos de tipo gaussianos es importante tener series temporales largas, al menos de 3 años de datos meteorológicos y con resolución horaria, como se cuenta en la zona. Es necesario evaluar el desempeño de distintos modelos meteorológicos y su capacidad de acoplarlos a modelos químicos de dispersión de contaminantes, por ejemplo, el modelo HIRLAM que es un modelo hidrostático de puntos de grilla con una dinámica semilagrangiana, en el que son parametrizados los procesos radiactivos y los que suceden a escala sub-grilla (turbulencia, nubes y condensación, convección, intercambios de agua y energía con la superficie, etc.) (Finnish Meteorological Institute, 2018). Un modelo usado en Chile por ejemplo es el denominado “Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF –Chem)” (Universidad y Tecnología, Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2012). El modelo WRF-Chem, es un modelo numérico eulerino de alta resolución para procesos físicos y químicos asociados a la calidad del aire. Además de los datos de observación meteorológica necesarios para estudiar el transporte de contaminantes, también se requiere la información de calidad del aire para los cálculos de dispersión, así como la validación de los resultados de modelación y los datos de input.

3.5 Evaluación de las técnicas de medición utilizadas y recomendaciones para estimar la contribución de las emisiones de quema de biomasa, aerosoles naturales y MP en suspensión producto de tráfico

3.5.1 Estaciones de monitoreo continuo y técnicas de monitoreo usadas

Todas las estaciones están equipadas con modernos monitores de calidad del aire. Los analizadores y las cabinas de la estación están bien mantenidos, limpios y cuentan con el equipo necesario para mantener las condiciones óptimas para los dispositivos. Se prestó especial atención de manera muy positiva al monitoreo del material particulado. Todas las estaciones disponen de muestreadores gravimétricos de MP₁₀ y MP_{2.5}. Con los muestreadores, es posible controlar la calidad de los analizadores continuos de MP. Los muestreadores de MP utilizan filtros para la medición de partículas. El método gravimétrico da también la opción de realizar análisis químicos de filtros de polvo y esta es una opción valiosa cuando se investiga más información de las fuentes de contaminación.

Los analizadores y muestreadores de calidad del aire son todos métodos certificados por la EPA y en su mayoría por la UE. El Thermo Scientific TM 5014i aún no ha sido certificado en la UE, aunque es el sucesor y el modelo mejorado en comparación con el Thermo F-H62-C14, que cuenta con certificación en la UE. El 5014i cumple con todos los requisitos para la supervisión de partículas. Esto es seguro, ya que todas las estaciones disponen de muestreadores de MP para análisis gravimétrico. En la UE, todos los analizadores continuos con o sin certificación deben compararse con el método de referencia, que es el método gravimétrico. Es por ello que las redes de Quintero-Puchuncaví y Concón pueden utilizar de manera segura cualquier dispositivo de MP continuo si existe una comparación regular (pruebas de equivalencia) entre los analizadores gravimétricos y los continuos. Esta situación es mejor que en Europa, donde el muestreo gravimétrico de MP_{2,5} no es tan común como parece serlo en Quintero-Puchuncaví y Concón.

En las redes de Quintero-Puchuncaví y Concón se utilizaron los siguientes analizadores:

- SO₂: Thermo Scientific 43i en 6 estaciones, Teledyne T100 en 7 estaciones
- NO_x: Thermo Scientific 42i en 8 estaciones, Teledyne T200 en 5 estaciones
- O₃: Thermo Scientific 49i en 10 estaciones, Teledyne T200 en 3 estaciones
- CO: Thermo Scientific 48i en 3 estaciones, Teledyne T300 en 7 estaciones
- CH₄-NMHC-THC (FID): Apha-370, Horiba (FID) en 1 estación, Alpha 115, Synspec (FID) en 4 estaciones
- CH₄-NMHC-THC (Cromatógrafo de gases + FID): Thermo Scientific 55i (GC+FID) en 2 estaciones, Environnement HC51M (GC+FID) en 2 estaciones, Thermo Scientific 55i (GC+FID) en 1 estación
- Medición continua de MP₁₀: Thermo Scientific 5014i en 6 estaciones, Thermo Scientific F-H62-C14 en 2 estaciones, Met One BAM1020 en 2 estaciones
- Medición continua de MP_{2,5}: Thermo Scientific 5014i en 8 estaciones, Met One BAM1020 en 2 estaciones

Los equipos son bastante homogéneos, lo que beneficia al trabajo práctico y al mantenimiento. El suministro de piezas de repuesto y dispositivos es más fácil de organizar, también es más fácil de manejar monitores con pocas interfaces de usuario y será más fácil armonizar los procedimientos de control de calidad. Especialmente cuando la red es mantenida por un solo operario.

Las mediciones paralelas de MP₁₀ y MP_{2,5} con métodos gravimétricos son una buena solución para la biomasa, los aerosoles naturales y la supervisión del tráfico. Utilizando el análisis químico y combinando esta información con la supervisión continua de las partículas, es posible investigar las fuentes de aerosoles. La distribución de fuentes (Source apportionment, SA) es la práctica de obtener información sobre las fuentes de contaminación y la cantidad que contribuyen a los niveles de contaminación del aire ambiente. Existen muchas técnicas para esto, pero generalmente tres técnicas principales son los inventarios de emisiones, los modelos orientados a las fuentes y los modelos orientados a los receptores (MR, por su sigla en inglés).

3.5.2 Comparación de las mediciones gravimétricas y continuas de MP

En la Unión Europea, la Directiva sobre la calidad del aire, AQD 2008/50/CE (European Parliament, Council of the European Union, 2008), establece las normas relativas a los métodos de referencia (RM por sus siglas en inglés) para las mediciones, por ejemplo, de la concentración masiva de partículas en el aire. El Estado

Miembro de la UE (MS) puede utilizar cualquier otro método, que puede demostrar tenga una relación coherente con el método de referencia. En el caso de las partículas, el método de referencia es el método de medición gravimétrica para la determinación de la concentración de masa $MP_{2.5}$ y MP_{10} del material particulado suspendido. Las autoridades nacionales de los Estados Miembros de la UE nombran un Laboratorio Nacional de Referencia para tareas específicas entre ellas, es decir, la coordinación del uso adecuado de los métodos de referencia y la demostración de equivalencia de métodos de no referencia. En Finlandia, se han organizado dos pruebas de demostración de equivalencia de los métodos de medición $MP_{2.5}$ y MP_{10} (Waldén, Waldén, Laurila, & Hakola, 2017) (Waldén, Hillamo, Aurela, Mäkelä, & Laurila, 2010) y verificación de analizadores de MP para MP_{10} y $MP_{2.5}$ con el método de referencia de MP (Waldén & Vestenius, Verification of PM analyzers for PM10 and PM2.5 with the PM Reference Method., 2018). Norma SFS-EN 16450:2017 Aire ambiente – Sistemas de medición automatizados para la medición de la concentración de partículas ($MP_{10}/PMP_{2.5}$) incluye criterios para la verificación continua de la idoneidad.

En las figuras 61 y 62 se presenta la correlación de los analizadores continuos de MP_{10} y $MP_{2.5}$ versus el método gravimétrico en las estaciones de calidad del aire de Puchuncaví, La Greda, Los Maitenes, Quintero y Ventanas.

En el caso de Los Maitenes, para el MP_{10} se observa que algo ha sucedido durante el período de medición, ya que parece haber 2 líneas de tendencia separadas, que podría ser relacionado con el cambio del analizador continuo tal, ya que parece haber 2 curvas de correlación diferentes que difieren entre sí. Conforme a la Directiva de la UE sobre la calidad del aire, la incertidumbre máxima para las mediciones continuas de MP no puede superar el 25 %. Los valores de las concentraciones gravimétricas se dieron sin decimales y las concentraciones de analizadores automáticos tenían decimales, que también se pueden ver en los puntos de los gráficos.

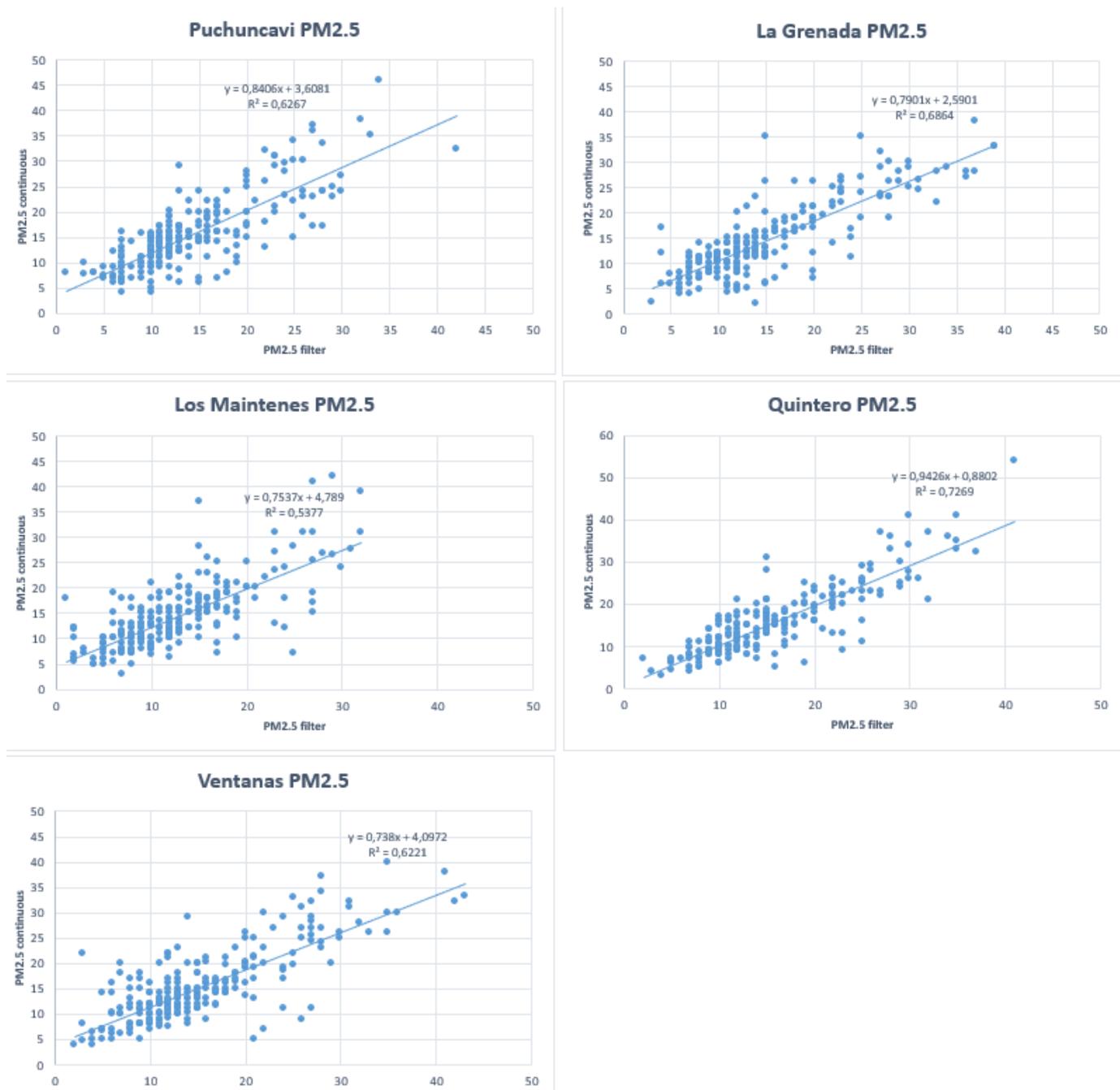


Figura 61. Relación entre la concentración diaria gravimétrica $MP_{2,5}$ (eje x) y la concentración media diaria del analizador continuo $MP_{2,5}$ (eje Y)

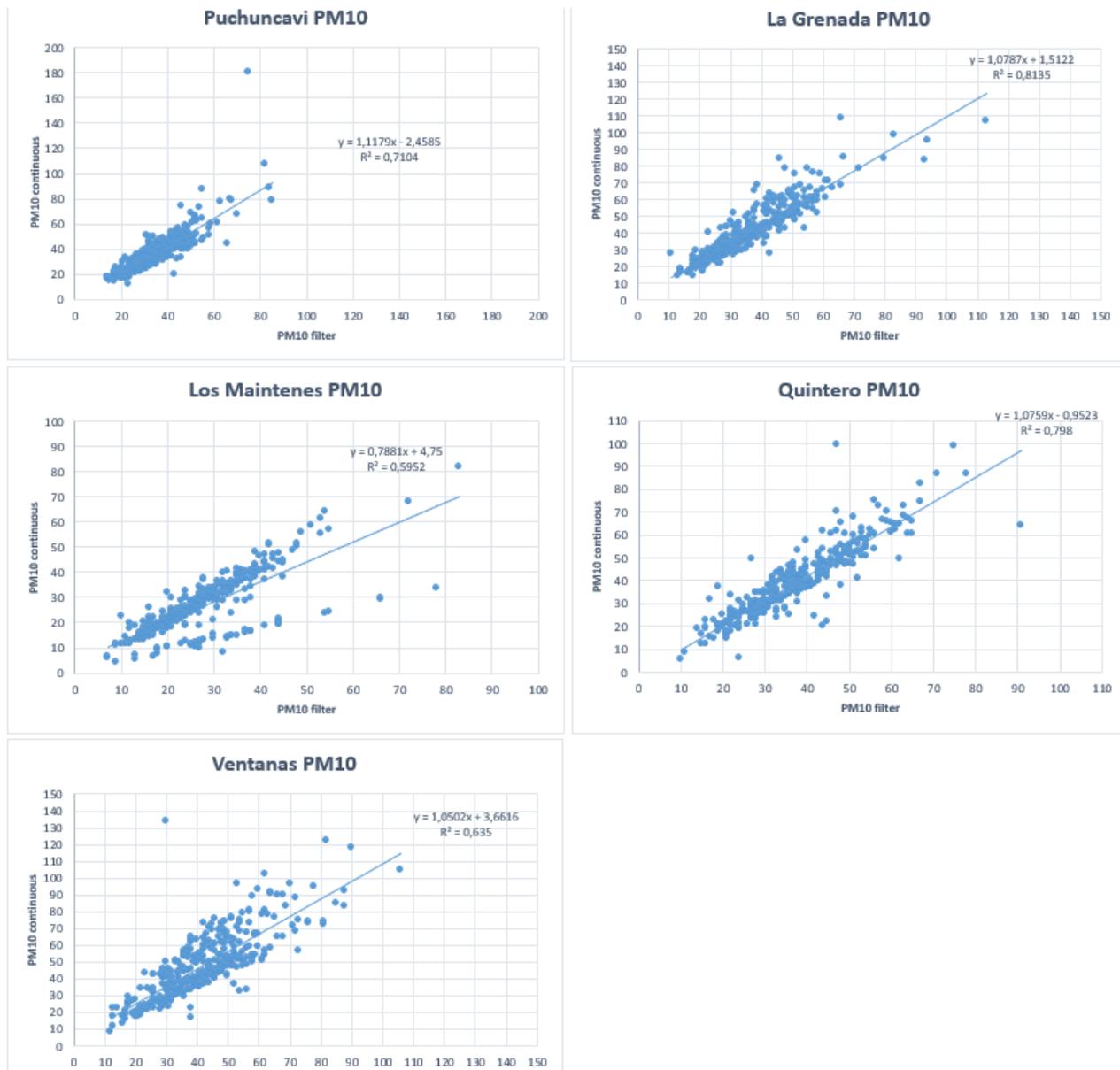


Figura 62. Relación entre la concentración gravimétrica diaria de MP₁₀ (eje x) y la concentración media diaria del analizador MP₁₀ continuo (eje Y)

3.5.3 [Campaña de monitoreo de COV implementada por NILU](#)

Los COV son un gran grupo de diferentes compuestos y se necesitarían muchos métodos diferentes y complejos para examinarlos todos. Especialmente en las emisiones de la industria, uno tiene que conocer los procesos y productos químicos utilizados para enfocar las mediciones correctamente. En el estudio realizado por NILU (NILU, 2019), los métodos de medición utilizados son de muy alta calidad y se han analizado un conjunto excepcionalmente enorme de compuestos. El informe también es excelente.

Sobre la base de los resultados presentados por NILU, los COV que tuvieron estar en concentraciones ligeramente más altas fueron algunos COV ligeros, que son hidrocarburos que contienen de 2 a 6 átomos de carbono (por ejemplo, etano, etileno, propano, benceno, butano y pentano) y BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos) compuestos procedentes de la industria. La principal preocupación a nivel de calidad del aire de la presencia de COV ligeros es su efecto en la formación de ozono. Dado que la vida útil de los COV ligeros es relativamente larga (de días a meses dependiendo de los compuestos), el efecto es más regional y tal vez no un problema sólo cerca del sitio industrial. La formación de ozono depende también de los niveles de NOx. En la UE, todos los países deben monitorear los niveles de concentración de COV ligeros debido a este efecto sobre la formación de ozono, pero no hay valores límite para ellos (European Parliament, Council of the European Union, 2008). Los compuestos BTEX también tenían concentraciones un poco más altas en algunos casos. Estos compuestos son de interés ya que son cancerígenos o dañinos en sí mismo. Sin embargo, en base a los resultados obtenidos por NILU, los niveles de concentración en Chile están muy por debajo de los valores límite internacionales.

En base a estos resultados, se recomienda realizar mediciones de COV mediante un detector de ionización de cromatógrafo de gases-llama térmica/espectrómetro de masas (figura 63), donde se pueden utilizar ambos tubos adsorbentes (figura 64) para compuestos BTEX y recipientes de acero inoxidable (figura 64) para COV ligeros. De esta manera se pueden tomar muestras en varios lugares dependiendo de la necesidad y luego analizar en un solo laboratorio. Esta configuración de medidas abarcaría todos los COV, que tienen obligaciones de medición, por ejemplo, en los países de la UE.



Figura 63. Un ejemplo de un cromatógrafo de desorción térmica- de gases-espectrómetro de masas



Figura 64. Ejemplos de los tomamuestras recomendados: recipientes de acero inoxidable (izquierda) y tubos adsorbentes (derecha)

4. Conclusiones

Los siguientes resultados y conclusiones se basan en el análisis de los datos de monitoreo de calidad del aire de Quintero-Puchuncaví y Concón (2016-2018):

- La red actual de monitoreo de la calidad del aire de 13 estaciones de calidad del aire que miden O_2 , $MP_{2,5}$, MP_{10} , NO_x , O_3 , CO , $COVNM$ y CH_4 es demasiado grande para su finalidad, que es monitorear el impacto de las emisiones atmosféricas sobre la calidad del aire en el área de estudio. Se recomienda encarecidamente optimizar la red reduciendo el número de mediciones que no son prioritarias y desarrollar la red y el programa de supervisión añadiendo algunas nuevas mediciones y análisis para comprender mejor la calidad del aire en la zona.
- Ambas áreas de estudio parecen tener problemas con altas concentraciones de SO_2 y $MP_{2,5}$: la situación es más grave en el área de Quintero-Puchuncaví, por lo que los contaminantes prioritarios que se deben medir son el material particulado ($MP_{2,5}$, MP_{10}) y el dióxido de azufre (SO_2).
- El monóxido de carbono (CO), el ozono (O_3) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) no son los contaminantes prioritarios que se deben medir ya que sus niveles de concentración en todas las estaciones de supervisión actuales son bajos. En base a la baja concentración medida durante los últimos 3 años, no sería necesario medir continuamente el CO . Con sólo 1 o 2 estaciones de medición de O_3 y NO_x sería suficiente. Sin embargo, las mediciones de ozono deben ubicarse más lejos de las fuentes de emisión directa (industria, producción de energía y tráfico).
- Teniendo en cuenta las actividades industriales a gran escala en la zona, es necesario realizar mediciones y análisis adicionales en el futuro, como, por ejemplo, análisis de metales de las muestras de filtros de partículas, COV (benceno, tolueno, etc.) y también posibles HAP (benzo(a)pireno). Después de un análisis químico más detallado del material particulado, sería posible llevar a cabo un estudio de distribución de la fuente mediante modelado de PMF.
- Se recomienda encarecidamente optimizar la red de monitoreo enfocándose en las mediciones prioritarias y en los contaminantes que deben medirse teniendo en cuenta las actividades industriales de la zona.
 - Las concentraciones de SO_2 , $MP_{2,5}$ y MP_{10} son altas, por lo que son contaminantes prioritarios y deben mantenerse en el plan de monitoreo de la calidad del aire. Sin embargo, puede reducirse el número de estaciones de la red actual. El $MP_{2,5}$ y el MP_{10} no tienen por qué medirse en las mismas estaciones.
 - Se recomienda comenzar con el análisis químico de las muestras de filtro de $MP_{10}/MP_{2,5}$ en 1-2 estaciones, incluyendo el análisis de metales de los filtros, y posiblemente también el análisis químico de aniones y cationes.
 - Se recomienda desarrollar una estación de calidad del aire principal en la zona, denominada "super-site", que puede contener tanto mediciones básicas (SO_2 , NO_x , $MP_{2,5}/MP_{10}$) como mediciones y muestreos adicionales para análisis; COV (BTEX y tubos de muestreo) y muestras de filtro para análisis químico (metales, aniones y cationes, HAP, levoglucosán...).

- Sería importante tener una estación de fondo (background) a unos 20-50 kilómetros de la zona industrial y las carreteras principales.
 - Se recomienda medir los compuestos COVNM para que los diferentes compuestos puedan analizarse por separado. Si se miden los COVNM totales es difícil comparar el resultado con los valores límite basados en la salud y evaluar las fuentes de los COV.
 - Se recomienda que las mediciones de COV se realicen mediante un detector de ionización de llama por cromatografía de gases térmicos / espectrómetro de masas, donde se pueden usar tanto tubos adsorbentes para compuestos BTEX como recipientes de acero inoxidable para COV ligeros. De esta forma, las muestras se pueden tomar en varios lugares según la necesidad y luego analizarse en un laboratorio. Esta configuración de medición cubriría todos los COV, que tienen obligaciones de medición, por ejemplo, en países de la UE.
 - Las concentraciones de NO₂, O₃ y CO parecían estar en un nivel bajo, por lo que no se necesitan muchas estaciones/analizadores de medición para ellas. Por ejemplo, en la zona sería suficientes 2-3 mediciones de NO_x y 1-3 mediciones de ozono y CO (si hay alguna necesidad específica de medir CO). Las concentraciones de CO a menudo estaban por debajo del límite de detección del analizador, por lo que los niveles de concentración indicaban que el CO no es un contaminante prioritario para medir. Además, se detectaron problemas de calidad de los datos con las mediciones de NO₂, O₃ y CO, por lo que es muy importante mejorar la calidad de las mediciones y los datos (procesos de control de calidad).
 - La mejora de los procesos de validación de datos de supervisión de la calidad del aire sería beneficiosa. Se observó que el nivel cero de algunos de los analizadores se desvía a menudo, lo que lleva a una mayor incertidumbre de los resultados de la supervisión. La validación de datos basada en las calibraciones regulares podría ser la solución para controlar el desvío del nivel cero y para controlar la calidad de los resultados de la supervisión.
- Debido a los altos niveles de contaminación industrial, a la meteorología local y a las condiciones topográficas, se observa que las zonas más densamente pobladas tienen también las mayores concentraciones de contaminación. Por ello, además de optimizar la red de supervisión de la calidad del aire en la zona, sería muy importante desarrollar también acciones de prevención de la contaminación, políticas y leyes para reducir las emisiones nocivas y mejorar la calidad del aire en la zona.
 - El CH₄ suele considerarse un gas de efecto invernadero, por lo que no está incluido en los programas y planes de monitoreo de la calidad del aire en Europa. En la UE no existe un valor límite para las concentraciones de CH₄ en el aire ambiente, por lo que tampoco se monitorea el cumplimiento de niveles de CH₄.

5. BIBLIOGRAFIA

- Air Quality Division, MMA. (2019). *Inventory of Atmospheric Emissions. Atmospheric Prevention and Decontamination Plan (PPDA) for the communes of Concón, Quintero and Puchuncaví*. Chile: Ministry of Environment, Chile.
- Backman, J., Wood, C. R., Auvinen, M., Kangas, L., Hannuniemi, H., Karppinen, A., & Kukkonen, J. (2017). Sensitivity analysis of the meteorological preprocessor MPP-FMI 3.0 using algorithmic differentiation. *Geosci. Model Dev.* 10, 3793 - 3803.
- Centro Mario Molina. (2017). *Evaluación y Rediseño de las Redes de Monitoreo de Calidad del Aire*. Santiago.
- European Parliament, Council of the European Union. (2008). *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe*. European Union.
- Finnish Meteorological Institute. (2018). *Meteorological research*. Obtenido de Finnish Meteorological Institute: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/meteorological-research>
- NILU. (2019). *Fingerprint of Volatile Organic Compounds in the Quintero-Puchuncaví area. Results from Screening Campaign*.
- Rubio, M., Sanchez, K., & Lissi, E. (2010). Ozone levels associated to the photochemical smog in Santiago of Chile. The elusive role of hydrocarbons. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 709-711.
- Universidad y Tecnología, Fundación para la Transferencia Tecnológica. (2012). *Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso Implementación de un Modelo Atmosférico*.
- Van Ulden, A., & Holtslag, A. (1985). Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 24, 1196-1207.
- Waldén, J., Waldén, T., Laurila, S., & Hakola. (2017). *Demonstration of the equivalence of PM_{2,5} and PM₁₀ Measurement Methods in Kuopio 2014–2015*. Finnish Meteorological Institute.
- Waldén, J., & Vestenius, M. (2018). *Verification of PM analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM Reference Method*. Finnish Meteorological Institute.
- Waldén, J., Hillamo, R., Aurela, M., Mäkelä, T., & Laurila, S. (2010). *Demonstration of the equivalence of PM_{2,5} and PM₁₀ Measurement Methods in Helsinki 2007–2008*. Finnish Meteorological Institute.
- World Health Organisation. (2006). *WHO Air Quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and Sulphur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment*.
- World Health Organisation. (2017). *WHO Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future*.

6. ANEXOS

6.1 Tablas de concentración de compuestos: valores promedios e intervalo de confianza del 95%

• CH₄

| month | Ventanas | | Loncura | | Centro Quintero | | Sur | | Los Maitenes | |
|-------|----------|-------------|---------|-------------|-----------------|-------------|------|-------------|--------------|-------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 1,90 | [1.90—1.91] | 1,19 | [1.19—1.19] | 1,90 | [1.89—1.91] | 1,85 | [1.85—1.86] | 1,77 | [1.76—1.77] |
| 2 | 1,87 | [1.87—1.88] | 1,14 | [1.14—1.14] | 1,91 | [1.90—1.93] | 1,80 | [1.80—1.81] | 1,75 | [1.74—1.76] |
| 3 | 1,93 | [1.93—1.94] | 1,35 | [1.34—1.37] | 1,22 | [1.17—1.27] | 1,82 | [1.82—1.83] | 1,77 | [1.76—1.78] |
| 4 | 1,99 | [1.99—1.99] | 1,36 | [1.35—1.37] | 2,05 | [2.03—2.07] | 1,84 | [1.83—1.84] | 1,72 | [1.71—1.73] |
| 5 | 2,01 | [2.00—2.02] | 1,38 | [1.37—1.39] | 1,90 | [1.89—1.90] | 1,87 | [1.86—1.87] | 1,83 | [1.82—1.84] |
| 6 | 1,98 | [1.98—1.98] | 1,35 | [1.33—1.36] | 1,97 | [1.96—1.98] | 1,92 | [1.91—1.92] | 1,84 | [1.84—1.85] |
| 7 | 1,97 | [1.96—1.97] | 1,39 | [1.38—1.40] | 1,98 | [1.97—1.99] | 1,90 | [1.89—1.90] | 1,89 | [1.88—1.90] |
| 8 | 1,96 | [1.95—1.96] | 1,39 | [1.38—1.40] | 1,81 | [1.79—1.83] | 1,87 | [1.86—1.88] | 1,84 | [1.84—1.85] |
| 9 | 1,90 | [1.89—1.91] | 1,40 | [1.39—1.41] | 2,08 | [2.07—2.09] | 1,83 | [1.82—1.84] | 1,87 | [1.87—1.88] |
| 10 | 1,91 | [1.90—1.91] | 1,40 | [1.39—1.42] | 1,93 | [1.93—1.94] | 1,85 | [1.84—1.86] | 1,83 | [1.82—1.83] |
| 11 | 1,91 | [1.90—1.91] | 1,40 | [1.39—1.41] | 1,90 | [1.90—1.90] | 1,84 | [1.84—1.85] | 1,77 | [1.76—1.78] |
| 12 | 1,92 | [1.91—1.92] | 1,36 | [1.35—1.37] | 1,90 | [1.90—1.91] | 1,80 | [1.80—1.80] | 1,76 | [1.76—1.77] |

• CO

| month | Loncura | | CentroQuintero | | Quintero | | Sur | | LosMaitenes | |
|-------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 0,09 | [0.08;0.09] | 0,35 | [0.35;0.36] | 0,32 | [0.31;0.32] | 0,27 | [0.27;0.28] | 0,51 | [0.51;0.52] |
| 2 | 0,15 | [0.14;0.16] | 0,33 | [0.32;0.34] | 0,34 | [0.33;0.34] | 0,30 | [0.29;0.30] | 0,40 | [0.39;0.41] |
| 3 | 0,09 | [0.09;0.10] | 0,31 | [0.29;0.33] | 0,35 | [0.35;0.35] | 0,22 | [0.22;0.23] | 0,40 | [0.39;0.41] |
| 4 | 0,17 | [0.17;0.18] | 0,38 | [0.37;0.40] | 0,33 | [0.33;0.34] | 0,24 | [0.24;0.25] | 0,45 | [0.44;0.46] |
| 5 | 0,16 | [0.15;0.16] | 0,48 | [0.46;0.49] | 0,40 | [0.40;0.41] | 0,27 | [0.26;0.27] | 0,51 | [0.50;0.51] |
| 6 | 0,19 | [0.18;0.20] | 0,64 | [0.62;0.66] | 0,48 | [0.47;0.48] | 0,30 | [0.29;0.30] | 0,47 | [0.47;0.48] |
| 7 | 0,14 | [0.13;0.15] | 0,55 | [0.54;0.57] | 0,42 | [0.41;0.42] | 0,32 | [0.31;0.32] | 0,41 | [0.41;0.42] |
| 8 | 0,15 | [0.14;0.15] | 0,51 | [0.49;0.53] | 0,36 | [0.35;0.36] | 0,26 | [0.26;0.27] | 0,37 | [0.36;0.38] |
| 9 | 0,08 | [0.08;0.09] | 0,46 | [0.45;0.48] | 0,34 | [0.34;0.35] | 0,24 | [0.23;0.24] | 0,35 | [0.35;0.36] |
| 10 | 0,08 | [0.08;0.09] | 0,37 | [0.36;0.38] | 0,26 | [0.26;0.26] | 0,23 | [0.23;0.23] | 0,37 | [0.36;0.38] |
| 11 | 0,06 | [0.06;0.07] | 0,33 | [0.32;0.34] | 0,25 | [0.25;0.26] | 0,22 | [0.21;0.22] | 0,28 | [0.27;0.29] |
| 12 | 0,07 | [0.07;0.07] | 0,31 | [0.30;0.32] | 0,27 | [0.27;0.28] | 0,23 | [0.23;0.24] | 0,32 | [0.31;0.32] |

• NMHC

| month | Centro Quintero | | Sur | | Loncura | | Ventanas | | Los Maitenes | |
|-------|-----------------|-------------|------|-------------|---------|-------------|----------|-------------|--------------|-------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 0,16 | [0.15—0.17] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,04 | [0.03—0.04] | 0,10 | [0.09—0.10] | 0,10 | [0.09—0.11] |
| 2 | 0,18 | [0.16—0.19] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,60 | [0.57—0.63] | 0,09 | [0.09—0.10] | 0,11 | [0.10—0.12] |
| 3 | 0,16 | [0.14—0.17] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,09 | [0.08—0.09] | 0,10 | [0.09—0.10] |
| 4 | 0,20 | [0.17—0.22] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,05 | [0.05—0.05] | 0,09 | [0.08—0.09] | 0,10 | [0.09—0.11] |
| 5 | 0,18 | [0.16—0.19] | 0,07 | [0.06—0.07] | 0,05 | [0.05—0.06] | 0,09 | [0.09—0.09] | 0,09 | [0.08—0.10] |
| 6 | 0,24 | [0.21—0.27] | 0,08 | [0.07—0.08] | 0,07 | [0.07—0.08] | 0,09 | [0.09—0.09] | 0,08 | [0.08—0.09] |
| 7 | 0,21 | [0.19—0.22] | 0,08 | [0.07—0.08] | 0,07 | [0.06—0.07] | 0,09 | [0.09—0.10] | 0,10 | [0.09—0.10] |
| 8 | 0,28 | [0.26—0.29] | 0,07 | [0.07—0.07] | 0,05 | [0.04—0.05] | 0,09 | [0.09—0.10] | 0,08 | [0.08—0.09] |
| 9 | 0,33 | [0.31—0.34] | 0,07 | [0.07—0.07] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,06 | [0.05—0.06] | 0,06 | [0.06—0.06] |
| 10 | 0,16 | [0.15—0.17] | 0,06 | [0.06—0.06] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,07 | [0.06—0.07] | 0,06 | [0.06—0.06] |
| 11 | 0,09 | [0.08—0.10] | 0,04 | [0.04—0.04] | 0,06 | [0.06—0.07] | 0,05 | [0.05—0.05] | 0,06 | [0.06—0.07] |
| 12 | 0,09 | [0.08—0.09] | 0,04 | [0.04—0.05] | 0,09 | [0.09—0.10] | 0,06 | [0.06—0.06] | 0,06 | [0.06—0.06] |

- **NO**

| | Quintero | | Centro Quintero | | Sur | | Loncura | | Valle Alegre | |
|-----------|----------|---------------|-----------------|---------------|-------|---------------|---------|---------------|--------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 6,98 | [6.79;7.17] | 8,76 | [8.41;9.12] | 11,35 | [11.03;11.67] | 4,87 | [4.65;5.09] | 8,19 | [7.94;8.44] |
| 2 | 7,00 | [6.79;7.21] | 10,15 | [9.72;10.59] | 12,68 | [12.32;13.04] | 4,11 | [3.88;4.35] | 8,52 | [8.25;8.78] |
| 3 | 7,88 | [7.64;8.13] | 13,08 | [12.59;13.57] | 13,85 | [13.48;14.21] | 6,07 | [5.66;6.48] | 9,22 | [8.92;9.52] |
| 4 | 8,97 | [8.71;9.23] | 18,91 | [18.34;19.49] | 15,82 | [15.38;16.26] | 7,85 | [7.57;8.13] | 8,28 | [7.96;8.60] |
| 5 | 10,51 | [10.17;10.86] | 18,81 | [18.22;19.40] | 19,66 | [19.18;20.15] | 9,35 | [9.08;9.63] | 10,33 | [9.96;10.70] |
| 6 | 13,46 | [13.00;13.92] | 27,01 | [26.15;27.86] | 22,38 | [21.83;22.93] | 12,15 | [11.79;12.52] | 12,55 | [12.05;13.06] |
| 7 | 11,39 | [11.07;11.70] | 22,82 | [22.03;23.60] | 20,27 | [19.79;20.75] | 11,95 | [11.59;12.30] | 11,53 | [11.17;11.90] |
| 8 | 10,01 | [9.73;10.29] | 16,88 | [16.40;17.36] | 16,99 | [16.55;17.43] | 9,15 | [8.88;9.43] | 10,87 | [10.55;11.20] |
| 9 | 7,06 | [6.91;7.22] | 15,9 | [15.45;16.35] | 13,67 | [13.23;14.12] | 7,16 | [6.88;7.45] | 8,81 | [8.50;9.12] |
| 10 | 5,44 | [5.35;5.52] | 12,53 | [12.16;12.89] | 13,29 | [12.94;13.64] | 5,17 | [4.96;5.39] | 7,24 | [6.99;7.48] |
| 11 | 5,90 | [5.76;6.03] | 9,95 | [9.62;10.28] | 10,57 | [10.25;10.88] | 4,18 | [4.01;4.36] | 5,41 | [5.19;5.63] |
| 12 | 5,61 | [5.45;5.78] | 8,08 | [7.82;8.35] | 10,34 | [10.05;10.64] | 3,70 | [3.50;3.90] | 7,84 | [7.60;8.08] |

| | Ventanas | | Puchuncavi | | La Greda | | Los Maitenes | |
|-----------|----------|---------------|------------|---------------|----------|---------------|--------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 12,19 | [11.93;12.45] | 9,43 | [9.29;9.57] | 13,80 | [13.52;14.07] | 11,31 | [10.98;11.64] |
| 2 | 13,81 | [13.51;14.12] | 9,72 | [9.52;9.92] | 14,75 | [14.46;15.05] | 12,29 | [11.95;12.64] |
| 3 | 14,65 | [14.33;14.97] | 10,63 | [10.45;10.81] | 16,54 | [16.22;16.86] | 13,39 | [13.02;13.76] |
| 4 | 16,15 | [15.81;16.49] | 11,55 | [11.32;11.78] | 18,69 | [18.35;19.03] | 13,45 | [13.04;13.87] |
| 5 | 19,17 | [18.75;19.58] | 12,46 | [12.27;12.65] | 21,05 | [20.68;21.43] | 14,91 | [14.41;15.41] |
| 6 | 21,83 | [21.36;22.30] | 12,25 | [12.05;12.44] | 21,83 | [21.41;22.26] | 13,97 | [13.49;14.45] |
| 7 | 19,19 | [18.73;19.64] | 11,46 | [11.29;11.63] | 20,64 | [20.23;21.04] | 14,67 | [14.10;15.25] |
| 8 | 18,22 | [17.84;18.60] | 10,76 | [10.58;10.93] | 20,41 | [20.07;20.75] | 12,94 | [12.53;13.34] |
| 9 | 15,02 | [14.68;15.36] | 10,53 | [10.37;10.70] | 16,97 | [16.62;17.32] | 10,36 | [9.98;10.75] |
| 10 | 13,56 | [13.28;13.84] | 10,13 | [9.99;10.27] | 16,65 | [16.35;16.95] | 11,36 | [11.04;11.68] |
| 11 | 11,74 | [11.48;11.99] | 9,18 | [9.05;9.31] | 14,49 | [14.24;14.74] | 11,58 | [11.29;11.87] |
| 12 | 11,15 | [10.90;11.39] | 8,89 | [8.74;9.03] | 14,77 | [14.48;15.06] | 11,81 | [11.53;12.09] |

- **NO2**

| | Quintero | | Loncura | | CentroQuintero | | Sur | | ValleAlegre | |
|----|----------|---------------|---------|---------------|----------------|---------------|-------|---------------|-------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 6,98 | [6.79—7.17] | 4,87 | [4.65—5.09] | 8,76 | [8.41—9.12] | 11,35 | [11.03—11.67] | 8,19 | [7.94—8.44] |
| 2 | 7,00 | [6.79—7.21] | 4,11 | [3.88—4.35] | 10,15 | [9.72—10.59] | 12,68 | [12.32—13.04] | 8,52 | [8.25—8.78] |
| 3 | 7,88 | [7.64—8.13] | 6,07 | [5.66—6.48] | 13,08 | [12.59—13.57] | 13,85 | [13.48—14.21] | 9,22 | [8.92—9.52] |
| 4 | 8,97 | [8.71—9.23] | 7,85 | [7.57—8.13] | 18,91 | [18.34—19.49] | 15,82 | [15.38—16.26] | 8,28 | [7.96—8.60] |
| 5 | 10,51 | [10.17—10.86] | 9,35 | [9.08—9.63] | 18,81 | [18.22—19.40] | 19,66 | [19.18—20.15] | 10,33 | [9.96—10.70] |
| 6 | 13,46 | [13.00—13.92] | 12,15 | [11.79—12.52] | 27,01 | [26.15—27.86] | 22,38 | [21.83—22.93] | 12,55 | [12.05—13.06] |
| 7 | 11,39 | [11.07—11.70] | 11,95 | [11.59—12.30] | 22,82 | [22.03—23.60] | 20,27 | [19.79—20.75] | 11,53 | [11.17—11.90] |
| 8 | 10,01 | [9.73—10.29] | 9,15 | [8.88—9.43] | 16,88 | [16.40—17.36] | 16,99 | [16.55—17.43] | 10,87 | [10.55—11.20] |
| 9 | 7,06 | [6.91—7.22] | 7,16 | [6.88—7.45] | 15,90 | [15.45—16.35] | 13,67 | [13.23—14.12] | 8,81 | [8.50—9.12] |
| 10 | 5,44 | [5.35—5.52] | 5,17 | [4.96—5.39] | 12,53 | [12.16—12.89] | 13,29 | [12.94—13.64] | 7,24 | [6.99—7.48] |
| 11 | 5,90 | [5.76—6.03] | 4,18 | [4.01—4.36] | 9,95 | [9.62—10.28] | 10,57 | [10.25—10.88] | 5,41 | [5.19—5.63] |
| 12 | 5,61 | [5.45—5.78] | 3,7 | [3.50—3.90] | 8,08 | [7.82—8.35] | 10,34 | [10.05—10.64] | 7,84 | [7.60—8.08] |

| | Ventanas | | LosMaitenes | | Puchuncavi | | LaGreda | |
|----|----------|---------------|-------------|---------------|------------|---------------|---------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 12,19 | [11.93—12.45] | 11,31 | [10.98—11.64] | 9,43 | [9.29—9.57] | 13,80 | [13.52—14.07] |
| 2 | 13,81 | [13.51—14.12] | 12,29 | [11.95—12.64] | 9,72 | [9.52—9.92] | 14,75 | [14.46—15.05] |
| 3 | 14,65 | [14.33—14.97] | 13,39 | [13.02—13.76] | 10,63 | [10.45—10.81] | 16,54 | [16.22—16.86] |
| 4 | 16,15 | [15.81—16.49] | 13,45 | [13.04—13.87] | 11,55 | [11.32—11.78] | 18,69 | [18.35—19.03] |
| 5 | 19,17 | [18.75—19.58] | 14,91 | [14.41—15.41] | 12,46 | [12.27—12.65] | 21,05 | [20.68—21.43] |
| 6 | 21,83 | [21.36—22.30] | 13,97 | [13.49—14.45] | 12,25 | [12.05—12.44] | 21,83 | [21.41—22.26] |
| 7 | 19,19 | [18.73—19.64] | 14,67 | [14.10—15.25] | 11,46 | [11.29—11.63] | 20,64 | [20.23—21.04] |
| 8 | 18,22 | [17.84—18.60] | 12,94 | [12.53—13.34] | 10,76 | [10.58—10.93] | 20,41 | [20.07—20.75] |
| 9 | 15,02 | [14.68—15.36] | 10,36 | [9.98—10.75] | 10,53 | [10.37—10.70] | 16,97 | [16.62—17.32] |
| 10 | 13,56 | [13.28—13.84] | 11,36 | [11.04—11.68] | 10,13 | [9.99—10.27] | 16,65 | [16.35—16.95] |
| 11 | 11,74 | [11.48—11.99] | 11,58 | [11.29—11.87] | 9,18 | [9.05—9.31] | 14,49 | [14.24—14.74] |
| 12 | 11,15 | [10.90—11.39] | 11,81 | [11.53—12.09] | 8,89 | [8.74—9.03] | 14,77 | [14.48—15.06] |

- 03

| month | Quintero | | CentroQuintero | | Sur | | Loncura | | ValleAlegre | |
|-------|----------|---------------|----------------|---------------|-------|---------------|---------|---------------|-------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 25,11 | [24.60—25.62] | 24,75 | [24.05—25.44] | 24,77 | [24.27—25.26] | 15,30 | [14.84—15.77] | 24,44 | [23.83—25.05] |
| 2 | 21,28 | [20.84—21.73] | 23,64 | [23.02—24.25] | 18,45 | [17.96—18.95] | 14,84 | [14.33—15.35] | 19,45 | [18.89—20.00] |
| 3 | 29,40 | [28.86—29.93] | 24,93 | [24.26—25.60] | 27,36 | [26.73—27.99] | 16,67 | [16.14—17.21] | 23,63 | [23.00—24.27] |
| 4 | 27,16 | [26.58—27.74] | 23,03 | [22.19—23.87] | 28,20 | [27.56—28.84] | 15,10 | [14.58—15.61] | 22,83 | [22.17—23.48] |
| 5 | 27,93 | [27.25—28.60] | 23,22 | [22.44—24.00] | 25,03 | [24.47—25.59] | 12,83 | [12.37—13.30] | 21,82 | [21.17—22.47] |
| 6 | 29,20 | [28.52—29.88] | 22,01 | [21.21—22.80] | 25,78 | [25.22—26.33] | 14,22 | [13.72—14.72] | 21,76 | [21.07—22.44] |
| 7 | 35,54 | [34.83—36.25] | 25,11 | [24.28—25.95] | 24,86 | [24.29—25.42] | 16,73 | [16.22—17.25] | 24,16 | [23.45—24.87] |
| 8 | 40,17 | [39.47—40.86] | 30,84 | [30.11—31.58] | 28,71 | [28.08—29.34] | 19,80 | [19.27—20.34] | 28,43 | [27.65—29.21] |
| 9 | 39,38 | [38.72—40.03] | 32,95 | [32.27—33.64] | 29,99 | [29.42—30.55] | 24,83 | [24.18—25.48] | 31,21 | [30.40—32.02] |
| 10 | 37,58 | [37.01—38.14] | 30,62 | [29.98—31.26] | 28,10 | [27.47—28.72] | 22,09 | [21.53—22.66] | 27,94 | [27.18—28.69] |
| 11 | 32,65 | [32.14—33.17] | 27,65 | [27.08—28.22] | 28,47 | [27.91—29.04] | 18,33 | [17.82—18.83] | 27,60 | [26.88—28.32] |
| 12 | 28,80 | [28.36—29.24] | 26,78 | [26.23—27.34] | 27,71 | [27.17—28.26] | 19,56 | [19.07—20.06] | 25,65 | [25.04—26.25] |

| month | Ventanas | | LaGreda | | Puchuncavi | | LosMaitenes | |
|-------|----------|---------------|---------|---------------|------------|---------------|-------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 21,31 | [20.94—21.67] | 18,05 | [17.59—18.51] | 26,93 | [26.24—27.62] | 23,13 | [22.69—23.58] |
| 2 | 15,52 | [15.16—15.89] | 13,08 | [12.69—13.47] | 18,94 | [18.36—19.52] | 17,41 | [17.00—17.83] |
| 3 | 25,50 | [25.04—25.97] | 18,58 | [18.02—19.14] | 24,79 | [24.03—25.54] | 23,75 | [23.19—24.30] |
| 4 | 27,68 | [27.23—28.13] | 16,87 | [16.33—17.41] | 23,96 | [23.34—24.58] | 24,97 | [24.41—25.53] |
| 5 | 25,11 | [24.61—25.61] | 17,22 | [16.68—17.77] | 23,24 | [22.67—23.81] | 23,52 | [22.93—24.11] |
| 6 | 29,57 | [29.05—30.10] | 16,07 | [15.50—16.63] | 19,22 | [18.74—19.70] | 23,30 | [22.67—23.94] |
| 7 | 29,77 | [29.24—30.31] | 19,33 | [18.77—19.89] | 21,45 | [20.91—21.99] | 26,79 | [26.18—27.39] |
| 8 | 28,88 | [28.34—29.41] | 21,79 | [21.21—22.37] | 24,68 | [24.08—25.29] | 30,96 | [30.36—31.56] |
| 9 | 27,00 | [26.50—27.51] | 25,27 | [24.64—25.90] | 29,63 | [28.92—30.34] | 32,20 | [31.59—32.82] |
| 10 | 27,33 | [26.84—27.82] | 23,07 | [22.52—23.61] | 28,12 | [27.47—28.77] | 29,43 | [28.85—30.01] |
| 11 | 25,44 | [25.01—25.86] | 21,69 | [21.18—22.19] | 27,57 | [26.94—28.19] | 25,43 | [24.95—25.92] |
| 12 | 22,55 | [22.18—22.92] | 20,32 | [19.86—20.78] | 27,08 | [26.52—27.64] | 23,40 | [22.94—23.87] |

- PM2.5

| month | Quintero | | Loncura | |
|-------|----------|---------------|---------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 14,62 | [14.00—15.23] | 14,87 | [14.44—15.30] |
| 2 | 13,41 | [12.97—13.84] | 14,75 | [14.17—15.34] |
| 3 | 14,44 | [14.05—14.82] | 15,02 | [14.70—15.35] |
| 4 | 15,46 | [14.96—15.95] | 15,14 | [14.72—15.56] |
| 5 | 18,33 | [17.82—18.84] | 18,3 | [17.78—18.81] |
| 6 | 24,03 | [23.33—24.73] | 20,48 | [19.91—21.05] |
| 7 | 21,34 | [20.81—21.87] | 19,67 | [19.16—20.17] |
| 8 | 18,82 | [18.35—19.29] | 16,33 | [15.91—16.76] |
| 9 | 17,27 | [16.81—17.72] | 15,48 | [15.10—15.87] |
| 10 | 11,01 | [10.72—11.30] | 11 | [10.75—11.26] |
| 11 | 11,49 | [11.15—11.84] | 11,69 | [11.42—11.97] |
| 12 | 10,51 | [10.22—10.80] | 10,95 | [10.68—11.21] |

| | Ventanas | | LosMaitenes | | Puchuncavi | | LaGreda | |
|----|----------|---------------|-------------|---------------|------------|---------------|---------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 14,73 | [14.38—15.09] | 13,55 | [13.12—13.97] | 17,17 | [16.64—17.70] | 12,85 | [12.53—13.16] |
| 2 | 15,61 | [15.21—16.00] | 13,21 | [12.75—13.67] | 14,98 | [14.63—15.34] | 12,60 | [12.29—12.92] |
| 3 | 13,77 | [13.51—14.03] | 14,97 | [14.46—15.49] | 14,50 | [14.23—14.77] | 11,83 | [11.52—12.14] |
| 4 | 13,80 | [13.49—14.12] | 13,81 | [13.26—14.36] | 14,13 | [13.84—14.42] | 12,57 | [12.14—13.00] |
| 5 | 16,74 | [16.32—17.15] | 16,04 | [15.50—16.59] | 17,88 | [17.44—18.32] | 19,78 | [19.17—20.40] |
| 6 | 20,76 | [20.16—21.36] | 17,43 | [16.86—18.00] | 24,26 | [23.60—24.91] | 24,64 | [24.02—25.26] |
| 7 | 21,11 | [20.54—21.68] | 15,43 | [14.90—15.96] | 20,45 | [19.94—20.96] | 21,51 | [20.98—22.05] |
| 8 | 18,08 | [17.61—18.54] | 14,33 | [13.85—14.81] | 16,92 | [16.53—17.30] | 17,91 | [17.52—18.30] |
| 9 | 16,05 | [15.64—16.46] | 14,24 | [13.72—14.75] | 14,68 | [14.34—15.03] | 15,18 | [14.89—15.48] |
| 10 | 10,56 | [10.28—10.85] | 10,86 | [10.47—11.25] | 10,66 | [10.40—10.92] | 10,28 | [10.03—10.53] |
| 11 | 10,76 | [10.51—11.00] | 11,31 | [10.91—11.70] | 11,37 | [11.13—11.61] | 10,39 | [10.15—10.62] |
| 12 | 10,81 | [10.58—11.03] | 10,79 | [10.47—11.11] | 10,30 | [10.04—10.57] | 10,29 | [10.10—10.47] |

- PM10 continuo

| | Quintero | | Sur | | Loncura | | ValleAlegre | |
|----|----------|---------------|-------|---------------|---------|---------------|-------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 35,46 | [34.65—36.26] | 29,1 | [28.44—29.76] | 52,01 | [50.69—53.33] | 30,67 | [29.95—31.39] |
| 2 | 41,06 | [40.20—41.92] | 32,07 | [31.32—32.81] | 54,85 | [53.14—56.56] | 32,31 | [31.43—33.18] |
| 3 | 43,12 | [42.38—43.87] | 34,64 | [33.96—35.32] | 47,63 | [46.00—49.26] | 31,98 | [31.30—32.66] |
| 4 | 40,41 | [39.61—41.21] | 32,9 | [31.11—34.68] | 42,65 | [41.19—44.11] | 26,95 | [26.32—27.58] |
| 5 | 38,78 | [38.00—39.57] | 27,36 | [26.73—28.00] | 35,12 | [34.15—36.10] | 25,86 | [25.21—26.52] |
| 6 | 48,11 | [47.09—49.12] | 29,1 | [28.45—29.75] | 34,54 | [33.70—35.39] | 24,05 | [23.42—24.67] |
| 7 | 45,99 | [44.97—47.01] | 25,68 | [25.12—26.23] | 33,14 | [32.35—33.93] | 22,81 | [22.28—23.33] |
| 8 | 44,23 | [43.36—45.10] | 26,36 | [25.79—26.93] | 33,30 | [32.52—34.08] | 24,62 | [23.98—25.27] |
| 9 | 42,93 | [42.12—43.73] | 27,55 | [26.98—28.11] | 37,70 | [36.84—38.55] | 26,61 | [25.93—27.29] |
| 10 | 30,06 | [29.39—30.73] | 21,34 | [20.87—21.81] | 34,06 | [33.20—34.91] | 20,29 | [19.76—20.81] |
| 11 | 36,00 | [35.25—36.75] | 24,65 | [24.07—25.24] | 40,30 | [39.10—41.51] | 23,81 | [23.28—24.34] |
| 12 | 32,67 | [32.04—33.30] | 23,26 | [22.73—23.79] | 41,14 | [39.95—42.32] | 24,22 | [23.71—24.72] |

| | Ventanas | | LosMaitenes | | Puchuncavi | | LaGreda | |
|----|----------|---------------|-------------|---------------|------------|---------------|---------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 58,71 | [57.39—60.02] | 26,19 | [25.57—26.81] | 47,70 | [46.51—48.88] | 42,14 | [40.66—43.62] |
| 2 | 60,55 | [58.87—62.22] | 31,79 | [31.15—32.44] | 46,41 | [45.44—47.37] | 41,72 | [40.59—42.85] |
| 3 | 52,02 | [50.95—53.09] | 34,23 | [33.36—35.11] | 42,71 | [41.65—43.77] | 43,86 | [42.63—45.08] |
| 4 | 51,21 | [49.87—52.55] | 29,3 | [28.56—30.04] | 42,46 | [41.47—43.44] | 42,78 | [41.62—43.95] |
| 5 | 41,87 | [40.92—42.83] | 26,43 | [25.63—27.23] | 40,45 | [39.56—41.34] | 43,66 | [42.47—44.85] |
| 6 | 46,88 | [45.76—47.99] | 25,85 | [25.10—26.59] | 37,39 | [36.55—38.22] | 47,42 | [46.17—48.68] |
| 7 | 43,73 | [42.73—44.74] | 24,29 | [23.54—25.04] | 34,05 | [33.33—34.76] | 44,44 | [43.26—45.62] |
| 8 | 44,22 | [43.24—45.20] | 25,77 | [25.04—26.51] | 33,55 | [32.88—34.22] | 45,39 | [44.07—46.70] |
| 9 | 46,43 | [45.33—47.52] | 29,11 | [28.31—29.91] | 34,94 | [34.21—35.67] | 46,45 | [44.74—48.16] |
| 10 | 42,08 | [41.16—42.99] | 20,11 | [19.53—20.68] | 31,50 | [30.77—32.24] | 35,50 | [34.49—36.51] |
| 11 | 46,36 | [45.42—47.31] | 25,11 | [24.27—25.94] | 35,09 | [34.38—35.79] | 37,30 | [36.05—38.55] |
| 12 | 43,16 | [42.25—44.07] | 23,23 | [22.61—23.85] | 32,98 | [32.35—33.62] | 34,40 | [33.57—35.23] |

- SO2

| month | Quintero | | Centro Quintero | | Sur | | Loncura | | Valle Alegre | |
|-------|----------|---------------|-----------------|---------------|-------|---------------|---------|---------------|--------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 12,75 | [10.60—14.89] | 15,66 | [14.36—16.96] | 16,17 | [14.73—17.61] | 7,02 | [6.16—7.88] | 15,66 | [14.64—16.67] |
| 2 | 15,69 | [14.10—17.27] | 16,1 | [14.69—17.52] | 20,34 | [18.58—22.09] | 10,51 | [9.23—11.79] | 17,82 | [16.73—18.91] |
| 3 | 17,20 | [15.59—18.80] | 12,82 | [11.52—14.12] | 17,34 | [16.02—18.66] | 6,52 | [5.69—7.36] | 15,49 | [14.55—16.43] |
| 4 | 32,20 | [28.93—35.48] | 25,85 | [23.77—27.92] | 24,89 | [23.15—26.63] | 9,22 | [8.16—10.28] | 15,20 | [14.25—16.15] |
| 5 | 43,67 | [40.08—47.27] | 28,68 | [26.32—31.03] | 28,67 | [26.90—30.44] | 10,65 | [9.75—11.55] | 14,97 | [14.03—15.91] |
| 6 | 60,53 | [56.00—65.07] | 32,57 | [29.83—35.32] | 32,32 | [30.32—34.32] | 15,02 | [13.75—16.29] | 13,98 | [12.82—15.13] |
| 7 | 47,91 | [43.36—52.47] | 28,58 | [26.18—30.98] | 28,67 | [26.58—30.77] | 16,13 | [14.58—17.68] | 15,63 | [14.58—16.69] |
| 8 | 35,69 | [32.25—39.13] | 30,08 | [27.79—32.36] | 22,21 | [20.61—23.81] | 10,33 | [9.33—11.33] | 14,33 | [13.48—15.18] |
| 9 | 28,57 | [25.56—31.57] | 29,85 | [27.82—31.87] | 24,06 | [22.03—26.10] | 12,89 | [11.37—14.40] | 13,57 | [12.50—14.64] |
| 10 | 15,14 | [13.41—16.86] | 19,65 | [18.25—21.04] | 16,26 | [14.96—17.56] | 6,56 | [5.93—7.19] | 11,05 | [10.52—11.58] |
| 11 | 21,38 | [18.96—23.81] | 25,16 | [23.62—26.69] | 17,08 | [15.76—18.39] | 7,63 | [6.62—8.63] | 14,47 | [13.50—15.44] |
| 12 | 14,24 | [12.69—15.79] | 16,97 | [16.01—17.94] | 15,72 | [14.62—16.81] | 6,18 | [5.64—6.72] | 17,05 | [16.25—17.86] |

| month | Ventanas | | La Greda | | Puchuncavi | | Los Maitenes | |
|-------|----------|---------------|----------|---------------|------------|---------------|--------------|---------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 13,91 | [11.41—16.41] | 13,56 | [12.82—14.29] | 15,30 | [14.32—16.28] | 34,58 | [31.80—37.37] |
| 2 | 13,94 | [13.04—14.84] | 15,07 | [13.95—16.20] | 18,56 | [17.50—19.62] | 39,90 | [36.23—43.56] |
| 3 | 11,78 | [11.31—12.24] | 14,32 | [13.67—14.97] | 16,06 | [15.32—16.81] | 25,53 | [22.95—28.11] |
| 4 | 14,06 | [13.20—14.93] | 15,21 | [14.25—16.17] | 15,55 | [14.61—16.48] | 26,73 | [24.31—29.14] |
| 5 | 19,47 | [18.37—20.58] | 18,05 | [16.87—19.23] | 16,20 | [15.30—17.10] | 31,19 | [28.48—33.91] |
| 6 | 23,41 | [22.10—24.73] | 19,18 | [17.73—20.64] | 14,94 | [14.16—15.71] | 23,82 | [21.62—26.02] |
| 7 | 20,43 | [19.12—21.74] | 17,48 | [16.23—18.73] | 13,90 | [13.00—14.80] | 23,88 | [21.37—26.39] |
| 8 | 22,14 | [20.55—23.74] | 20 | [18.82—21.18] | 15,19 | [14.29—16.09] | 27,42 | [25.26—29.67] |
| 9 | 17,38 | [15.97—18.80] | 16,56 | [15.45—17.67] | 15,06 | [14.07—16.05] | 28,47 | [25.58—31.36] |
| 10 | 12,98 | [12.21—13.75] | 13,51 | [12.67—14.35] | 14,15 | [13.40—14.90] | 19,96 | [18.05—21.87] |
| 11 | 12,90 | [12.19—13.61] | 14,6 | [13.70—15.51] | 16,02 | [15.20—16.84] | 34,29 | [31.38—37.19] |
| 12 | 10,99 | [10.47—11.51] | 14,25 | [13.49—15.02] | 15,87 | [15.05—16.68] | 32,34 | [29.79—34.88] |

- THC

| month | Ventanas | | Loncura | | Centro Quintero | | Sur | | Los Maitenes | |
|-----------|----------|-------------|---------|-------------|-----------------|-------------|------|-------------|--------------|-------------|
| | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% | mean | CI-95% |
| 1 | 2,00 | [1.99—2.01] | 1,22 | [1.22—1.23] | 2,06 | [2.05—2.08] | 1,89 | [1.89—1.90] | 1,87 | [1.85—1.88] |
| 2 | 1,97 | [1.96—1.98] | 1,19 | [1.18—1.19] | 2,09 | [2.06—2.12] | 1,84 | [1.84—1.85] | 1,86 | [1.85—1.87] |
| 3 | 2,02 | [2.01—2.03] | 1,4 | [1.38—1.41] | 2,02 | [2.00—2.04] | 1,86 | [1.86—1.87] | 1,87 | [1.86—1.88] |
| 4 | 2,08 | [2.07—2.08] | 1,41 | [1.40—1.42] | 2,25 | [2.22—2.29] | 1,87 | [1.87—1.88] | 1,82 | [1.81—1.83] |
| 5 | 2,10 | [2.09—2.11] | 1,43 | [1.42—1.45] | 2,08 | [2.06—2.09] | 1,93 | [1.93—1.94] | 1,92 | [1.91—1.93] |
| 6 | 2,07 | [2.07—2.08] | 1,42 | [1.41—1.44] | 2,20 | [2.17—2.24] | 1,99 | [1.98—2.00] | 1,93 | [1.92—1.93] |
| 7 | 2,06 | [2.05—2.07] | 1,46 | [1.44—1.47] | 2,19 | [2.17—2.20] | 1,97 | [1.96—1.98] | 1,99 | [1.98—1.99] |
| 8 | 2,05 | [2.04—2.06] | 1,43 | [1.42—1.45] | 1,37 | [1.32—1.42] | 1,94 | [1.93—1.95] | 1,93 | [1.92—1.94] |
| 9 | 1,95 | [1.95—1.96] | 1,44 | [1.43—1.45] | 1,20 | [1.14—1.27] | 1,90 | [1.89—1.91] | 1,93 | [1.92—1.94] |
| 10 | 1,97 | [1.97—1.98] | 1,44 | [1.43—1.46] | 1,21 | [1.16—1.26] | 1,91 | [1.90—1.92] | 1,89 | [1.88—1.89] |
| 11 | 1,96 | [1.95—1.96] | 1,46 | [1.45—1.48] | 1,47 | [1.43—1.51] | 1,88 | [1.88—1.89] | 1,83 | [1.83—1.84] |
| 12 | 1,98 | [1.97—1.98] | 1,43 | [1.42—1.45] | 1,66 | [1.63—1.70] | 1,84 | [1.84—1.85] | 1,82 | [1.81—1.83] |



6.2 Fichas técnicas de las estaciones de monitoreo



PROYECTO:

MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ

Informe de Avance N°2

Revisado

- ❖ **Preparar recomendaciones técnicas y una propuesta conceptual de rediseño para la mejora y modernización de la actual red de monitoreo.**

Fecha de Entrega: 23 de diciembre 2019

Abreviaciones | Definiciones

| | |
|-------------|--|
| COV | Compuesto Orgánico Volátil |
| CRA | Centro de Referencia Ambiental |
| EPA | Environmental Protection Agency - USA |
| FMI | Finnish Meteorological Institute (Instituto Metrológico de Finlandia) |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MPP | Meteorological Pre-processing |
| MP | Material Particulado |
| MS | Estado Miembro de la UE (Member State) |
| NILU | Norwegian Institute for Air Research (Norsk Institutt for luftforskning) |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PMF | Matriz de Factorización Positiva (Positive Matrix Factorization) |
| RM | Métodos de Referencia |
| UE | Unión Europea |



Contenido

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 1. | ANTECEDENTES..... | 6 |
| 2. | OBJETIVOS DEL SEGUNDO INFORME DE AVANCE | 7 |
| 2.1. | Objetivo Específico N°3 | 7 |
| 2.2. | Estructura del informe | 8 |
| 3. | RESULTADOS | 9 |
| 3.1 | Opinión experta del FMI a partir de visita técnica | 9 |
| 3.1.1 | Análisis de los datos de la Torre Meteorológica..... | 26 |
| 3.1.2 | Revisión del análisis químico (metales) del Material Particulado | 29 |
| 3.1.3 | Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del informe N°1 | |
| | 33 | |
| 3.2 | Recomendaciones para la implementación de monitoreo automático de sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles totales (COVs) y benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX) | 35 |
| 3.2.1 | Sobre mediciones de Sulfuro de hidrógeno H₂S | 35 |
| 3.2.2 | Sobre Mediciones de COVs y BTEX | 37 |
| 3.3 | Proponer un método de ordenamiento basado en clasificación de las estaciones de monitoreo según las directrices establecidas por la Unión Europea..... | 40 |
| 3.3.1 | Métodos de evaluación de la calidad del aire. | 40 |
| 3.3.2 | Ubicación y clasificación de las estaciones de calidad del aire en la UE..... | 43 |
| 3.4 | Formular y entregar el diseño conceptual de la Red de Monitoreo en base al diagnóstico y recomendaciones derivadas del diagnóstico. | 46 |
| 3.4.1 | Recomendaciones para optimizar y desarrollar la red de monitoreo actual ... | 46 |
| 3.4.2 | Completar la red actual de monitoreo de la calidad del aire con nuevos tipos de estaciones y sistemas de muestreo. | 49 |
| 3.4.3 | Propuesta para una red de calidad del aire optimizada en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví. | 49 |
| 3.4.4 | Otras herramientas de supervisión para la evaluación de la calidad del aire.. | 51 |
| 3.4.5 | Gestión de la calidad (QA & QC) del monitoreo de calidad del aire..... | 51 |
| 3.4.6 | Sistema de gestión de calidad | 53 |
| 3.4.7 | Especificaciones técnicas del sistema de gestión de calidad. | 54 |
| 3.4.8 | Objetivos del sistema de calidad | 58 |
| 3.4.9 | Calibración, trazabilidad y mantenimiento de las mediciones | 60 |
| 3.4.10 | Procesamiento de datos de monitoreo | 62 |
| 3.4.11 | Guías prácticas para validación de datos..... | 63 |
| a) | Chequeo de peaks de datos o datos cuestionables | 64 |
| b) | Correcciones de calibración AQ | 64 |
| c) | Validación diaria | 65 |
| 3.4.12 | Validación anual - cada 3 meses | 67 |
| a) | Rutinas de calibración en FMI | 67 |
| b) | Factores de corrección para datos sin procesar - ciclo de calibración..... | 67 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.5 | Elaborar una estimación presupuestaria de la implementación del programa de rediseño y un análisis de los requerimientos de monitoreo que se encuentren dispuestos en las Resoluciones de Calificación Ambiental | 68 |
| 4. | BIBLIOGRAFIA..... | 73 |
| 5. | ANEXOS..... | 74 |
| 5.1. | Visita de expertos del Instituto Meteorológico de Finlandia a Chile | 74 |
| 5.1.1. | Agenda de la visita de Expertos del Finnish Meteorological Institute (FMI) a Chile del 25 al 28 de noviembre 2019 | 74 |
| 5.1.2. | Taller de transferencia de capacidades técnicas y de entrega de las recomendaciones resultantes del diagnóstico elaborado | 78 |
| 5.2 | Procedimientos de aseguramiento de calidad | 88 |
| 5.3 | RCA y criterio de emplazamiento de estaciones | 89 |
| 5.3 | Listado de equipos para concepto de estación promedio actual y propuesta | 92 |
| 5.5 | Presentaciones presentadas en las reuniones durante la visita del FMI a Chile..... | 93 |

1. Antecedentes

La Subsecretaría del Medio Ambiente del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) del Gobierno de Chile, ha contratado a Fundación Empresarial Eurochile para la ejecución de la consultoría denominada “MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ”.

Con la finalidad de dar cumplimiento a lo establecido en el Artículo 51, capítulo IX, del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (D.S N°105/2018), que establece la necesidad de la elaboración de estudios conducentes al rediseño y modernización de la Red de Monitoreo.

Eurochile mantiene vigente un convenio de colaboración con el Finnish Meteorological Institute (FMI), institución finlandesa que cuenta con experiencia y capacidad comprobada y reconocimiento en medición en aire y química atmosférica y en temas ad-hoc a la presente consultoría. Además, no es la primera vez que las dos instituciones trabajan en colaboración. En 2017, Eurochile fue contratada por la Subsecretaría del Medio Ambiente del MMA de Chile, como ejecutor del proyecto “Diseño de un Instituto Tecnológico y Centro de Referencia Ambiental (CRA)”, para lo cual Eurochile contrató al Instituto Ambiental de Finlandia (SYKE), el cual trabajó en conjunto con el FMI y el Centro de Investigación Tecnológica de Finlandia (VTT), consultoría y colaboración que resultó muy exitosa.

Por tal razón, y con el propósito de velar por el correcto desarrollo de un programa de mejoramiento, la Subsecretaría del MMA determinó suscribir un trato directo con Eurochile, a fin de que, juntamente con FMI en calidad de subcontratado por Eurochile, provean los servicios que se requieren para el cumplimiento del siguiente objetivo general:

“Realizar un diagnóstico del estado operacional actual de las 14 estaciones de monitoreo, seguido de la elaboración de una propuesta de rediseño, y en lo sucesivo, una auditoría técnica al sistema de monitoreo de calidad del aire y meteorología implementado en Concón, Quintero y Puchuncaví, con la finalidad de entregar recomendaciones y directrices para la implementación de una Red optimizada en base a estándares de la Unión Europea.”

El servicio requerido consta de una consultoría estratégica que se desarrolla en dos etapas:

- La primera correspondiente a la elaboración de un diagnóstico técnico de la Red de Monitoreo, y consecutivamente, la elaboración de un programa de rediseño según el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la zona que comprende las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, entregando recomendaciones sobre el número y clasificación de estaciones, parámetros a medir y metodologías a utilizar.
- La segunda etapa constituye la ejecución de una auditoría a las estaciones con posterioridad a la implementación del programa de rediseño. La finalidad de esta etapa es asegurar el grado de precisión de los sistemas de monitoreo y los protocolos QA/QC que se encuentren en funcionamiento producto de las recomendaciones establecidas en la primera fase.

Así, se establecen cuatro objetivos específicos a desarrollar en un periodo de 12 meses:

1. Evaluar la calidad de la información entregada por la red de monitoreo durante los últimos tres años.

2. Evaluar la representatividad del monitoreo en el área cubierta por la red y las medidas de los instrumentos actualmente utilizados.
3. Preparar recomendaciones técnicas y una propuesta conceptual de rediseño para la mejora y modernización de la actual red de monitoreo.
4. Ejecutar un proceso de auditoría a la nueva red de monitoreo luego de la implementación del programa de rediseño.

Este segundo informe de avance tiene por objetivo entregar los productos para el objetivo 3 de la consultoría.

2. Objetivos del segundo informe de avance

A continuación, se presentan las actividades y objetivos específicos de este informe de avance y se describe la estructura del informe.

2.1. Objetivo Específico N°3

El tercer objetivo de la consultoría es **“Preparar recomendaciones técnicas y una propuesta conceptual de rediseño para la mejora y modernización de la actual red de monitoreo”**. Este objetivo requiere el desarrollo de las siguientes actividades:

- f) Elaborar recomendaciones para la implementación de monitoreo automático de sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX).
- g) Proponer un método de ordenamiento basado en clasificación de las estaciones de monitoreo según las directrices establecidas por la Unión Europea.
- h) Formular y entregar el diseño conceptual de la Red de Monitoreo en base al diagnóstico y recomendaciones derivadas del diagnóstico.
- i) Elaborar una estimación presupuestaria de la implementación del programa de rediseño y un análisis de los requerimientos de monitoreo que se encuentren dispuestos en las Resoluciones de Calificación Ambiental.
- j) Desarrollar en el Ministerio del Medio Ambiente un taller de transferencia de capacidades técnicas para reproducir pruebas de rendimiento entre monitores, protocolos de inter-comparación entre laboratorios y Mejores Prácticas recomendados por la Unión Europea, además de la entrega de las recomendaciones resultantes del diagnóstico elaborado.

Los resultados esperados incluyen recomendaciones que orientan el rediseño de la Red, considerando la adición/supresión de estaciones de muestreo, su clasificación y métodos de monitoreo para H₂S, COVs y BTEX (técnica analítica, modelo de analizador, etc.), junto con las recomendaciones relativas a qué compuesto/parámetro medir en cada estación, según los resultados de las actividades del objetivo específico N°2. Para la estimación presupuestaria del programa de rediseño, se han considerado los costos de: tecnologías, instalación, operación y mantención de analizadores además del costo de adición/supresión o relocalización de las estaciones de monitoreo. Para el taller de presentación de resultados y transferencia de capacidades, se entrega apoyo fotográfico de las actividades efectuadas en el Ministerio del Medio Ambiente en noviembre del 2019. El taller fue dirigido a técnicos y profesionales del Departamento de Redes de Monitoreo de la División de Calidad del Aire y Cambio Climático.

2.2. Estructura del informe

Este informe se ha estructurado de la siguiente forma:

La descripción de las actividades realizadas y los resultados obtenidos para el objetivo específico 3 se entregan en la sección 3. Resultados.

En el primer apartado 3.1 de la sección Resultados, se presentan un resumen de las principales conclusiones de la visita a Chile desarrollada por el equipo de expertos del FMI, durante la semana del 25 al 28 de noviembre del 2019. Por parte del FMI, asistieron los expertos En Calidad del Aire, Sra. Katja Löven, encargada de proyecto, el Sr. Antti Wemberg, investigador científico y el Sr. Harri Pietarila, jefe de la misión en Chile. En esta sección, se detalla la realización de los talleres de transferencia de capacidades técnicas que se realizó para los profesionales de la División de Calidad del Aire y Cambio Climático, específicamente el Departamento de Redes de Monitoreo del MMA el día 27 de noviembre. En esta sección se profundizan las conclusiones presentadas en el informe de avance N°1, respecto de las mediciones de meteorología en altura y los análisis de especiación química de las mediciones discretas de Material Particulado.

En el apartado 3.2, se entregan las recomendaciones para la implementación de monitoreo automático de compuestos tales como, sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y de los compuestos orgánicos específicos de benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX).

En el apartado 3.3, se entrega una propuesta de Clasificación de las estaciones de monitoreo según los criterios y/o directrices establecidas por la Unión Europea y en base a eso, se propone un método de ordenamiento de dichas estaciones para el rediseño conceptual de la red de Quintero-Puchuncaví y Concón.

En el apartado 3.4, se entregan tanto las recomendaciones como la formulación de la propuesta de diseño conceptual para optimizar la red de monitoreo de calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. También entregan las directrices generales de implementación del sistema de Aseguramiento y control de calidad (Quality Assurance and Quality Control, QA/QC).

En el apartado 3.5, se presenta los resultados generales de una estimación presupuestaria asociada en el rediseño conceptual de la red propuesto por los expertos del FMI.

Finalmente, en los anexos, se adjuntan el material técnico presentado en las actividades desarrolladas por el grupo experto durante la misión en Chile. Además de información compilada por el MMA para su análisis e incorporación en el estudio.

3. Resultados

3.1 Opinión experta del FMI a partir de visita técnica

En complemento al análisis desarrollado en el informe de avance N°1, se presenta a continuación los resultados de la visita técnica de los expertos del FMI a las estaciones de monitoreo.

a) Descripción general

La red de calidad del aire de Quintero-Puchuncaví-Concón consta de 13 estaciones fijas y operativas de calidad del aire: 9 estaciones en la zona norte de Quintero-Puchuncaví y 4 estaciones en la zona sur de Concón (Figura 3 y 4), más la torre Meteorológica descrita en el numeral (ver numeral 3.1.1).

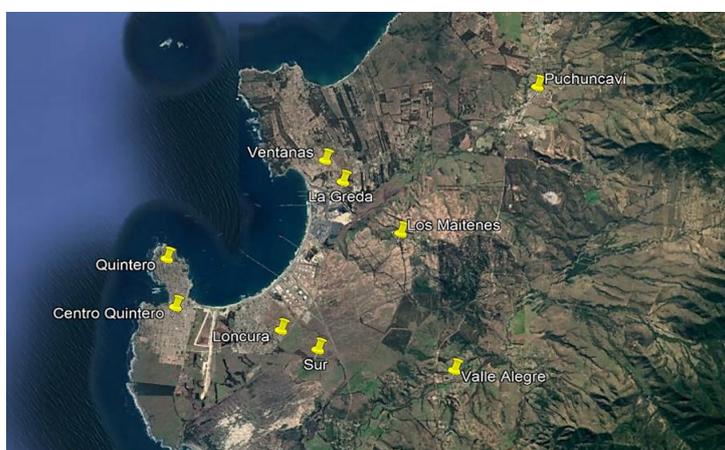


Figura 1. Ubicaciones de las estaciones de monitoreo de Quintero-Puchuncaví.

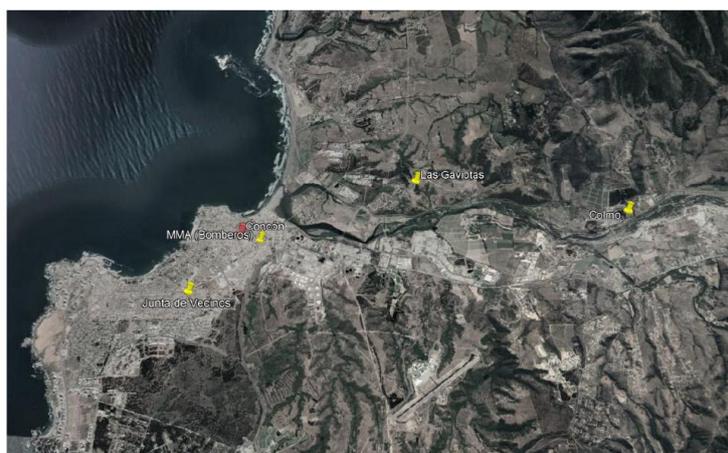


Figura 2. Ubicaciones de las estaciones de monitoreo de Concón

El número de estaciones de control en la zona es considerablemente elevado en comparación con la población de la zona, que es de aproximadamente 100.000 habitantes (Concón alrededor de 42.000, Quintero 32.000 y Puchuncaví 18.000 habitantes). Una característica de

la zona es la existencia de diferentes tipos de industrias tales como; fundición de cobre, centrales eléctricas de carbón, industria de cemento, puerto de GNL, refinerías de petróleo e industrias químicas que operan en la zona, lo que tiene puede traducirse en una mayor demanda de instalación de estaciones de monitoreo, para dar cumplimiento a planes de descontaminación y evaluaciones ambientales de proyectos. Lo anterior puede generar que las estaciones no constituyan una red organizada.

Los titulares han establecido sus propias estaciones de monitoreo de calidad del aire de acuerdo a los compromisos de vigilancia ambiental establecidos en los permisos ambientales. En el proceso de emplazamientos, se han utilizado para el emplazamiento modelación de dispersión de contaminantes en cooperación con las autoridades. Esto ha llevado a la situación actual donde en lugar de tener una red de monitoreo que cubra toda la zona, y que esté diseñada para controlar el impacto de todas las actividades industriales en la zona y la exposición de la población, existen muchas estaciones de monitoreo separadas, todas ellas equipadas con un conjunto similar de analizadores que cubren casi el mismo conjunto de contaminantes que demanda mayor supervisión. Las 14 estaciones monitorean el SO₂, el NO_x y el O₃, todas las estaciones en el área de Quintero-Puchuncaví tienen monitoreo de PM₁₀. En el área de Quintero-Puchuncaví, 3 estaciones monitorean un conjunto de contaminantes (SO₂, NO_x, O₃, CO, CH₄ y NMHC, MP_{2.5} y MP₁₀) y que se repite por ejemplo en el área de Concón, donde las estaciones miden el mismo conjunto de 8 contaminantes. Otras dos estaciones, Las Gaviotas y Colmo, se encargan de medir todos los compuestos excepto las partículas (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví y Concón y los contaminantes medidos en cada estación

| | | SO ₂ | NO- NO ₂ - NO _x | O ₃ | CO | CH ₄ - NMHC- THC | MP _{2,5} | MP ₁₀ |
|-------------------------|--|-----------------|---|----------------|----|-----------------------------------|-------------------|------------------|
| Quintero-Puchuncaví | | | | | | | | |
| La Greda | | X | X | X | | | X | X |
| Loncura | | X | X | X | X | X | X | X |
| Los Maitenes | | X | X | X | X | X | X | X |
| Puchuncaví | | X | X | X | | | X | X |
| Quintero | | X | X | X | X | | X | X |
| Quintero Centro | | X | X | X | X | X | X | X |
| Sur | | X | X | X | X | X | | X |
| Valle Alegre | | X | X | X | | | | X |
| Ventanas | | X | X | X | | X | X | X |
| Concón | | | | | | | | |
| Colmo | | X | X | X | X | X | X | X |
| Las Gaviotas | | X | X | X | X | X | X | X |
| Concón | | X | X | X | X | X | X | X |
| Junta de Vecinos | | X | X | X | X | | | |

El área en estudio tiene una topografía que afecta a las condiciones meteorológicas locales, tales como la dirección y velocidad de los vientos, que se asocia a las condiciones costeras (del Océano Pacífico sur y flujos de aire del Oeste) y las condiciones de regionales asociadas a la presencia de la Cordillera de los Andes. Las condiciones locales se ven fuertemente afectadas por las interacciones tierra-mar (brisa local diurno-nocturno) y el entorno, con altos cambios por la altura del terreno. El impacto de estos factores se puede observar en las mediciones

meteorológicas realizadas tanto en las estaciones de monitoreo de calidad del aire y en la torre meteorológica de 40 m que opera en la zona (estación Principal).

Cada una de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área puede ser considerada como una estación industrial, ya que todas ellas parecen verse fuertemente afectadas por las emisiones industriales, concretamente, emisiones de SO₂. Algunas de las estaciones como Las Ventanas, La Greda, Las Gaviotas y Concón se ubican cerca (a menos de 1 kilómetro de distancia) de las principales fuentes de emisión (Industria/Producción de energía) y algunas de las estaciones como Puchuncaví y Colmo (sector Concón) se encuentran a mayor distancia (más de 5 kilómetros) de la principal fuente industrial. Actualmente, **ninguna de las estaciones puede considerarse como una estación de tráfico**, es decir, un estación que represente solo el impacto cercano al tráfico vehicular; Puchuncaví se encuentra aproximadamente a 20 metros de la vía más cercana y según los criterios de la UE, una estación clasificada como estación de tráfico debe estar situada a menos de 10 metros de la vía vehicular.

Se observa la falta de una estación de background rural, lo que sería muy importante incluir en la nueva red. La idea de una estación de este tipo es medir la calidad del aire en una zona alejada las fuentes de emisión de contaminantes, representando así el posible impacto de las cercanía a la zona industrial. Por ejemplo, las concentraciones de ozono troposférico en un estación de de tipo background rural, tienden a ser mucho mas altas en comparación con las concentraciones observadas en una estación de tipo industrial o urbana.

Es importante también considerar la actual representatividad de cada una de las estaciones de calidad del aire de la zona, es decir, si las estaciones están representando realmente aquello para lo que fueron diseñadas originalmente. Por ejemplo, la estación de Colmo en la zona de concón está situada cerca de una planta de explotación de áridos, lo cual muy probablemente genere un impacto significativo en las concentraciones de material particulado que se está monitoreando en esa estación, ya que la trituración, el apilamiento y el transporte de los materiales son la causa de la mayor parte de las emisiones de partículas (especialmente MP₁₀) en la zona. Si bien la estación Colmo no tiene mediciones continuas de MP₁₀ ni de MP_{2.5}, si tiene monitoreo discreto de partículas (MP₁₀ y MP_{2.5}), a través de método gravimétrico.

b) Análisis específico.

Se presenta a continuación los resultados de la visita técnica a estaciones de monitoreo por parte de los expertos del FMI.

- **Estación Colmo:** la estación se puede clasificar como una estación del tipo **suburbana industrial** (ver numeral 3.3.2 de este informe). La estación de calidad del aire se encuentra a unos 5 km de la refinería de petróleo y otras actividades industriales, y a una altura de 15 msnm. La estación se ubina al costado de una vivienda pequeña que mantiene tiene algunos animales (caballos, vacas, perros, etc.). Se observa en el patio a unos metros de la estación, una parrilla para cocinar carne a base de carbón. La estación su ubica a unos 500 metros de distancia de una planta de explotación de áridos, lo que puede tener un impacto significativo en la concentración de partículas medida en la estación. Si bien la estación no tiene mediciones continuas de Material Particulado, si desarrolla muestreo a través de método gravimétrico (ver figura 5).



Figura 3. Estación de Colmo (arriba) y su entorno, que muestra la actividad de explotación de áridos (abajo).

- **Estación Las Gaviotas:** la estación puede clasificarse como **estación suburbana o rural industrial**, se ubica en un entorno abierto a gran altitud (73 msnm), a una distancia aproximada de 1 km de la planta química y a 2 km de la refinería de petróleo (ver figura N°6).



Figura 4. Estación de las Gaviotas (abajo) y su entorno (arriba)

- **Estación Concón:** la estación puede clasificarse como **estación suburbana industrial**, sin embargo, está casi unida a un conjunto de casas. La mayoría de las casas tienen una pequeña chimenea en el techo que podría afectar a los resultados de la medición en caso de que las casas utilicen, por ejemplo, leña para la calefacción en invierno; estas fuentes locales cercanas pueden interferir la representatividad de la estación. La estación se encuentra a una altura de 66 msnm. La distancia a la industria más cercana (refinería de petróleo) es de casi 1 km (ver figura 7).



Figura 5. Estación de Concón (Calle Cortes)

- **Estación Centro Quintero:** la ubicación de la estación es apropiada ya que se emplaza en un terreno amplio en el centro de la ciudad, en un área suburbana. Se observa que no hay fuentes de emisión cercanas que puedan interferir en el monitoreo (ver figura N°8). La estación puede clasificarse como **estación suburbana industrial**. La distancia a la industria más cercana es de más de 5 km hasta la refinería de petróleo y de casi 4 km hasta los depósitos de almacenamiento de productos químicos. La estación está ubicada a menos de 1 km de la escuela en donde se registraron los eventos de emergencia ambiental con posibles efectos en la salud durante el periodo 2018 (Santa Filomena). La altitud de la estación es de 28 msnm.





Figura 6. Estación de Centro Quintero (arriba) y su entorno (abajo)

- **Estación Loncura:** la ubicación de la estación es apropiada, similar a Centro Quintero, también en un terreno amplio. La estación puede clasificarse como estación de la **suburbana industrial**. Sin embargo, hay muchas casas pequeñas cerca, lo que puede afectar el monitoreo si se está produciendo algún tipo de quema (quema de residuos, cocción, etc.). La estación se encuentra aproximadamente a 4 km de la fundición de cobre y a menos de 2 km de los depósitos de almacenamiento de hidrocarburos. La altura de la estación es 40 msnm (ver figura N°9).



Figura 7. Estación de Loncura (Quintero)

- **Estación Puchuncaví:** la estación puede clasificarse como **estación suburbana industrial**. Se encuentra a mayor distancia de las principales fuentes de emisión industriales (más de 5 km). Se ubica en un recinto policial y no parece tener cerca ninguna fuente de emisión que pueda interferir en sus mediciones. La estación se encuentran a unos 20 metros de distancia de la calle, sin embargo, no califica como estación de tráfico, ya que según los requisitos de la UE, la distancia máxima desde la estación a la vía vehicular es de 10 metros. La altitud de la estación es de 35 msnm (ver figura 10).



Figura 8. Estación de Puchuncaví

- **Estación La Greda:** la estación puede clasificarse como estación **suburbana industrial**. Tiene una altitud baja comparada con las otras estaciones (3 msnm), y se ubica cerca de la central termoeléctrica a carbón (unos 600 metros). Según los operarios de la estación, las emisiones de NOx de la producción de la planta de energía pueden detectarse en esta estación. La estación tiene un entorno abierto, campos de deporte alrededor de la estación y casas pequeñas cercanas (área suburbana). Ver figura 11 donde se observa de la estación y de la central eléctrica de carbón.



Figura 9. Estación de La Greda (izquierda) y de su entorno, específicamente de la central eléctrica de carbón (derecha)

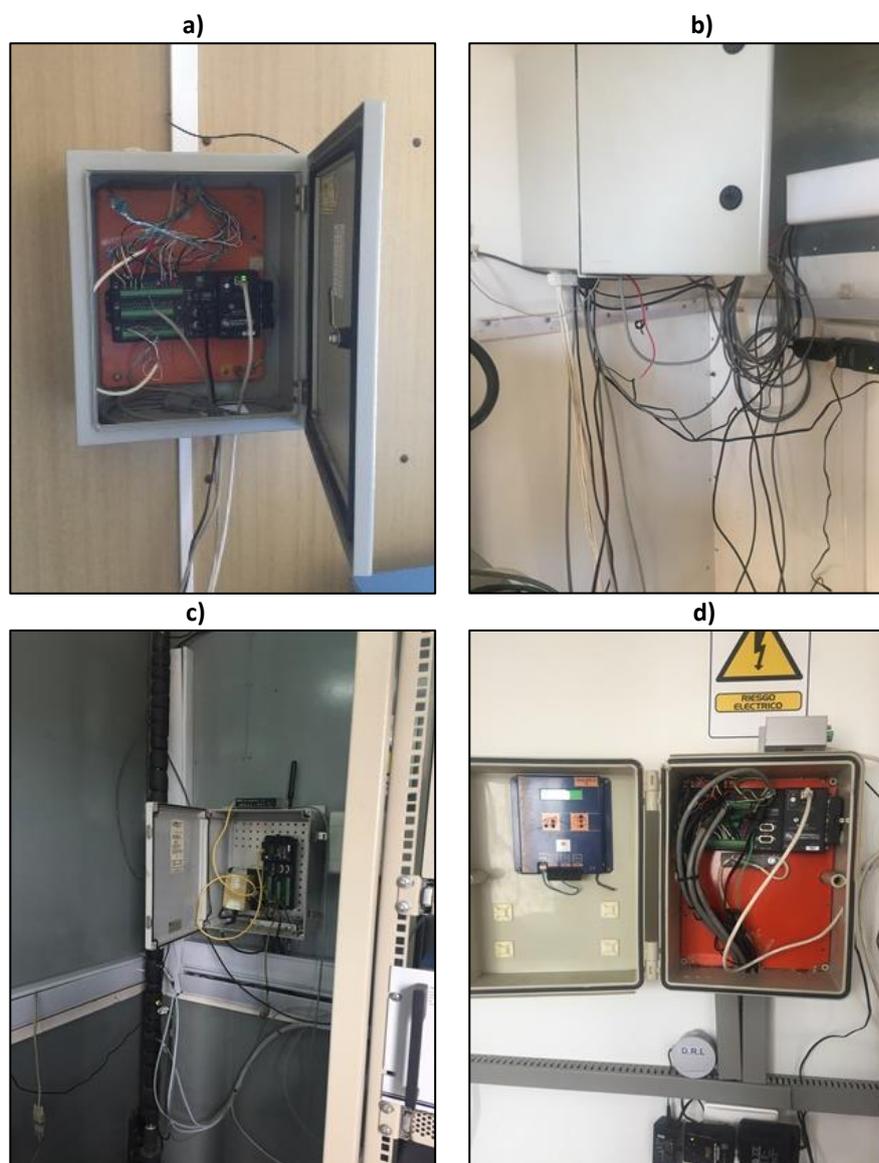
Como **observaciones generales**, las estaciones estaban bien equipadas y mantenidas, las cabinas o **casetas de medición son suficientemente grandes y limpias**. Una **recomendación importante** para la configuración de las estación sería **organizar un control continuo y automatizado de la temperatura dentro de la estación de monitoreo**. Actualmente, la temperatura interior se controla una vez a la semana o cuando el operario visita la estación de monitoreo.

A continuación se entrega un resumen de las características generales de la infraestructura asociada a las estaciones de monitoreo.

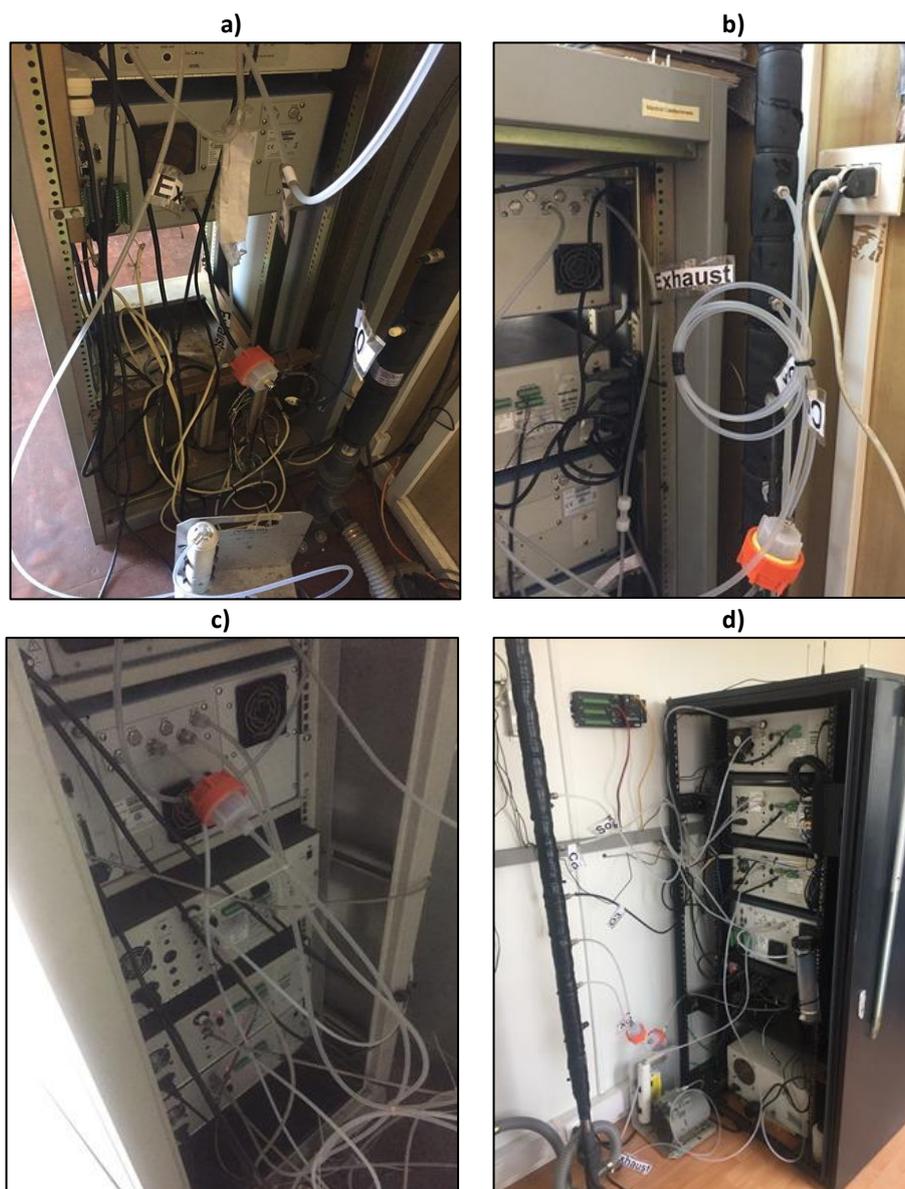
Tabla 2. Cuadro comparativo de la infraestructura de las estaciones de monitoreo de la red de Quintero-Puchuncaví y Concón.

| <i>Estación</i> | Tipo | Cerco perimetral | Material exterior | Techo | Suelo inmediato | Interior |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <i>Ventanas</i> | container | panel de alambre | metálico blanco | con andamio | concreto, gravilla | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Valle Alegre</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | gravilla, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Sur</i> | container | no tiene | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Quintero</i> | container | muro de concreto | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Puchuncavi</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | gravilla, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Los Maitenes</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | gravilla, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Loncura</i> | container y andamio lateral | muro de concreto | metálico blanco | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>La Greda</i> | container | panel de alambre | metálico verde | con andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Centro Quintero</i> | doble container y andamio lateral | muro de concreto | metálico blanco | sin andamio | tierra, cubierta vegetal | aislante de melamina 18 mm |
| <i>Las Gaviotas</i> | container | no tiene | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | Forro de madera y plumavit interno. |
| <i>Junta de Vecinos</i> | container | panel de concreto | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | Forro de madera y plumavit interno. |
| <i>Concón</i> | container | patio de vivienda | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | Forro de madera y plumavit interno. |
| <i>Colmo</i> | container | patio de vivienda | metálico gris | con andamio | tierra, cubierta vegetal | Forro de madera y plumavit interno. |

Dadas las características de las estaciones y su antigüedad, se observa que estas cuentan con estructuras resistentes con revestimiento metálico, con aislación térmica y terminaciones interiores, instalación eléctrica. Las estaciones presentan en su mayoría estructuras metálicas seguras donde se emplazan los equipos, además cuentan con barandas perimetrales lo que permite condiciones de seguridad para los operadores



Instalación de Datalogger: Se observa que las estaciones mantienen datalogger del tipo CR-1000 (analógico). Los equipos se encuentran funcionando bien y se sugiere homogenizar las conexiones electrónicas y disposición de los cables entre el dispositivo y los equipos de muestreo y de comunicación. Es importante evitar fallas de comunicación accidentales por efecto de cables en las áreas donde intervienen los operadores. Se sugiere evaluar el uso equipo adquisición de datos que permitan la configuración de calibraciones automáticas de gases. El panel d) presenta una buena instalación e identificación de dispositivos.



Rack de conexión entre equipos analizadores: Las estaciones cuentan en su mayoría con gabinetes o estantes especialmente diseñados para la colocación de equipamiento, los que se encuentran en general en buen estado. Se sugiere revisar estos gabinetes o estantes asegurando que permitan un buen flujo de aire. Se sugiere evitar el exceso de longitud de las líneas de gases, pues las líneas pueden deteriorarse producto del roce entre ellas. Se recomienda eliminar material en desuso y revisar las fijaciones de los conectores del equipamiento. Se observa en el panel d) una buena forma de disponer las líneas de gases desde la toma de muestra a los analizadores. Estos se encuentran debidamente etiquetados e identificados y en una buena posición respecto a la salida del aire acondicionado.

a)



b)



c)



d)



Sistemas de Climatización: Se observa que estos sistemas funcionan bien y parecen cumplir con el objetivo de mantener la temperatura interior de las estaciones según especificaciones de cada equipo para su funcionamiento. Se observa equipos de aire acondicionado de ventana y split, ubicando en la parte superior y en algunas estaciones frente al toma muestra. Se sugiere evaluar la ubicación de los climatizadores y su posición respecto de los toma muestra.

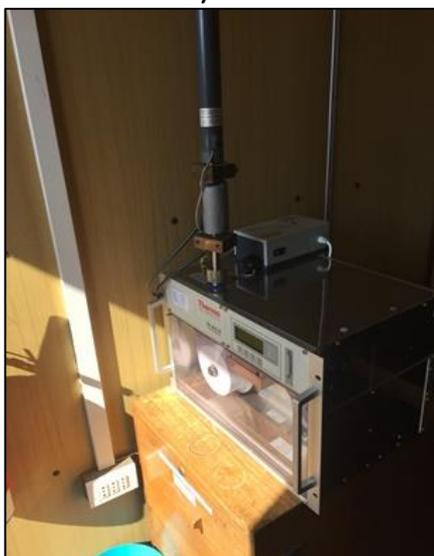
a)



b)



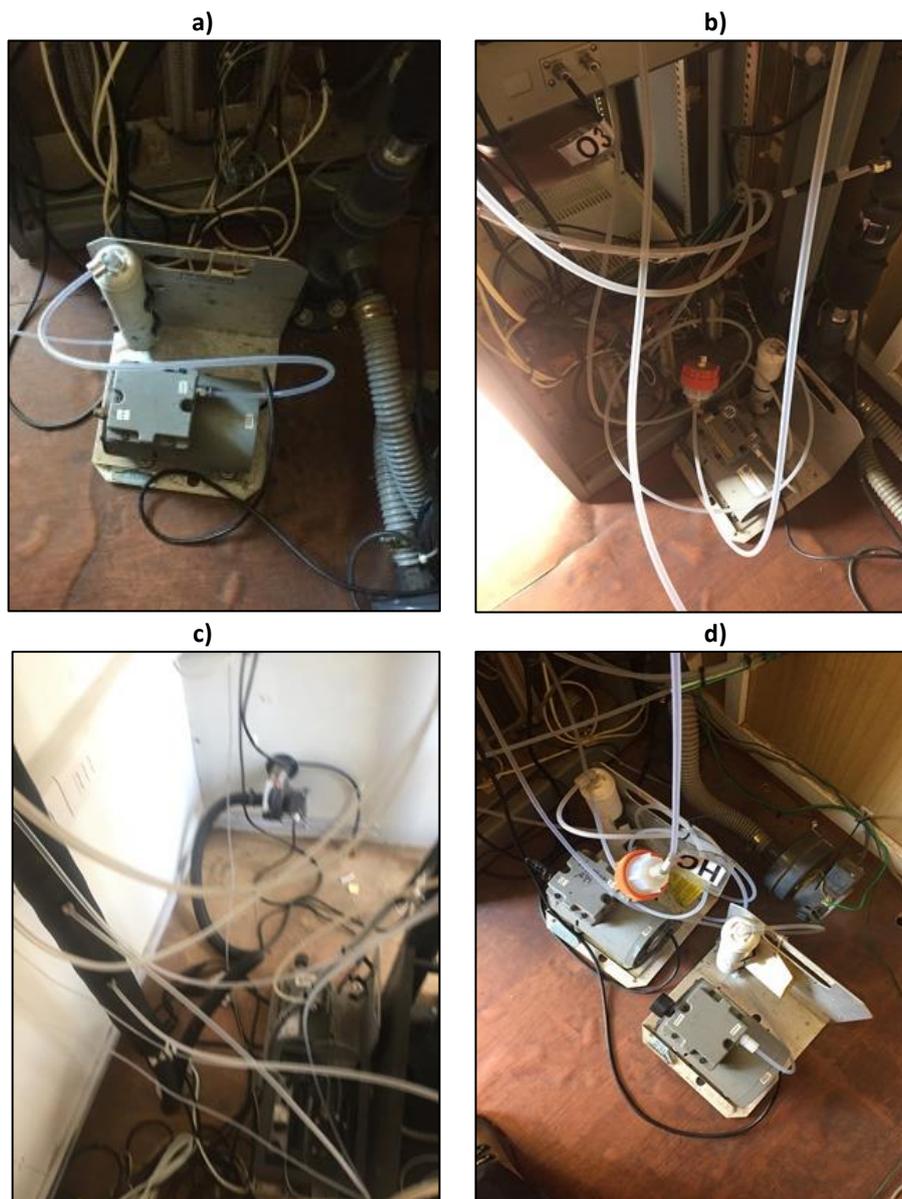
c)



d)



Instalación de Equipos: Algunos equipos se encuentran instalados sobre distintos tipos de mobiliario y materiales que en ocasiones no parecen ser lo suficientemente estables. Los equipos se observan funcionando adecuadamente, sin embargo, se sugiere revisar de manera periódica los filtros de ventilación de los equipos analizadores. Se observa que al menos una estación (Centro Quintero), mantiene equipos de respaldo para reemplazo de analizadores en caso de falla.



Equipos en el piso: Se observa que las bombas se emplazan en el piso de las estaciones y en las áreas posteriores a los gabinetes. Si bien no existe una restricción al respecto, se recomienda evaluar la instalación de estos equipos en estructuras especiales, que aseguren su óptimo funcionamiento y facilite el desplazamiento de los operadores en dentro de la estación.



Gabinets de equipos analizadores: Se observa que en su mayoría los gabinetes de quipos están en buenas condiciones, en algunos casos se han actualizado ya que las estaciones en su mayoría operan hace más de 10 años. Se observa que en las estaciones se cuenta con el material técnico de uso permanente, como manuales y carpetas de equipos. Si bien el tamaño de la estación depende del número de equipos, se debe considerar mantener un espacio mínimo para las actividades del operador y asegurar capacidad de almacenamiento de material de operación e inspección, por ejemplo, consumibles, accesorios de mantenimiento y limpieza de equipos, etc.



Instalación de UPS: Se observa que todas las estaciones tienen sistemas de respaldo del tipo Uninterrumplible Power Supply (UPS). Se recomienda mejorar las instalaciones de equipos complementarios, evitando el exceso de cables en general sin una adecuada identificación.



Sistemas de comunicación e instalación eléctrica: Se observa que los dispositivos de comunicación como Router-GPRS o Modem no tienen un lugar específico en la estación. Respecto a las instalaciones eléctricas se observa que existen tableros con diferenciales y conexión a sistemas de respaldo del tipo Uninterrumpible Power Supply (UPS), según los requerimientos de cada estación.

3.1.1 Análisis de los datos de la Torre Meteorológica

La Torre de 40 metros se ubica 200 metros de la costa. Los niveles de medición son de 2 m, 10 m, 20 m y 40 m. Debido a que la Torre está situada cerca de la costa y la altura del terreno aumenta fuertemente hacia el interior, **los valores observados representan las condiciones más cerca a la Torre**. Las condiciones locales se ven fuertemente afectadas por las interacciones tierra-mar. Se presenta a continuación una revisión del sistema de medición (ver figuras 12 y 13).

- **Temperatura (niveles de medición 10 m, 20 m y 40 m)**

Los valores de las mediciones de temperatura son realistas, y no hay grandes diferencias en los datos que faltan. Para el uso de datos de entrada para los modelos de dispersión de la calidad del aire, sería más conveniente realizar mediciones a partir de una altura de 2 metros (altura de medición estándar) (*OMM-N.º 8, Guía CIMO*).

Complementariamente a lo indicado en el informe N°1, es posible calcular las clases de estabilidad de Pasquill basándose en la diferencia de temperatura entre los niveles de medición de 10 m y 40 m (*Pasquill, 1961; NOAA, clases de estabilidad de Pasquill*), pero el método no es fiable. Una mejor opción para los cálculos de estabilidad con las mediciones disponibles sería calcular parámetros tales como número de Richardson Global o de la capa superficial (*Arya, 1991; Bardal et al., 2018*).

También sería bueno tener mediciones a 100 metros de altura para los cálculos de estabilidad.

- **Humedad relativa (niveles de medición 10 m, 20 m y 40 m)**

En el nivel de medición de 40 metros hay un intervalo más largo de datos que faltan en 13.6.-15.7.2016. Y también algunos valores están por encima del 100% (cuando el valor máximo es 100%) en el nivel de medición 40. Los valores a 10 m y 20 m de nivel son realistas.

Para el uso de datos de entrada para los modelos de dispersión de la calidad del aire, sería más conveniente realizar mediciones a partir de una altura de 2 metros.

- **Velocidad y dirección del viento (niveles de medición a 10 m, 20 m y 40 m)**

Los valores son realistas en todos los niveles de medición. Si se calcula el número de Richardson (que indica estabilidad), las mediciones de velocidad del viento a niveles de 10 m y 40 m son las más adecuadas.

También sería bueno tener mediciones a 100 metros de altura para los cálculos de estabilidad.

Nota: Con anemómetros sónicos 3D es posible calcular la estabilidad directamente a partir de mediciones de covarianza de remolinos (*Verma, 1990; Burba and Anderson, 2010*).

- **Precipitación (niveles de medición 2 m)**

Los valores son realistas a un nivel de medición de 2 metros. Las mediciones de precipitaciones a partir de un nivel de medición de 2 metros pueden utilizarse como datos de entrada para los modelos de dispersión de la calidad del aire.

- **Radiación (nivel de medición 20 m)**

Los valores son realistas. Las mediciones pueden utilizarse como datos de entrada para los modelos de dispersión de la calidad del aire.

- **Presión (nivel de medición 20 m)**

Los valores son realistas, pero el nivel de medición de 20 metros es una opción poco usual. Se recomienda evaluar el efecto de estos datos como datos de entrada para modelos de dispersión de la calidad del aire, se recomienda medir la presión superficial también a 2 metros de altura.

Muchos modelos de dispersión de la calidad del aire necesitan también observaciones de nubosidad como datos de entrada. Se recomienda añadir mediciones de la nubosidad total y de la cantidad y altura de las nubes más bajas para el mástil o las cercanías.

Con equipos tipo Lídár es posible obtener información sobre la altura mezclada (y estabilidad), pero el método funciona mejor en situaciones de cielo despejado. Si hay muchos días nublados la cobertura de datos no es buena para el lídar. El uso del lídar y la interpretación de las mediciones requieren una experiencia específica en el manejo del equipo e interpretación de datos.



Figura 10. Torre meteorológica (40m)

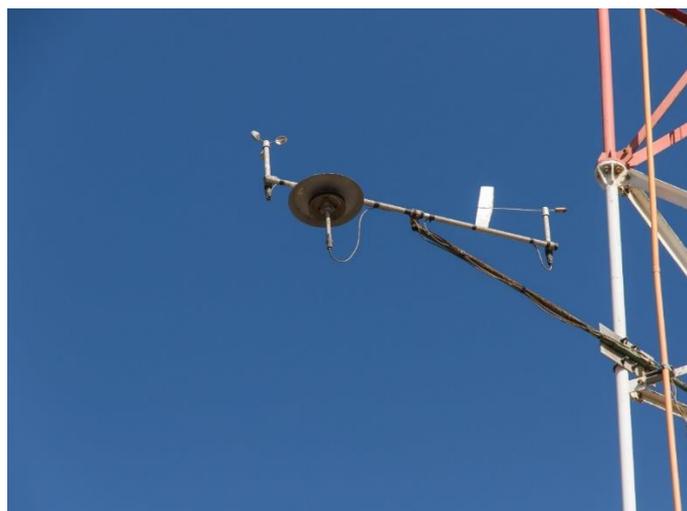


Figura 11. Equipo de medición de la torre meteorológica

3.1.2 Revisión del análisis químico (metales) del Material Particulado

Se analizan varias combinaciones de elementos traza (metales pesados y arsénico) de la fracción de MP_{10} en trece estaciones. En Loncura, los mismos elementos que se miden de MP_{10} también se miden de $MP_{2.5}$. El cobre y el plomo se miden en todas las estaciones. El arsénico se mide en 12 estaciones, el cadmio y el níquel en 11 estaciones.

Los elementos analizados a partir del MP_{10} se presentan en la tabla 3. Además de los elementos enumerados en la tabla, los siguientes metales: Al, Fe, Mn, Sb, Si, Sn, Tl, Zn y algunos otros elementos (S, Cl, K, Ca) se miden en Loncura a partir de fracciones de MP_{10} y $MP_{2.5}$. Sin embargo, los resultados parecen parcialmete realistas, además los valores de metales parecen no tener variaciones en el tiempo ni variaciones entre las estaciones.

Tabla 3. Oligoelementos analizados a partir de partículas de MP_{10} en las estaciones de medición

| | As | Cd | Cr | Cu | Hg | Mo | Ni | Pb | Se | V |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Loncura | | | ● | ● | | ● | | ● | | |
| Ventanas | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Valle Alegre | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sur | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Quintero | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Puchuncaví | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Los Maitenes | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| La Greda | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Centro Quintero | ● | | | ● | | | | ● | | |
| Colmo | ● | ● | | ● | | | ● | ● | | ● |
| Las Gaviotas | ● | ● | | ● | | | ● | ● | | ● |
| Junta de Vecinos | ● | ● | | ● | | | ● | ● | | ● |
| Concón | ● | ● | | ● | | | ● | ● | | ● |

Aunque las concentraciones de arsénico han ido disminuyendo en la mayoría de las estaciones (figura N°14), los valores medios anuales seguían siendo en 2018 superiores al valor límite de la UE, 6 ng/m³. En Junta de Vecinos, la media anual se incrementó hasta 49 ng/m³ en 2018. Las concentraciones también fueron altas en Quintero (39 ng/m³) y en Centro Quintero (27 ng/m³).

Los valores medios anuales de plomo variaron entre 4 ng/m³ (Colmo) y 56 ng/m³ (Loncura). En Quintero, la concentración media anual de Pb fue de 27 ng/m³ y en Quintero Centro de 24 ng/m³. Aunque los valores de plomo fueron elevados en algunas zonas, los valores medios anuales estuvieron muy por debajo del valor límite bastante alto de la OMS (y la UE), 500 ng/m³ (=0,5 µg/m³). En Loncura se analizó el plomo tanto en la fracción de MP₁₀ como en la de MP_{2.5} (tabla 4), mostrando que el plomo estaba principalmente en las partículas menores de 2.5 µm - y que había una variación diaria bastante grande (figura N°15). Un día de 2018 el plomo alcanzó su punto máximo de 300 ng/m³. En Loncura, las concentraciones de plomo fueron más elevadas en 2018 (41 y 56 µg/m³) que en 2017 (37 y 34 ng/m³ en MP_{2.5} y MP₁₀, respectivamente). También las concentraciones de cobre y zinc aumentaron en Loncura, probablemente causadas por el aumento de la actividad industrial.

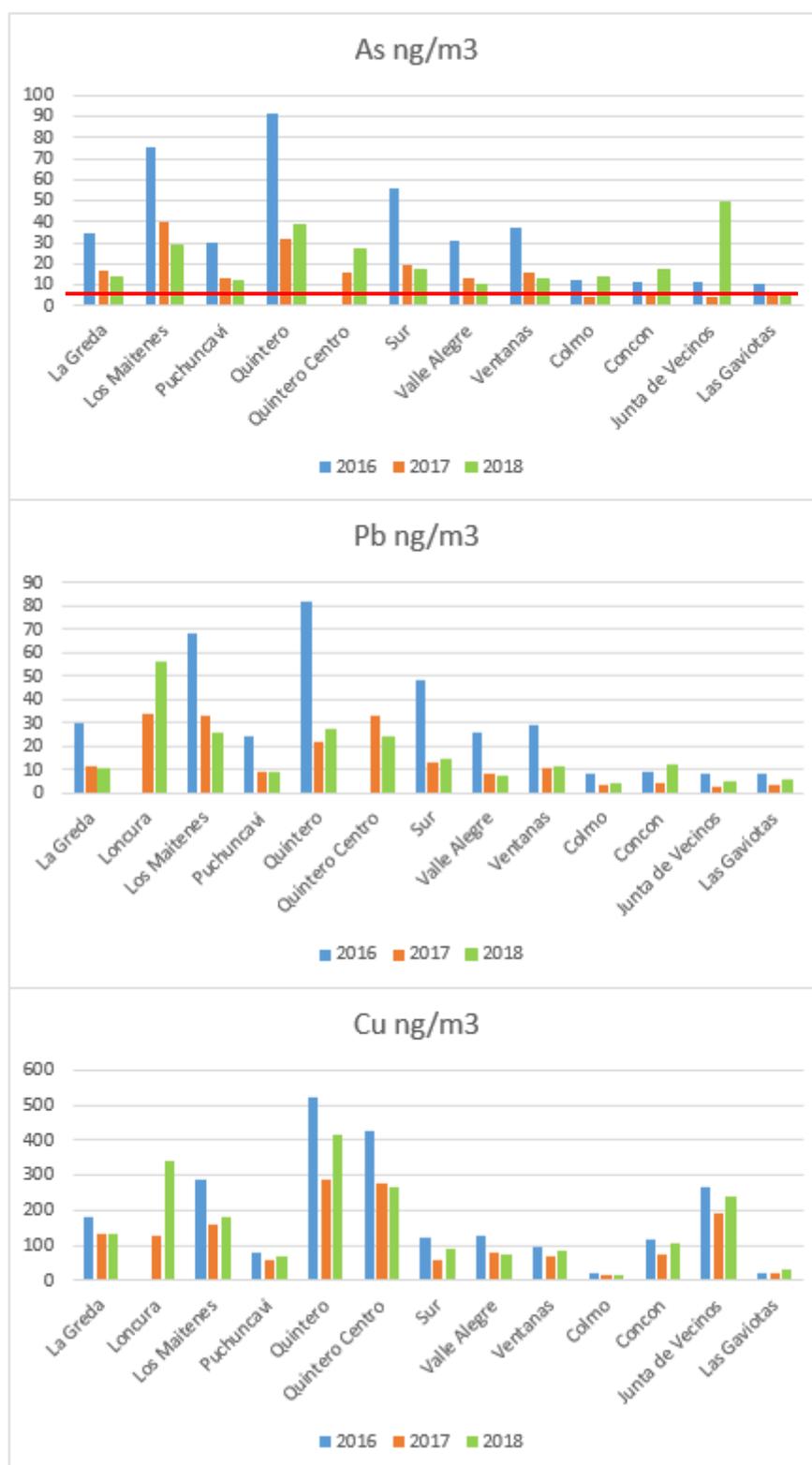
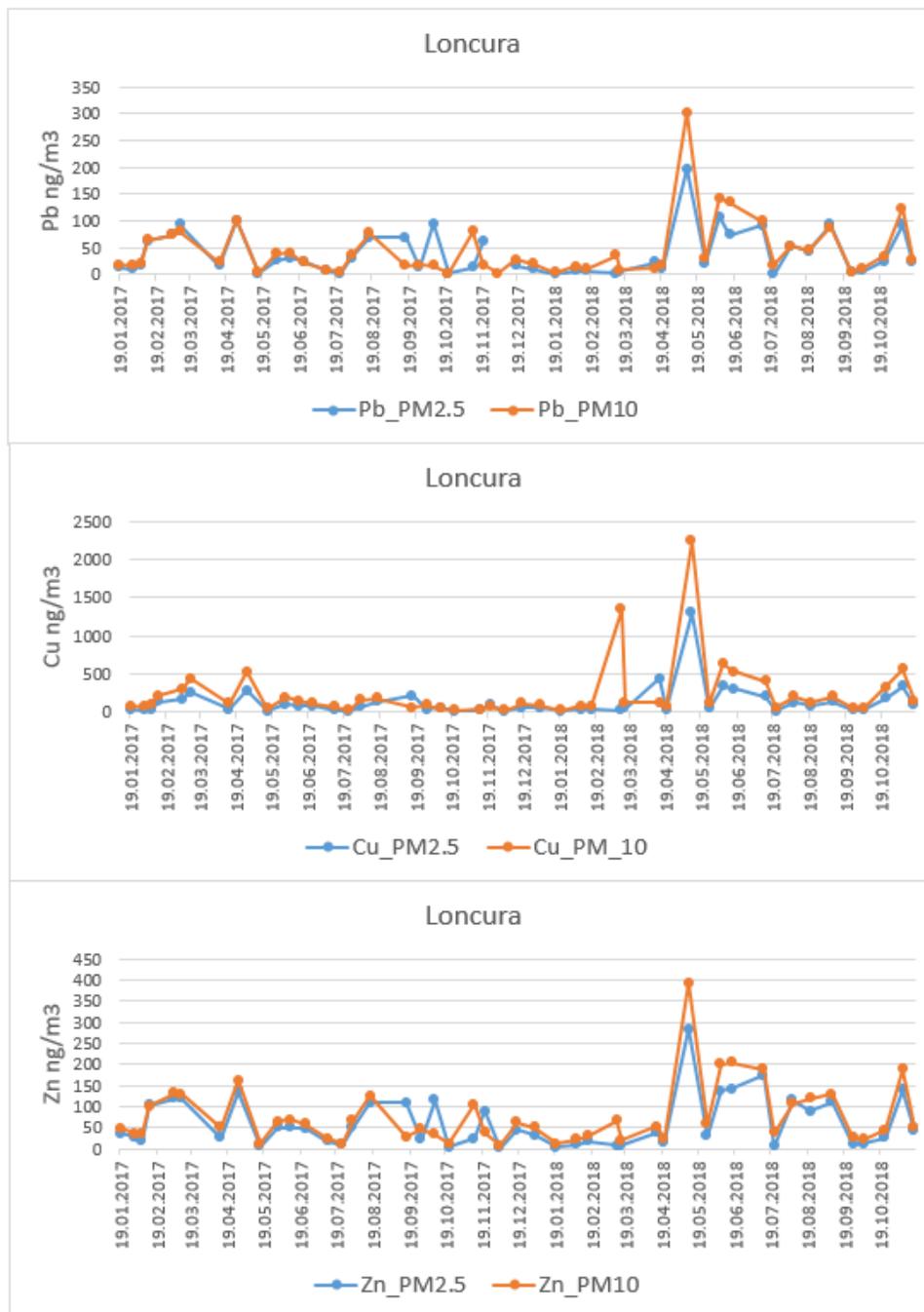


Figura 12. Concentraciones promedio anuales de As, Pb, Cu (ng/m³) en 2016-2018

Tabla 4. Valores promedios anuales en Loncura en 2017 y 2018

| Loncura | MP ₁₀ µg/m ³ | MP _{2.5} µg/m ³ | Pb_MP _{2.5} µg/m ³ | Pb_MP ₁₀ µg/m ³ | Cu_MP _{2.5} µg/m ³ | Cu_MP ₁₀ µg/m ³ | Zn_MP _{2.5} µg/m ³ | Zn_MP ₁₀ µg/m ³ |
|---------|---------------------------------------|--|---|--|---|--|---|--|
| 2017 | 54 | 19 | 37 | 34 | 78 | 129 | 56 | 62 |
| 2018 | 54 | 17 | 41 | 56 | 172 | 340 | 66 | 94 |

**Figura 13.** Concentraciones diarias (ng/m³) de Pb, Cu y Zn en MP_{2.5} y MP₁₀ en 2017-2018

Las concentraciones de algunos elementos estuvieron continuamente por debajo de los límites de detección del método utilizado. Los resultados de cadmio y mercurio se marcaron como 1 ng/m^3 (Nivel de detección posiblemente) casi todo el tiempo en todas las estaciones. El valor límite de la UE para el Cd es de 5 ng/m^3 . También los resultados de cromo, níquel y vanadio estuvieron por debajo del límite de detección (12 ng/m^3) El valor límite de Ni en la UE es de 20 ng/m^3 (ver en anexo los Certificados de Acreditación del Laboratorio del Operador y ejemplo de los informes de análisis de metales para MP10 y MP2,5).

Los resultados podrían ser de mayor utilidad, por ejemplo, al utilizar herramientas de análisis factorial para determinar la contribución de fuentes al MP_{2.5} (modelo PMF), y si se implementan métodos de detección más bajos, los cuales dependen del instrumento y método analítico. Normalmente se recomienda utilizar un Espectrómetro de Masas con Inducción de Plasma Acoplado (ICP-MS) para el análisis de elementos. Sin embargo, también los límites de detección de la Espectrometría de Absorción Atómica de Horno de Grafito (GFAAS), son bastante bajos. Según la norma de la UE, para el tratamiento analítico de la muestra se recomienda un sistema de tratamiento por microondas con una potencia bastante alta y un control de temperatura. El ácido nítrico normalmente concentrado (ultrapuro) se utiliza para la extracción y digestión del MP desde los filtros. La eficacia del procedimiento de extracción y digestión puede comprobarse utilizando materiales de referencia estándar y calculando así las recuperaciones de cada elemento. También es posible analizar un conjunto de muestras en otra institución. El material de los filtros utilizados también es importante ya que, algunos de los materiales de los filtros tienen valores de blanco más altos y la desviación estándar de la concentración es mayor, lo que lleva a límites de detección más altos (en este caso los filtros utilizados son microcuarzo (HV) y teflón MP25 (47 mm)).

3.1.3 Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del informe N°1

Se presenta a continuación las principales recomendaciones a partir del análisis de los datos de monitoreo de la calidad del aire de Quintero-Puchuncaví y Concón (2016-2018):

- La red actual de monitoreo de la calidad del aire de 13 estaciones de AQ que miden SO₂, MP_{2.5}, MP₁₀, NO_x, O₃, CO, HCNM y CH₄ es una red grande para su propósito que es monitorear el impacto de las emisiones de la industria en la calidad del aire. Se recomienda encarecidamente optimizar la red de monitoreo reduciendo el número de mediciones de contaminantes que no son prioritarias y desarrollar una red y un programa de monitoreo agregando nuevas mediciones de parámetros y análisis para un mayor y mejor entendimiento de la calidad del aire en la zona.
- Ambas áreas de estudio parecen tener problemas con altas concentraciones de SO₂ y MP_{2.5}; la situación es más severa en el área de Quintero-Puchuncaví, por lo que los contaminantes prioritarios que se deben medir en esta zona son el material particulado (MP_{2.5}, PM₁₀) y el dióxido de azufre (SO₂). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que puede haber muchas fuentes locales alrededor de las estaciones de monitoreo que afecten las concentraciones de PM₁₀, tales como pequeñas chimeneas residenciales cercanas a las estaciones, recirculación de polvo desde las zonas industriales cercanas a las estaciones (el polvo puede ser levantado al aire por el viento), actividades de explotación de áridos y caminos sin pavimentar, etc.
- El monóxido de carbono (CO), el ozono (O₃) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) no son los contaminantes prioritarios que se deben medir ya que sus niveles de concentración en todas las estaciones de

monitoreo actuales eran bajos. En base a dicha baja de concentración medida durante los últimos 3 años, no sería necesario medir continuamente el CO en la zona. También el número de estaciones que monitorean los parámetros O₃ y NO_x podrán ser reducidas. Además, las mediciones del ozono deben situarse más lejos de las fuentes directas de emisión (industria, producción de energía y tráfico).

- Teniendo en cuenta las actividades industriales a gran escala en la zona, es necesario realizar mediciones y análisis adicionales en el futuro, como por ejemplo, análisis de metales de las muestras de filtros de partículas, COV (benceno, tolueno, etc.) y también posibles HAP (benzo(a)pireno).
- Se recomienda el pronto desarrollo de una campaña de intercomparación entre distintos monitores gravimétricos MP₁₀ y MP_{2.5}, y sus resultados obtenidos en laboratorio respecto de las metodologías vigentes, en al menos 1 o 2 estaciones. Esto con la finalidad de establecer el grado de equivalencia entre los resultados obtenidos por los monitores de Material Particulado.
- Después de un análisis químico más detallado del Material Particulado (Aniones, Cationes, metales, arsénico, levoglucosano, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Carbono Elemental/Orgánico), una posibilidad es el desarrollo de un estudio de aportes por fuentes emisoras y detección de emisiones a través de la aplicación de modelos estadísticos tipo receptor, por ejemplo modelo de Factorización de Matriz Positiva (PMF).
- Se recomienda encarecidamente optimizar la red de monitoreo centrándose en las mediciones prioritarias y en los contaminantes que deben medirse teniendo en cuenta las actividades industriales de la zona.
- Las concentraciones de SO₂, MP_{2.5} y MP₁₀ son altas, por lo que son contaminantes prioritarios y deben mantenerse en el plan de monitoreo de la Calidad del Aire. Sin embargo, puede reducirse el número de estaciones de calidad del aire. El MP_{2.5} y el MP₁₀ no tienen por qué medirse ambas fracciones en las mismas estaciones.
 - Se recomienda comenzar con el análisis químico de las muestras de filtro de MP₁₀/MP_{2.5} en 1-2 estaciones, incluyendo el análisis de metales de los filtros, y posiblemente también el análisis químico de aniones y cationes.
 - Se recomienda definir y desarrollar una estación de calidad del aire en la zona del tipo Super-Site, la cual puede contener tanto mediciones básicas (SO₂, NO_x, MP_{2.5}/MP₁₀) como mediciones y toma de muestras adicionales para análisis; COV (BTEX y tubos de toma de muestras) y muestras de filtro para análisis químico (metales, aniones y cationes, HAP, levoglucosano).
 - Sería importante contar con una estación de Background a unos 20 kilómetros de la zona industrial y de las principales carreteras de la zona, tal que no se vea afectada por ninguna fuente de emisión cercana. También hay que tener en cuenta la situación topográfica. Esta sería una nueva estación de la red a definir, ya sea en la zona norte o sur de la región.
 - Se recomienda medir los compuestos de Hidrocarburos no metánicos (HCNM) para que los diferentes compuestos de COV puedan analizarse por separado (etano, propano, butano, pentano). Lo anterior es consistente con los compuestos detectados en las campañas de mediciones desarrollada en la zona por el NILU. Por lo tanto no es recomendable medir HCNM totales, debido a que es difícil de comparar los resultados con los valores límite basados en la salud y evaluar las posibles fuentes de los COV.

- Se recomienda realizar las mediciones de COV mediante un detector de ionización de llama/espectrómetro de masas con cromatógrafo de gases y desorción térmica en el que puedan utilizarse tanto tubos adsorbentes para compuestos BTEX como recipientes de acero inoxidable para COV ligeros. De esta manera, pueden tomarse muestras en varios lugares dependiendo de la necesidad y, a continuación, analizadas en un solo laboratorio. Este sistema de medición cubriría todos los COV que tienen obligaciones de medición, por ejemplo, en los países de la UE.
- Las concentraciones de NO₂, O₃ y CO, están en un nivel bajo, por lo que no se necesitan muchas estaciones/analizadores de medición para estos parámetros. Por ejemplo, en la zona sería suficientes 5 estaciones midiendo NO_x y 1 a 3 mediciones de ozono y CO (en el caso de que exista la necesidad específica de medir CO). Las concentraciones de CO están por debajo del límite de detección del analizador, por lo que los niveles de concentración indicaban que el CO no es un contaminante prioritario para medir. Parecía haber problemas de calidad de los datos con las mediciones de NO₂, O₃ y CO, por lo que es muy importante mejorar la calidad de las mediciones y los datos (procesos de control de calidad).
- Se recomienda desarrollar una mejora de los procesos de validación de datos de monitoreo de la calidad del aire. Se observa que el nivel cero de algunos de los analizadores se desvía con cierta frecuencia, lo que lleva a una mayor incertidumbre de los resultados de la monitoreo. La validación de datos basada en las calibraciones regulares podría ser la solución para controlar el desvío del nivel cero y mejorar la calidad de los resultados del monitoreo.

3.2 Recomendaciones para la implementación de monitoreo automático de sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles totales (COVs) y benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX)

A continuación, se entregan las recomendaciones para la implementación de monitoreo automático de algunos compuestos tales como sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles totales (COVs), tales como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX).

3.2.1 Sobre mediciones de Sulfuro de hidrógeno H₂S

Los compuestos de azufre asociados a olores, conocidos como compuestos de azufre total reducido (TRS), se refieren a compuestos de azufre tales como el sulfuro de hidrógeno (H₂S), metilmercaptano (CH₄S), sulfuro de dimetilo (C₂H₆S) y disulfuro de dimetilo (C₂H₆S₂). La medición de estos TRS determina la concentración total de estos compuestos y puede ser monitoreada en forma continua (incluido H₂S). El gas de muestra se introduce en un convertidor que comprende un depurador de SO₂ y un horno. El material contenido en el depurador de SO₂ absorbe las moléculas de dióxido de azufre del gas de muestra. Desde el depurador de SO₂, el gas de muestra se introduce en el horno convertidor a alta temperatura (oxidación térmica). En el horno convertidor, las moléculas del compuesto TRS se oxidan a dióxido de azufre (SO₂). El dióxido de azufre formado se mide con un analizador de azufre de fluorescencia UV (de manera similar que en un monitor de SO₂ normal). La línea de muestreo debe ser lo suficientemente corta (menos de 6 metros) para evitar cualquier cambio en la muestra. Se recomienda el uso de una sonda de flujo. El material de la sonda y las líneas de muestra serán de material inerte (sonda de acero inoxidable y líneas de teflón). La línea de muestra debe estar equipada con un filtro de teflón (5 μm) para filtrar las partículas y debe reemplazarse al menos cada tres meses.

Al ajustar la temperatura del horno del convertidor (de acuerdo con las instrucciones del fabricante del horno) también es posible medir solo H_2S y no los otros compuestos TRS. Básicamente, hay 2 posibilidades para monitorear en línea, continuamente la concentración de H_2S :

a) Primera opción de medición (Método N°1)

Es posible usar el mismo analizador de SO_2 (analizador de azufre de fluorescencia UV) que para el monitoreo de SO_2 y tener un depurador de SO_2 externo y un horno convertidor que se puede conectar al analizador de SO_2 para medir el TRS (todo el total reduce los depósitos de azufre) o solo H_2S (si se ajusta la temperatura del horno convertidor para temperaturas más bajas). Este método se usa ampliamente en Finlandia, ya que tendrá más flexibilidad para usar el analizador, el mismo analizador se puede usar para mediciones de SO_2 , TRS o H_2S . En Finlandia, no es común monitorear solo H_2S . En lugar de H_2S , se mide el TRS total. El TRS (especialmente cerca de las fábricas de pulpa) puede también contrarrestar otros compuestos de TRS malolientes que el H_2S . Si se mide H_2S , los otros compuestos TRS quedarían fuera.

- **Verificación del funcionamiento del convertidor y calibración del dispositivo (Método 1)**

El gas de muestra se introduce en un convertidor que comprende un depurador de SO_2 y un horno. El material contenido en el separador de SO_2 adsorbe las moléculas de dióxido de azufre del gas de muestra. Desde el separador de SO_2 , el gas de muestra se introduce en un horno a una temperatura de aproximadamente 820-870 °C (la temperatura óptima del horno depende de la marca).

La eficiencia del depurador de SO_2 , que depende del material de adsorción utilizado y el tiempo de operación, debe determinarse regularmente al menos cada tres meses. Esto se realiza suministrando al aparato a través del convertidor una cantidad conocida de gas SO_2 (por ejemplo, 100 ppb) durante al menos 10 minutos. Si el material del separador deja pasar un 3% o más de dióxido de azufre, se debe reemplazar el material del depurador.

El analizador se calibrará al menos cada tres meses con gas de dióxido de azufre (SO_2), sin pasar por la trampa de SO_2 . La linealidad se verifica una vez al año. Si el analizador está inactivo, debe estar encendido durante al menos un día antes de la calibración.

El horno convierte los compuestos de TRS en dióxido de azufre, generalmente con un grado de conversión del 90-95% (parte de la pérdida proviene del depurador de SO_2). La tasa de conversión debe verificarse regularmente introduciendo una cantidad conocida de gas sulfuro de hidrógeno (por ejemplo, 100 ppb) a través del convertidor durante al menos 10 minutos. Los resultados deben corregirse mediante la tasa de conversión y el factor de corrección del dispositivo.

b) Segunda opción de medición (Método N°2)

Es posible utilizar un monitor / analizador continuo de H_2S que puede medir tanto SO_2 como H_2S . Básicamente, estos dispositivos (es decir, el analizador Thermo 450i de sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre y el

analizador Ecotech Serinus 51 SO₂/H₂S) tienen el mismo principio de funcionamiento que el explicado en la primera opción anterior. Estos analizadores tienen un depurador interno y un horno convertidor que se ajusta para oxidar solo H₂S a SO₂ y no los otros compuestos TRS que se dejan en el sitio para "compuestos interferentes". En caso de que el mismo analizador mida dos contaminantes diferentes, no es posible alcanzar el requisito mínimo de objetivos de calidad de cobertura para ambos compuestos. Como el analizador mide ambos contaminantes consecutivamente, no en paralelo, esto significará que el objetivo de calidad de cobertura mínima para el otro contaminante (es decir, SO₂) podría cumplir con el requisito, pero el otro no. Por lo tanto, si se mide con este tipo de analizador ambos contaminantes al mismo tiempo, debe comprometerse la calidad de los datos. Por lo tanto, se recomienda usar 2 instrumentos separados si hay 2 contaminantes diferentes para medir, es decir, si se miden SO₂ y H₂S / TRS, se necesitan 2 analizadores de SO₂ y para la medición de H₂S/TRS también se necesitan un lavador externo y un horno convertidor. De esta forma, las mediciones de los dos pueden realizarse cumpliendo los objetivos de calidad de datos para la cobertura de datos.

- **Verificación del funcionamiento del convertidor y calibración del dispositivo (Método 2)**

El gas de muestra se introduce en un convertidor que comprende un separador de SO₂ (depurador) y un horno. El material contenido en el depurador de SO₂ absorbe las moléculas de dióxido de azufre del gas de muestra. Desde el depurador de SO₂, el gas de muestra se introduce en un horno a una temperatura de aproximadamente 820-870 grados Celsius (la temperatura óptima del horno depende de la marca).

La eficiencia del depurador de SO₂ que depende del material de adsorción utilizado y el tiempo de operación, debe determinarse regularmente al menos cada tres meses. Esto se realiza suministrando una cantidad conocida de gas SO₂ (por ejemplo, 100 ppb) durante al menos 10 minutos al analizador a través del convertidor. Si el material del separador deja pasar un 3% o más de dióxido de azufre, se debe reemplazar el material del depurador.

El analizador se calibrará al menos cada tres meses con sulfuro de hidrógeno (H₂S). Si el analizador está inactivo, debe estar encendido durante al menos un día antes de la calibración. Los resultados se corrigen mediante la ecuación de corrección de calibración de sulfuro de hidrógeno.

El horno convertidor convierte los compuestos TRS en dióxido de azufre, generalmente con un grado de conversión del 90-95% (parte de la pérdida proviene del depurador de SO₂). La tasa de conversión y la linealidad deben verificarse al menos una vez al año realizando una calibración multipunto de SO₂.

Como recomendación final, en el caso de haber problemas de olores en el área, se recomienda organizar campañas de medición (preferiblemente durante un año) para medir TRS (incluido H₂S) en el área mayormente afectada.

3.2.2 Sobre Mediciones de COVs y BTEX

El grupo de COV que incluye benceno, tolueno, etilbenceno y xileno se llama BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos). Estos pueden ser monitoreados por instrumentos en línea, que se basan en la cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID) o detector de fotoionización (PID). Hay dos

puntos principales al comparar estos instrumentos; necesidad de gases y límites de detección. Se recomienda que los equipos presenten un límite de detección de al menos $<0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para mediciones del aire ambiente.

Según la información (hojas de datos técnicos de los instrumentos) de los fabricantes, ChromaFID y ChromaPID están fuera del rango de medición y no se pueden usar en las mediciones de aire ambiente. Para AMAGC500 no se dan límites de detección exactos y, por lo tanto, no es posible la evaluación. PyrixGC y Baseline8900GC tienen límites de detección demasiado altos (ver listado a continuación) y es probable que existan incertidumbres altas en los niveles de concentración en el aire ambiente, que están muy cerca de los límites de detección o por debajo de ellos. Por lo tanto, la recomendación sería un equipo del tipo AirmoVOC o VOC72M.

La principal diferencia entre estos instrumentos es que AirmoVOC tiene un detector de ionización de llama (Flame Ionization Detector, FID) como detector y VOC72M tiene un Detector de Fotoionización (PID). Se recomienda el método FID, aunque el método PID no requiere gases adicionales para su aplicación. Para AirmoVOC con FID, se necesitan, hidrógeno o generador de aire zero o cilindros de gases. Hay generadores de gas disponibles, que producen tanto hidrógeno como aire zero necesarios para este tipo de aplicaciones. Para VOC72M solo se necesitaría un cilindro o generador de Nitrógeno 5.5.

Lista de Instrumentos revisados por el FMI con sus límites de detección dados por los fabricantes y el suministro de gas necesario:

- AMAGC500: límite de detección (DL) en el rango de ppt.
- Línea de base-8900-GC: DL $\sim 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PID), suministro de gas: nitrógeno
- AirmoVOC: DL para benceno $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, suministro de gas: H₂ (cilindro o generador), aire cero (cilindro o generador).
- ChromaFID: DL 20 ppb ($\sim 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es demasiado alto para mediciones de aire ambiente.
- ChromaPID: DL 6 ppb ($\sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es demasiado alto para las mediciones de aire ambiente.
- VOC72M: DL $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, suministro de gas: nitrógeno 5.5 (99.9995%) 3.2 bar 15 ml/minuto
- PyriXGC: DL $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rango analítico $0.5\text{-}80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sin necesidad de botellas de gas o generadores

Según los resultados de la evaluación de COV del estudio desarrollado en la zona por el NILU, se recomienda que las mediciones de COV se realicen mediante un detector de ionización de llama/espectrómetro de masas/cromatógrafo de gases basado en laboratorio (ver figura 16), donde se pueden usar tubos adsorbentes para compuestos benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX) y recipientes de acero inoxidable para COV ligeros (hidrocarburos de 2 a 6 átomos de carbono, es decir, etano, acetileno, butano, isobutano y pentano), ver figura 17.

De esta forma, las muestras se pueden tomar en varios lugares según la necesidad y luego analizarse en un laboratorio. Esta configuración de medición cubriría todos los COV, que tienen obligaciones de medición, por ejemplo, en países de la UE.

Con un cromatógrafo de desorción térmica de gases-FID/MS de laboratorio, es posible tener límites de detección más bajos e incertidumbres de medición más bajas que con los analizadores BTEX continuos. También permite tomar muestras de varios lugares diferentes y habría posibilidad de estudiar y analizar más

COV diferentes. Sin embargo, el precio del instrumento de laboratorio es más alto y su funcionamiento es más complicado.



Figura 14. Un ejemplo de un cromatógrafo de desorción térmica de gases-espectrómetro de masas



Figura 15. Ejemplos de los tomamuestras recomendados:
Recipientes de acero inoxidable (izquierda) y tubos adsorbentes (derecha)

Se recomienda agregar a la operación de la red, campañas de monitoreo de COVs como un plan de monitoreo de la calidad del aire en el área de estudio. La campaña de monitoreo de NILU fue revisada y evaluada en el informe No.1. Las concentraciones de COV en esa campaña no fueron altas (no cercanas a los valores límite de la UE), por lo tanto, según esas concentraciones, no serían necesarias mediciones continuas de COV en el área.

En la UE, todas las zonas cuya población excede los 100.000 habitantes deben demostrar mediante mediciones que las concentraciones de benceno en el área no exceden los $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si el umbral inferior de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración de benceno excede, se deben organizar solamente campañas de medición. Además de eso, todos los estados miembros están obligados a medir los VOC ligeros debido a su impacto en la formación de ozono. Basado en el hecho de que el área de estudio está altamente industrializada y existen otras posibles fuentes de COV, se recomienda realizar mediciones de COV al menos en un lugar durante un año calendario como mediciones continuas. Además de la medición continua, allí se pueden realizar campañas de recolección de muestras alrededor de los sitios industriales para comparar cuánto difieren de los resultados de la medición

continua. La recomendación para el método de monitoreo de COV se describió (con fotos de ejemplo) en el informe N°1.

3.3 Proponer un método de ordenamiento basado en clasificación de las estaciones de monitoreo según las directrices establecidas por la Unión Europea.

3.3.1 Métodos de evaluación de la calidad del aire.

Las características, el volumen, la ubicación y la altura de la fuente de emisión, las concentraciones de background de la zona y la exposición de la población y la vegetación por los contaminantes atmosféricos, generan la necesidad de la implementación del monitoreo de la calidad del aire. El monitoreo requiere la aplicación de métodos de investigación adecuados y confiables para evaluar los contaminantes medidos. Lo anterior requiere especificar en reglamentos la forma en que se miden, calculan, predicen o estiman las concentraciones de un contaminante en el aire.

El método para controlar la calidad del aire se selecciona en función de los niveles de contaminantes observados. Los reglamentos de calidad del aire de la UE establecen umbrales de evaluación inferior y superior para diversos contaminantes del aire (ver Tabla 5). Si las concentraciones están por encima del umbral de evaluación superior, las mediciones continuas son el principal método de monitoreo de la calidad del aire. Cuando las concentraciones están por debajo del umbral de evaluación superior, se reduce la necesidad de mediciones continuas y se puede usar una combinación de mediciones continuas y técnicas de modelación de dispersión de contaminantes o mediciones de tipo indicativas.

- Las **mediciones continuas de la calidad del aire** proporcionan información sobre las concentraciones a corto y largo plazo, las variaciones temporales en las concentraciones, las tendencias a largo plazo en la calidad del aire, el impacto de diferentes fuentes de emisión en la calidad del aire, para validar los resultados del cálculo de modelaciones de dispersión de contaminantes y pueden usarse para difundir la información de la calidad del aire en tiempo real al público en general.
- Las **mediciones indicativas** pueden usarse para generar mapas de la calidad del aire en un área donde el nivel de concentración no se conoce de antemano. Las mediciones indicativas también se pueden utilizar para apoyar mediciones continuas para mejorar la cobertura regional. Las mediciones indicativas pueden ser campañas de medición a corto plazo, o mediciones a largo plazo, cuya cobertura temporal o cantidad mínima de material o cualquier otro objetivo de calidad no cumple con los requisitos para la medición continua o no utiliza métodos de referencia (un ejemplo para estos casos, es utilizar el método de muestreo pasivo).
- Los **modelos de dispersión** de contaminantes proporcionan información sobre los niveles a corto y largo plazo de las concentraciones de aire ambiental, las variaciones en las concentraciones en un área determinada y el impacto de una sola fuente de emisión en la calidad del aire en un entorno de múltiples fuentes. Los modelos se pueden utilizar para evaluar el impacto en la calidad del aire de normativas existentes o planificadas, para la protección del aire, entre otras medidas. Así también, es posible evaluar el impacto en la calidad del aire de diferentes opciones de diseño el control ambiental en la generación energía, en la industria, el transporte, el uso del suelo y la planificación de la ciudad.

- Los **inventarios de emisiones** proporcionan información sobre, por ejemplo, la cantidad total de contaminantes provenientes de la producción de energía, la industria, el transporte y el calentamiento de viviendas, la calidad y cantidad de emisiones, la variación oportuna de las emisiones y otros parámetros técnicos relacionados con las emisiones, como la altura de las fuentes de emisión.

a) Necesidad de mediciones de calidad del aire y objetivos de medición

La necesidad de medir la calidad del aire y la adecuación de los sistemas y redes de monitoreo de la calidad del aire en las áreas de monitoreo **deben evaluarse al menos cada cinco años**. Típicamente, el monitoreo de la calidad del aire se debe llevar a cabo de acuerdo con un plan o programa de monitoreo que evaluará la adecuación de las mediciones existentes y su cobertura territorial. En base a esta evaluación, se pueden recomendar nuevas mediciones de contaminantes de la calidad del aire o, si la calidad del aire mejora, suspender las mediciones que hayan resultado innecesarias. Los datos utilizados serán las concentraciones medidas en los últimos cinco años en relación con los umbrales de evaluación de la calidad del aire. Las tendencias de concentración más largas, los datos de emisiones del tráfico y otras fuentes significativas, y los cálculos de las modelaciones de la calidad del aire y distribución de emisiones también se utilizan en esta evaluación.

Los objetivos para las mediciones de calidad del aire se establecen según las necesidades locales, nacionales e internacionales. El monitoreo desde un punto de vista local ha sido tradicionalmente asociado al impacto de las emisiones de la industria. Hoy, en la mayoría de las ciudades, las emisiones fugitivas, como las emisiones del tráfico y los incendios, tienen un mayor impacto en la calidad del aire que las fuentes puntuales. Sin embargo, en Finlandia, la producción industrial y de energía contribuye al costo de las mediciones de la calidad del aire y, por lo tanto, cumple con las obligaciones establecidas en los permisos ambientales para participar en el monitoreo conjunto que se organiza en cooperación con las ciudades y municipios, la industria y el sector de producción de energía. Las mediciones de la calidad del aire controlan si los valores límite de la calidad del aire, los valores objetivo y, en su caso, los valores establecidos están por debajo de los umbrales de protección de la salud.

Cuando se excede el límite, la guía u otro valor objetivo, se toman varias medidas para reducir las concentraciones y monitorear la evolución de las concentraciones. Las necesidades de medición local están influenciadas por, por ejemplo, volúmenes de tráfico y la ubicación y volúmenes de fuentes de emisión locales. En algunos casos, las quejas de los residentes sobre el olor o la calidad del aire también pueden ser motivo de mediciones o modelación de dispersión de contaminantes.

El número mínimo de estaciones para monitorear las emisiones difusas en el aire en diferentes áreas de monitoreo y áreas de background rural, se ha definido en las directivas de calidad del aire de la UE. **El número mínimo de estaciones de calidad del aire depende de los niveles de concentración y del número de personas que viven en el área de monitoreo.**

El objetivo común es que los objetivos de medición relacionados con el monitoreo de los valores límite de la calidad del aire se pueden combinar con otros posibles objetivos de medición, como la evaluación a largo plazo de las tendencias de la calidad del aire, el seguimiento de denuncias o casos de episodios de mala calidad del aire u olores, cumplimiento de las condiciones del permiso ambiental, etc.

Los datos de calidad del aire recopilados en otros lugares, en entornos y condiciones similares, también pueden usarse para evaluar la necesidad del monitoreo. Por ejemplo, concentraciones en entornos con grandes volúmenes de tráfico, así como condiciones meteorológicas y de dispersión de contaminantes.

b) Umbrales para la evaluación de la calidad del aire

Para la evaluación de la necesidad de monitorear la calidad del aire en las áreas de monitoreo, **se establecen umbrales de evaluación superior e inferior para los contaminantes en el aire**, que son ciertos porcentajes de valores límite, valores objetivo o niveles críticos (Tabla 5). Las superaciones de los umbrales de evaluación se determinarán sobre la base de las concentraciones durante los cinco años anteriores. Se considerará que se ha excedido el umbral cuando se ha excedido durante al menos tres años en un período de cinco años. Se estableció un objetivo a largo plazo para el ozono, que se superará en una superación en cinco años. Si los datos de concentración no están disponibles para un período de cinco años, se pueden usar datos de períodos de medición más cortos, combinados con información de inventarios de emisiones y cálculos de la aplicación de modelos de dispersión. Los datos de medición deben representar áreas y estaciones cuando las concentraciones son típicamente más altas.

Tabla 5. Umbrales de calidad del aire en la UE (Directiva de Calidad del Aire)

| | | Umbral superior | | Umbral inferior | |
|--|-------------------------------------|-----------------|-------------|-----------------|--------|
| Dióxido de azufre (SO₂) (µg/m ³) 24 h (podría exceder 3 veces/año) | Valor Límite | 125 | 75 (60 %) | 50 | (40 %) |
| | Nivel crítico | 20 | 12 (60 %) | 8 | (40 %) |
| Periodo de invierno (1.10.-31.3.) ¹⁾ | | | | | |
| Dióxido de nitrógeno (NO₂) (µg/m ³) 1 h (podría exceder 18 veces/año) | Valor Límite | 200 | 140 (70 %) | 100 | (50 %) |
| | Año calendario | 40 | 32 (80 %) | 26 | (65 %) |
| óxidos de nitrógeno (NO_x) (µg/m ³) ¹⁾ Año calendario | Nivel crítico | 30 | 24 (80 %) | 19,5 | (65 %) |
| Material particulado (PM₁₀) (µg/m ³) 24 h (podría exceder 35 veces/año) | Valor Límite | 50 | 35 (70 %) | 25 | (50 %) |
| | año | 40 | 28 (70 %) | 20 | (50 %) |
| Material particulado (PM_{2,5}) (µg/m ³) Año calendario | Valor Límite | 25 | 17 (70 %) | 12 | (50 %) |
| Pbpmo (Pb) (µg/m ³) Año calendario | Valor Límite | 0,5 | 0,35 (70 %) | 0,25 | (50 %) |
| Monóxido de carbono (CO) (mg/m ³) 8 hrs ²⁾ | Valor Límite | 10 | 7 (70 %) | 5 | (50 %) |
| Benzeno (C₆H₆) (µg/m ³) Año calendario | Valor Límite | 5 | 3,5 (70 %) | 2 | (40 %) |
| Ozono (O₃) | valor objetivo a largo plazo | | | | |

| | | | | | |
|--|--|-----|--------|-----|--------|
| 8 h ²⁾ AOT40 ³⁾ | 120 µg/m ³ 6 000 µg/m ³ h | | | | |
| Arsénico (As) (ng/m³) Año calendario | valor objetivo 6 | 3,6 | (60 %) | 2,4 | (40 %) |
| Cadmio (Cd) (ng/m³) Año calendario | valor objetivo 5 | 3 | (60 %) | 2 | (40 %) |
| Niquel (Ni) (ng/m³) Año calendario | valor objetivo 20 | 14 | (70 %) | 10 | (50 %) |
| Benzo(a)pireno (BaP) (ng/m³) Año calendario | valor objetivo 1 | 0,6 | (60 %) | 0,4 | (40 %) |

3.3.2 Ubicación y clasificación de las estaciones de calidad del aire en la UE

a) Clasificación, representatividad y criterios de inversión para estaciones de medición.

En la Directiva de calidad del aire de la UE, las estaciones se clasifican por ubicación y por las principales fuentes de emisión. El objetivo de la clasificación uniforme de la estación y los criterios de ubicación es mejorar la comparabilidad de los resultados y evaluaciones de la medición de la calidad del aire entre diferentes ubicaciones, áreas de monitoreo y Estados miembros de la UE y en relación con los objetivos de calidad del aire.

En términos del tipo de emisiones y la distancia entre las fuentes de emisión y la representatividad de la estación, las estaciones de medición se pueden dividir en tres categorías principales, que son las estaciones de tráfico, industriales y de background. Según la región que representan, las estaciones se pueden dividir en estaciones urbanas, suburbanas y rurales (Comisión Europea, 2013):

b) Tipo de estación en relación con las fuentes de emisión dominantes:

- **Estación de Tráfico:** una estación ubicada cerca de una calle principal o carretera.
- **Estación Industrial:** una estación ubicada cerca de un sitio industrial individual o área industrial. Las fuentes de emisiones industriales incluyen, por ejemplo, centrales eléctricas, plantas de calefacción, refinerías, plantas de incineración de residuos, centros de tratamiento de residuos, minas, fundiciones, plantas químicas, aeropuertos y puertos.
- **Estación Background:** una estación que no puede clasificarse como una estación de tráfico o industrial, y donde los contaminantes medidos representan la exposición general de la población (o vegetación y ecosistemas). Los niveles de concentración no se ven afectados por fuentes individuales. La estación debe representar un área más amplia de al menos varios kilómetros cuadrados.

c) Tipo de área

- **Área Urbano:** un área urbana densamente urbanizada con calles, al menos de dos pisos, o al menos predominantemente bordeadas de calles. Además de los edificios, el área urbana incluye parques, estaciones de tren, entradas y cruces de autopistas.
- **Área suburbana:** un área predominantemente urbana que consiste en urbanizaciones unifamiliares, otras casas unifamiliares, así como áreas no construidas (pequeños lagos, bosques, agricultura) y menos densamente pobladas que las áreas urbanas.
- **Área Rural:** todas las áreas que no cumplen con los criterios para áreas urbanas y / o suburbanas.

Las áreas rurales se pueden subdividir en:

- **Background urbano:** a menos de 10 km del límite de un área urbana o suburbana.
- **Background regionales:** 10-50 km de las principales fuentes.
- **Background rural:** más de 50 km de las principales fuentes.

d) Representatividad regional de estaciones de medición (escala macro)

Las estaciones de medición deben ser lo suficientemente representativas como para permitir que los resultados de la medición se utilicen para evaluar la calidad del aire en áreas con entornos y condiciones similares. El Reglamento de calidad del aire proporciona criterios generales para la ubicación de las estaciones de medición:

- **Estación de tráfico:** al medir el impacto del tráfico, la estación debe representar la calidad del aire ambiente en una distancia de al menos 10 metros.
- **Estación industrial:** al evaluar el impacto de las instalaciones industriales, la estación de medición debe representar la calidad del aire ambiente en una distancia mínima de 250 × 250 metros. Al menos una estación de medición se ubicará viento abajo de la fuente y se ubicará cerca de la dirección del viento predominante. Si no se conoce la concentración de fondo (o de background), se ubicará una estación de medición adicional viento arriba de la fuente.
- **Estación de background urbano:** cuando se evalúa la calidad general del aire en una ciudad, la estación de medición debe representar la calidad del aire en el área circundante, por lo general, a lo largo de varios kilómetros cuadrados y de tal manera que las concentraciones estén influenciadas por todas las fuentes significativas de la zona.
- **Background regional y rural:** al medir las concentraciones de fondo o de background regionales, la estación de medición se ubicará al menos a cinco kilómetros de distancia de los centros de población,

las principales aglomeraciones y los sitios industriales que pueden afectar las concentraciones de fondo.

- **Estación para la protección de la vegetación y los ecosistemas:** la estación de monitoreo para la exposición de la vegetación y el ecosistema debe ubicarse al menos a 20 kilómetros de los centros de población o al menos a 5 kilómetros de otras áreas urbanizadas, sitios industriales, autopistas o carreteras concurridas con tráfico densidad más de 50 000 vehículos / día.

Las estaciones de medición para monitorear las concentraciones de ozono pueden subdividirse en estaciones **de background urbanas, suburbanas, regionales y rurales** de acuerdo con los objetivos de medición. En las áreas urbanas, las mediciones de ozono representan la exposición general de la población al ozono, y las áreas suburbanas y de fondo típicamente representan las concentraciones y exposición más altas de ozono.

e) Crterios locales para estaciones de medición (microescala)

La ubicación de las estaciones de medición debe ser la siguiente en la Directiva de calidad del aire: en todas las estaciones de medición, el muestreo se realizará a una altura de al menos 1,5 m (nivel de respiración) y no más de 4 m sobre el suelo. Si es necesario, el punto de muestreo puede colocarse más alto si la estación de medición es representativa de un área grande. Las excepciones deben estar completamente documentadas.

No debe haber obstáculos que limiten el flujo de aire libre en las proximidades de la sonda del instrumento de medición (generalmente un ángulo mínimo de 270 grados o 180 grados en los puntos de muestreo cerca de los edificios). La sonda normalmente debe ubicarse al menos a pocos metros de edificios, balcones, árboles y otras obstrucciones. Si el muestreo se realiza desde la fachada del edificio, la distancia al edificio debe ser de al menos 0,5 metros. El muestreador no debe ubicarse en las inmediaciones de las fuentes de emisión con el fin de evaluar la calidad del aire o medir las emisiones directas. También debe tenerse en cuenta en el muestreo que el aire de escape de la estación de medición no puede entrar en la sonda.

En las **estaciones de tráfico**, el muestreo se realizará al menos a 25 m de los cruces principales y a una distancia máxima de 10 metros del lado del carril de tráfico. Se considera que una intersección importante es una intersección que interrumpe el flujo del tráfico y causa emisiones anormales (detención y aceleración) en comparación con el resto del camino.

Las **estaciones que miden el ozono** deben ubicarse lo suficientemente lejos de las instalaciones de combustión y calefacción y otras fuentes similares de emisiones y al menos a 10 metros de la carretera más cercana. La distancia para la carretera debe aumentarse en proporción al aumento en el flujo de tráfico.

f) Otros factores a considerar al ubicar la estación:

- Autorizaciones de instalación de las estación donde se planeó (propiedad de la tierra, otras regulaciones a considerar)
- Acceso a electricidad y telecomunicaciones
- Visibilidad del sitio y la adaptación de la estación al entorno.
- Evaluación de Posibles fuentes de interferencia.
- Factores que afectan la fiabilidad de la información

- Buena red de carreteras, acceso de transporte a la estación.
- Seguridad de los operadores y ciudadanos
- Centralización de mediciones (establecimiento de estaciones de componentes múltiples)
- Cualquier otro requisito de diseño.

g) Documentación e inspección de la estación de medición.

El procedimiento de selección del punto de ubicación / muestreo debe estar completamente documentado y registrado para respaldar el diseño de la red de monitoreo y la ubicación de las estaciones de medición. La documentación incluirá fotografías del área circundante de la estación de medición y mapas detallados tomados en diferentes direcciones.

La documentación se actualizará según sea necesario y se debe revisar **al menos cada cinco años** para garantizar que se sigan cumpliendo los criterios de selección, tal que las ubicaciones de las estaciones de medición sigan siendo óptimas.

3.4 Formular y entregar el diseño conceptual de la Red de Monitoreo en base al diagnóstico y recomendaciones derivadas del diagnóstico.

La optimización de la red de monitoreo de la calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví es altamente recomendable. Actualmente las estaciones de monitoreo continuas de la calidad del aire, operadas por diferentes operarios y pagadas por las diferentes industrias que operan en la zona. La mayoría de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire están midiendo más de 5 parámetros, que son los mismos en la mayoría de las estaciones. El monitoreo de la calidad del aire en el área ha sido desarrollada por las diferentes industrias que operan en el área, en base a los requerimientos de las autoridades y al sistema de permisos ambientales para cada industria por separado.

La ubicación de cada estación de monitoreo se ha realizado en cooperación con las autoridades locales y en algunos casos se ha usado la modelación para determinar el lugar de máximo impacto de la calidad de aire por las emisiones de los proyectos industriales, determinando los lugares óptimos para las estaciones de monitoreo. Como resultado de este enfoque, **actualmente existe una densa red de monitoreo de la calidad del aire que puede considerarse sobredimensionada para proporcionar información detallada sobre la calidad del aire en la zona.** Sin embargo, sobre la base del análisis de datos realizado para los resultados de los monitoreos (datos de 2016-2018) de la red, parece que la optimización de la red de supervisión es beneficiosa. Las recomendaciones se basan en las prácticas y experiencias de la UE.

3.4.1 Recomendaciones para optimizar y desarrollar la red de monitoreo actual

1. **Optimización de la Red:** Cambiar el sistema de monitoreo es **un esfuerzo conjunto entre los principales actores locales – las principales industrias y los municipios de la zona, y tener una red de monitoreo de la calidad del aire que cubra todas las actividades de la zona** en lugar de tener muchas estaciones diferentes de monitoreo de la calidad del aire. Una red de monitoreo es más fácil de manejar, la visión homogénea es

útil para la planificación, mantención, operación y evolución continua de la red. También ofrece la posibilidad de compartir los costos del monitoreo.

2. **Evaluaciones/auditorías permanentes de la red de monitoreo de la calidad del aire.** de manera regular (es decir, **al menos cada 5 años**). Se debe siempre responder preguntas tales como:
 - ¿Cumple la red de monitoreo los requisitos para el monitoreo de la calidad del aire de la zona?
 - ¿Cómo es la situación de la calidad del aire, la evolución de las tendencias de los niveles de contaminantes en el aire?
 - ¿Las acciones de prevención de la contaminación han tenido un impacto en los niveles de concentración? ¿Acciones planificadas/coordinadas para mejorar la calidad del aire?
 - ¿Siguen siendo necesarias todas las mediciones y estaciones de calidad del aire?
 - ¿Existen nuevas necesidades de mediciones?

3. **Centrarse en la calidad del monitoreo en lugar su cantidad.** Criterios de calidad y objetivos de calidad claros son importantes para mantener y asegurar un alto estándar de calidad de los datos y del programa de monitoreo. Es importante conocer la incertidumbre de los resultados del monitoreo, las causas principales de dichas incertidumbres y cómo manejarlas/minimizarlas. Es mejor tener menos estaciones de monitoreo de alta calidad que un mayor número de estaciones de baja calidad.

4. **Mejora en el proceso de validación de datos.** Se recomienda preparar instructivos (procedimientos de funcionamiento estándar) para la validación de datos (por ejemplo, control de corrimiento del nivel cero, y definir qué hacer con valores erróneos y sospechosos). La validación de los datos debe realizarse con expertos que estén familiarizados con los datos y con los niveles de concentración y las variaciones en el área de estudio).

5. **Priorizar y optimizar las actividades de monitoreo.** Se recomienda centrarse en las mediciones prioritarias (niveles de concentración de contaminantes en comparación con los valores límite y umbrales basados en la salud) **y reducir la cantidad de mediciones no prioritarias**, ya que de este modo se pueden optimizar los recursos para la operación de la red.

6. **El número de estaciones de calidad del aire actuales y algunas de las mediciones actuales pueden reducirse.** Si bien, la decisión final de reducir el número de estaciones y definir qué estaciones cerrar/reubicar corresponde a los expertos/autoridades/propietarios locales de las estaciones de monitoreo, a continuación se presentan las siguientes recomendaciones:
 - Aproximadamente de 7 a 11 estaciones fijas de calidad de aire serían suficientes en la zona, incluyendo la estación de background regional.
 - 2 a 3 estaciones en el área de Concón. Contaminantes que medir SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀, NO_x, H₂S, posiblemente también O₃ en una estación. Sin embargo, no es necesario medir todos los contaminantes en todas las estaciones.
 - El área de Concón tiene la mayoría de los residentes (aprox. 42.000) de la zona, por lo que se recomienda evaluar si una de las estaciones debería clasificarse como estación de tráfico donde se medirían PM₁₀ y NO_x. (La necesidad de una estación de tráfico depende de si hay una carretera muy

transitada en la ciudad y de si la gente está expuesta a las emisiones de dicho tráfico). 1 ó 2 estaciones pueden ser estaciones industriales suburbanas.

- 5 a 7 estaciones en el área de Quintero-Puchuncaví, donde una de las estaciones existentes puede ser nominada como **Super-Site** con mediciones de SO₂, PM_{2,5}, NO_x, PM₁₀, H₂S, O₃, CO opcional para una estación. La **Super-Site** podría tener el conjunto más amplio de contaminantes monitoreados y utilizarse como estación de prueba para los nuevos instrumentos, ejercicios de intercomparación comparación (por ejemplo, para mediciones de equivalencia para Material Particulado medido con filtro), campañas de medición de investigación (por ejemplo, especiación química para material particulado con monitor continuo), etc. Otras estaciones pueden tener menos parámetros, por ejemplo, los niveles de concentración de PM_{2,5} se encuentran en el mismo nivel en todas las estaciones existentes, por lo que no es necesario medirlos en todas las estaciones.
- Se recomienda el desarrollo de comparaciones periódicas de los resultados de los análisis gravimétricos con los resultados de los monitores continuos. Esto para ver la diferencia entre las dos metodologías.
- No es necesario controlar el CO de la zona, ya que los niveles de concentración de CO son muy bajos en todas las estaciones (parece que las concentraciones medidas están cerca del límite de detección del dispositivo) y muy por debajo del valor umbral más bajo para el CO. Por lo tanto, la supervisión del CO en la zona no es necesario.
- Es suficiente medir el ozono sólo en 2 a 4 estaciones, incluyendo la estación de background regional. No se recomienda medir el O₃ en la estación de tráfico ni demasiado cerca de las fuentes de emisión directas de precursores. Por lo tanto, la estación suburbana (posible super-site) y las estaciones de fondo regionales serían los mejores lugares para las mediciones de O₃. Debido a las bajas concentraciones de O₃ no es necesario medirlo en todas las estaciones.
- No es necesario analizar el metal (+ arsénico) en todas las estaciones. 2 a 4 estaciones en el área serían suficientes, la selección se puede hacer en base a los resultados del análisis de metales y los resultados de monitoreo de las actividades industriales que impactan principalmente en las concentraciones de metales.
- Es bueno evaluar permanentemente la representatividad de cada una de las estaciones de calidad del aire para apoyar la supervisión y auditoría de la red de calidad del aire.
- Algunas de las actuales estaciones de calidad del aire están próximas entre sí, como **Quintero-Centro Quintero, Loncura-Sur, Ventanas-La Greda**, por lo que sería importante considerar cuál de ellas será considerada como representativa. Es bueno notar que los datos de medición de la estación de Loncura en 2016-2018 presentan dudas ya que los niveles de concentración son mucho más bajos que en otras estaciones cercanas.

3.4.2 Completar la red actual de monitoreo de la calidad del aire con nuevos tipos de estaciones y sistemas de muestreo.

- Es importante **establecer 1 estación de Background Regional** (contaminantes a medir, PM_{2,5}, NO_x, O₃, posiblemente también algunos aniones y cationes), a una distancia de 10 a 50 km de las principales fuentes de la zona que presenta la calidad del aire de fondo regional.
- Se recomienda agregar mediciones de TRS en 1 a 5 estaciones que se **encuentran cerca de las zonas donde ha reportado problemas de olores**. Al obtener depuradores externos y hornos convertidores, es posible medir el TRS con el mismo analizador que para el SO₂. El H₂S también puede medirse por el mismo método e instrumentación, ajustando la temperatura del horno convertidor. Sin embargo, se recomienda medir el TRS (compuestos de azufre reducidos en total) ya que incluye el H₂S y también otros compuestos de azufre altamente olorosos.
- Añadir campañas de COV para el plan de supervisión. La campaña de supervisión del NILU se revisó y evaluó en el informe N°1. Las concentraciones de COV en esa campaña no eran elevadas (no se acercaban a los valores límite de la UE), por lo que no fue necesario realizar mediciones continuas de COV en la zona en base a dichas concentraciones. En la UE, todas las aglomeraciones cuya población supere los 100 000 habitantes deben demostrar mediante mediciones que las concentraciones de benceno en la zona no superan los 5 µg/m³. Si se supera el umbral inferior de 2 µg/m³ de concentración de benceno, deberán organizarse campañas de medición. Además, todos los estados miembros están obligados a medir los COV ligeros debido a su impacto en la formación de ozono. Basándose en el hecho de que el área de estudio está altamente industrializada y que existen posibles fuentes de COV, se recomienda realizar mediciones de COV al menos en un lugar durante un año natural en forma de mediciones continuas. Además de esta medición continua, allí se pueden realizar campañas de recogida de muestras alrededor de las instalaciones industriales para comparar en qué se diferencian de los resultados de dicha medición continua. La recomendación para el método de seguimiento de los COV se describió en el informe N°1.
- Tener en cuenta la necesidad una estación clasificada como tráfico (incluidas las mediciones de NO_x y PM₁₀, lo suficientemente cerca para la carretera). Actualmente la estación Quintero puede ser clasificada como un estación de tráfico.
- Seguir el desarrollo de la tecnología de sensores, probando activamente cómo se aplican otro tipo de metodologías de bajo costo como complemento a las estaciones de monitoreo convencionales de la red.
- Se recomienda el desarrollo de campañas adicionales de monitoreo e identificación de fuentes de material particulado y análisis de composición química del Material Particulado (aniones, cationes y metales, HAPs y Carbon Organico/Elemental). Lo anterior en 1 o 2 estaciones de monitoreo al menos durante año.

3.4.3 Propuesta para una red de calidad del aire optimizada en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví.

A continuación se presenta un plan de optimización para la actual red de la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví en base a los datos de monitoreo del periodo 2016-2018 y la recomendaciones entregadas en este reporte N°2. El plan se basa en la prácticas de la unión Euroea y en la información

disponible, de manera que es posible que algunos factores, tales como permisos ambientales de distantes industrias del área, pueden presnetar distiontos requerimineto de muestreo, y no han sido en esta plan. Así antes de modificar la red se recomienda que los cambios sean acordados localmente.

Tabla 6. Propuesta para la optimización de estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Quintero-Puchuncaví y Concón y los contaminantes medidos en cada estación.

| | Altitud (msnm) | SO ₂ | NO/NO ₂ -NO _x | O ₃ | CO | VOC/BTEX | PM _{2.5} | PM ₁₀ | TRS/H ₂ S ¹ |
|---|----------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|----|----------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| Quintero-Puchuncaví | | | | | | | | | |
| Puchuncavi <i>Suburbana industrial</i> | 35 | X | X | X | | | X | | |
| Ventanas² <i>Suburbana industrial</i> | Se suprime | | | | | | | | |
| La Greda <i>Suburbana industrial</i> | 3 | X | X | | | | | X | |
| Los Maitenes³ <i>Suburbana industrial</i> | 37 | X | | X | | VOC | X | | |
| Valle Alegre <i>Suburbana industrial</i> | 21 | X | | X | | | X | | |
| Loncura⁴ <i>Suburbana industrial</i> | 40 | X | | | | VOC | X | X | |
| Sur⁵ <i>Suburban Industrial</i> | Se suprime | | | | | | | | |
| Quintero <i>Suburbana tráfico (NO₂, PM₁₀) Suburbana industrial (SO₂)</i> | 61 | X | X | | | | | X | |
| Centro Quintero <i>Suburbana industrial potencial Super Site</i> | 28 | X | X | | | VOC/BTEX | X | X | X |
| Concón | | | | | | | | | |
| Colmo⁶ <i>Suburbana industrial</i> | Se suprime | | | | | | | | |
| Las Gaviotas <i>Suburbana industrial</i> | 73 | X | | | | VOC | X | | |
| Concón <i>Suburbana industrial</i> | 66 | X | X | | X | VOC/BTEX | X | X | X |
| Junta de Vecinos <i>Suburbana industrial</i> | 71 | X | X | | | VOC | | X | |
| Estación de background regional | | | | | | | | | |
| Estación "X"⁷ Background regional | | X | X | X | | | X | X | |

1) Los monitoareo de TRS/H₂S deben ser localizados en las áreas donde se ha reportado problemas de olores y/o donde haya industrias u otras actividades que pueden generar.

2) Se recomienda suprimir esta estación debido a la cercanía a la estación La Greda.

3) Existen árboles de altura en el alrededor, lo cual puede bloquear e flujo de viento y especialmente de PM₁₀ de pequeña minería (metales).

4) Se sospecha de la calidad de los datos en relación a SO₂, NO_x, O₃, durante 2016-2018, en base a que las concentracoines son más bajas que en el resto de las estaciones cercanas. Por tal razón, hay necesidad de prestar especial atención al control y aseguramiento de la calidad en esta estación.

5) No mucha gente se observa viviendo en la cercanías. La estación está muy cerca de la estación Loncura, con una estación para esa zona basta. Loncura parece tener mejor representatividad poblacional. Sin embargo, Loncura podría haber presentado algunos problemas en la calidad de los datos durante el 2016-2018.

6) Esta estación no es necesaria, dada que las concentraciones son bajas en comparación a otras estaciones. En la cercanía se observaron actividades de movimiento y trituración de tierra lo cual podría afectar el monitoreo de PM.

7) Localizada al menos 5 km alejada de centros poblacionales, grandes aglomeraciones y sitios industriales que puedan afectar las concentraciones background.

Se recomienda el desarrollo de ejercicios de intercomparación entre distintas organizaciones existente en Chile o en el ámbito internacional, para el muestreo y análisis gravimetría de Material Particulado y ejercicio de intercomparación de calibración para compuestos gaseosos. Lo anterior para mantener un mejor entendimiento de los procesos técnicos desarrollados.

3.4.4 Otras herramientas de supervisión para la evaluación de la calidad del aire

- Considerar la posibilidad de llevar a cabo un estudio de emisiones utilizando herramientas de análisis factorial (modelo PMF), para determinar la contribución al MP2.5 desde fuentes de emisiones como suelo, industrias, quema, aerosoles marinos, etc.).
- Familiarizarse con el uso de herramientas de modelación de dispersión; modelos de dispersión a escala local (por ejemplo, modelos gaussianos) y modelos regionales (por ejemplo, SILAM) que pueden utilizarse para pronosticar la calidad del aire y las emisiones transportadas a larga distancia (por ejemplo, incendios forestales y tormentas de arena).
- Sería importante contar también con la red de supervisión de la calidad del aire de fondo rural en Chile, que ofrezca información sobre la calidad del aire en las zonas más limpias de Chile.

3.4.5 Gestión de la calidad (QA & QC) del monitoreo de calidad del aire

En la UE, el control de la calidad del aire está regulado en gran medida por las directivas de la UE sobre calidad del aire. Las directivas fijan los valores límite y los valores de referencia vinculantes. También establecen los objetivos de calidad y los requisitos para el control de la calidad del aire en Europa. Las estaciones de monitoreo de calidad del aire que cumplen los criterios de las Directivas de Calidad del Aire para estaciones fijas se denominan estaciones de monitoreo del cumplimiento. Además de monitorear los valores límite, el monitoreo de la calidad del aire se realiza para cumplir con una variedad de necesidades locales, algo que fue una vez el punto de partida para la mayoría de las mediciones de calidad del aire. La calidad del aire se monitorea principalmente para asegurar una buena calidad del aire tanto para los residentes locales como para el medio ambiente en general. La calidad del aire también se mide, por ejemplo, para evaluar el impacto de las fuentes de emisión individuales, debido a las quejas de los residentes, y para cumplir con los requisitos de permisos ambientales o para evaluar la necesidad de un control continuo de la calidad del aire.

Las recomendaciones dadas en este informe se hacen con el objetivo de asegurar que haya una cantidad suficiente de datos de buena calidad y representativos de la calidad del aire en el área para tener un buen entendimiento sobre la calidad del aire y sus cambios en el área, con el fin de evaluar el impacto de los contaminantes del aire en la calidad del aire local, la salud de los residentes locales y el medio ambiente. Sin embargo, existen otros aspectos en el monitoreo de la calidad del aire que hay que tomar en consideración, tal como las relaciones públicas, las quejas de los residentes y el cumplimiento de los requisitos de los permisos ambientales, y estas recomendaciones pueden no satisfacer todas las diferentes necesidades de monitoreo en

esta área, por lo que estos aspectos deben ser considerados en detalle cuando se comience la optimización de la red actual.

La siguiente fase del proyecto tiene como objetivo aplicar algunos de los procesos prioritarios de aseguramiento y control de calidad (QA/QC, en sus siglas en inglés) en la práctica, ya que se organizarán auditorías de estaciones de monitoreo y ejercicios de calibración comparativa en relación con las redes de monitoreo de calidad del aire en las zonas industriales de Quintero-Puchuncaví y Concón. Antes de las calibraciones de auditoría y comparación, existe la posibilidad de mejorar los procesos de QA/QC de monitoreo de calidad del aire en base a las recomendaciones presentadas en este informe.

El aseguramiento de la calidad es una parte importante de la medición de contaminantes. Todas las redes de medición y estaciones de medición individuales deberán contar con un sistema de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) que incluya una descripción del mantenimiento regular para garantizar la precisión continua del equipo de medición. El procedimiento de aseguramiento y control de calidad también se aplicará a la recopilación de datos y la presentación de informes. Tal sistema de calidad puede, por ejemplo, estar diseñado de acuerdo con ISO / IEC 17025: 2017.

El propósito del aseguramiento de la calidad es garantizar la precisión de la medición o los resultados de la investigación. Los objetivos generales del aseguramiento de la calidad en las mediciones de calidad del aire son que:

- Los resultados de las mediciones son confiables y representan lo más cerca posible la calidad del aire del área bajo investigación
- Las mediciones son lo suficientemente precisas y repetibles para cumplir con los objetivos de medición
- Los resultados de las mediciones son trazables a los estándares de medición aceptados
- Los resultados de las mediciones son comparables a la escala (local, nacional o internacional)
- Los resultados de la medición son consistentes en el tiempo (horario de verano, hora normal, etc.)
- Las mediciones proporcionan una cobertura temporal suficiente y la distribución temporal de resultados más uniforme.

Para lograr estos objetivos, las actividades de aseguramiento de calidad deben abordar cada uno de los diversos componentes del proceso de medición, que son:

- Definir la áreas de medición y ubicaciones
- Selección de compuestos, métodos de medición y equipos a medir.
- Planificación detallada de mediciones.
- Realizar y mantener las mediciones
- Calibración de equipos y trazabilidad de estándares de medición.
- Recopilación, procesamiento y almacenamiento de datos de medición
- Documentación de actividades de medición
- Presentación e informe de resultados de medición.
- Calificación y capacitación del personal.

3.4.6 Sistema de gestión de calidad

De acuerdo con los requisitos de informes de calidad del aire de la UE, todas las redes de medición y estaciones de medición individuales deben tener un sistema de aseguramiento y control de calidad (AC/CC). La legislación no proporciona orientación para usar un estándar particular como modelo para el sistema, pero los estándares para los métodos de medición recomiendan que los organismos que realizan el aseguramiento de la calidad de las mediciones de calidad del aire estén acreditados u operen de acuerdo con los requisitos del estándar. Así, por ejemplo, un sistema de calidad puede modelarse sobre la base de la cual la persona que realiza las mediciones demuestra directamente que tiene un sistema de calidad y que es técnicamente competente y capaz de producir resultados técnicamente confiables. Además, al cumplir con esta norma, la organización demostrará el cumplimiento directo de EN ISO 9001. El uso de EN ISO 9001 es aplicable a todas las organizaciones, independientemente de su tamaño, tipo o función, pero la norma no establece requisitos de calidad actividades de aseguramiento y, por lo tanto, no es adecuado como modelo solo para un sistema de gestión de calidad.

- **Manual de Calidad:** El documento central del sistema de calidad es el Manual de calidad u operaciones, que describe el funcionamiento general de la red de medición en general. También describirá los principios generales del sistema de calidad y la estructura de la documentación. El contenido del manual de calidad puede seguir, por ejemplo, la tabla de contenido de la norma EN ISO / IEC 17025 o, de lo contrario, cubrir las áreas temáticas de la norma. El manual de calidad describe al menos las funciones y responsabilidades del gerente técnico y de calidad, y a menudo las funciones y responsabilidades del personal técnico y de otro tipo. El Manual de calidad describe el compromiso de la gerencia con el buen desempeño profesional y la calidad de la medición, la posición de la gerencia en el nivel del desempeño de la red de medición, el propósito del sistema de calidad, la familiaridad del personal y la aplicación de la documentación de calidad, y el compromiso de la gerencia del laboratorio con el estándar de calidad y continua mejora.
- **Documentación:** Además del manual de calidad, todos los métodos y procedimientos utilizados deberán documentarse con suficiente detalle en los documentos del Procedimiento Operativo Estándar (SOP) (instrucciones metodológicas y de trabajo). Los documentos deben mostrar su autor / autor/responsable, la fecha de publicación o revisión, la numeración de la página y el número de versión y mantener una lista actualizada. La red de medición también debe tener procedimientos para monitorear otros documentos, como regulaciones, estándares, manuales y software. Los procedimientos deben garantizar que exista una versión aprobada del documento, que se revise y, si es necesario, se actualice periódicamente y que los documentos obsoletos se eliminen de inmediato. Los documentos no válidos, como las versiones antiguas de los manuales de métodos, se documentan y conservan durante un período de tiempo específico. Se elaborará un plan escrito sobre la manera y el período de almacenamiento de los documentos. El archivo incluye todos los documentos escritos de aseguramiento de calidad, pautas y mediciones relevantes y otros resultados.
- **Auditorías y revisiones del sistema de gestión de calidad:** Las auditorías y revisiones de gestión son componentes esenciales del sistema de calidad. Las auditorías pueden ser evaluaciones internas de la red de medición o evaluaciones externas realizadas por otra parte. Las auditorías internas pueden ser realizadas, por ejemplo, por el encargado de calidad de su organización o por personal técnico capacitado que no esté directamente involucrado en la actividad auditada. Las auditorías externas incluyen, por ejemplo, actividades nacionales de evaluación comparativa en las que la organización de medición o su

organización de aseguramiento de calidad deben participar. La interconexión de redes de medición también es una forma efectiva de evaluar la efectividad de nuestros propios procedimientos y desarrollar operaciones. Además, las auditorías externas incluyen visitas de evaluación periódicas a sistemas de calidad acreditados por parte de un organismo nacional de acreditación. Las auditorías se llevan a cabo regularmente (a menudo una vez al año) de acuerdo con un programa. La auditoría puede centrarse, entre otras cosas, en un método particular, la trazabilidad de los métodos utilizados, el aseguramiento de la calidad de los resultados de la medición, el informe de resultados o el monitoreo de documentos. Una auditoría puede ser de forma libre o escrita en una plantilla de informe, y puede incluir temas o áreas de una lista de verificación predefinida elegida por el auditor.

La revisión del sistema de calidad (“revisión de la gerencia”) debe realizarse regularmente, generalmente una vez al año. En este caso, la administración de la red de medición revisa el sistema de calidad y las actividades de medición de la organización. La revisión garantizará la idoneidad y efectividad continuas de la operación e identificará cualquier cambio y mejora necesarios. La revisión también incluye por ejemplo, resultados de informes de gestión, aseguramiento de la calidad interna y comparaciones externas, hallazgos de auditorías, cambios en la fuerza laboral y el volumen, y la idoneidad de los recursos. Se pueden encontrar instrucciones más detalladas para auditorías y revisiones del sistema de calidad en EN ISO / IEC 17025.

- **Calificación del personal:** Las personas que llevan a cabo mediciones, muestreo, resultados de verificación y otras actividades relacionadas con la medición de la calidad del aire deben estar adecuadamente capacitadas o calificadas de otra manera y deben tener suficiente conocimiento de sus funciones. Se mantendrá un registro de la calificación técnica del personal, que se actualizará periódicamente e indicará la fecha en que se establece la calificación. Los nuevos empleados son sistemáticamente presentados a sus deberes y documentados. Se elaborará un plan de capacitación para el personal y se mantendrá un registro de la capacitación.
- **Desviaciones del sistema de calidad:** Ocasionalmente, hay situaciones en el proceso de medición en las que el sistema de calidad no se ha cumplido por alguna razón. Tales situaciones incluyen p. averías o resultados erróneos del equipo de medición, resultados anormales de pruebas comparativas o errores humanos. Todas las desviaciones del sistema de calidad son registradas y tratadas de manera sistemática y exhaustiva por personas relevantes, por ejemplo, personas responsables y / o supervisores. Se evalúa la importancia de la aparición de anomalías y se toman medidas correctivas de forma inmediata y sistemática. La desviación puede considerarse como un documento común o, de acuerdo con las instrucciones, puede registrarse en documentos separados, como un registro de medición, un informe de calibración, etc.

3.4.7 Especificaciones técnicas del sistema de gestión de calidad.

Para lograr la misma calidad y comparabilidad de los resultados de diferentes redes de medición a nivel nacional, todas las redes de medición deben tener al menos un sistema de calidad mínima, que también debe documentarse adecuadamente. Lo mismo se aplica a los consultores responsables del aseguramiento de la calidad en relación con la medición de redes de medición, es decir, calibración y mantenimiento de equipos. Los requisitos técnicos para un sistema de calidad se establecen a continuación y cubren los aspectos más importantes del proceso de medición.

- **Objetivos de calidad para los métodos de monitoreo:** Se deben establecer objetivos de calidad para los métodos de monitoreo de la calidad del aire. Los objetivos de calidad son: la incertidumbre máxima permitida, la cantidad mínima de material a medir y la cobertura temporal de las mediciones. El nivel de calidad de las mediciones de calidad del aire debe cumplir los objetivos de calidad para mediciones continuas o indicativas. Los objetivos de calidad establecidos deben documentarse.
- **Procedimientos para seleccionar el sitio de medición:** Todos los sitios de medición deben tener criterios de selección y colocación consistentes. Se debe hacer una descripción de la estación para cada sitio de medición.
- **Métodos de medición y su validación:** Los métodos de medición en la UE deberían ser métodos de referencia estandarizados. Además, se puede usar cualquier otro método (método equivalente) que dé resultados equivalentes al método de referencia. Los resultados obtenidos por dicho método deben corregirse, si es necesario, para obtener resultados equivalentes a los obtenidos por el método de referencia. Los instrumentos de medición también deben estar homologados.

Los instrumentos deben tener instrucciones escritas adecuadas, al menos el manual proporcionado por el fabricante.

Antes del inicio de una operación de medición, se validarán los nuevos métodos de medición. El grado de validación se determina según sea necesario, por ejemplo, para los métodos de referencia, es suficiente verificar el método y el equipo. Se documentan los resultados de la validación con conclusiones sobre la idoneidad del método para el uso previsto.

- **Realización y mantención de las mediciones:** La estación de medición se diseñará de tal manera que sus mediciones y muestreos se puedan llevar a cabo sin interrupción y que la calibración del equipo, el mantenimiento y los trabajos de reparación se puedan llevar a cabo sin dificultad. Es importante controlar la temperatura interna de la estación por medio de un equipo de calefacción/refrigeración adecuado si la respuesta de medición del analizador depende de la temperatura y no hay compensación de temperatura en el dispositivo. La temperatura debe estar dentro del rango requerido de la unidad y debe permanecer lo más estable posible. En general, el rango de temperatura de funcionamiento de los analizadores está entre 5°C y 35°C. Si la temperatura excede el rango de funcionamiento del dispositivo, se debe evaluar la usabilidad de los resultados de la medición. Es necesario controlar la temperatura interior de la estación de medición.

Debe ser posible ubicar el equipo de medición en interiores para que no interfieran eléctricamente entre sí. Los dispositivos que requieren una gran cantidad de corriente, como los muestreadores de alto volumen, deben conectarse a un circuito separado de los otros dispositivos de medición o a diferentes fusibles en el mismo circuito. El compartimento del equipo de medición (por ejemplo, la estación de medición) y el equipo de medición deben estar protegidos de tormentas eléctricas.

Las sondas (entradas de muestra) se colocan de modo que el muestreo se pueda realizar sin interferencia. El cabezal de la sonda debe protegerse de la lluvia. El muestreo se puede realizar en una sola sonda y línea de muestra o utilizando una sonda de flujo continuo, en cuyo caso se pueden conectar varias líneas de

muestra. Una sola línea de muestreo no debe ramificarse en varios analizadores diferentes. Las líneas de muestreo se organizarán en forma y dimensiones que permitan transferir la muestra de la manera más estacionaria y representativa posible. El material de las sondas y líneas de muestreo no influirá en la composición de la muestra. Los mejores materiales son politetrafluoroetileno (PTFE), perfluoroetileno-propileno (FEP), vidrio de borosilicato y acero inoxidable.

La ventilación del compartimiento del equipo debe estar dispuesta de manera que el flujo de aire de escape no interfiera con el muestreo, y la salida de ventilación debe ubicarse de tal manera que las impurezas en el aire de escape no puedan alcanzar las sondas de muestreo.

El muestreo, así como los colectores de muestras, los sensores meteorológicos y las soluciones de colocación del mástil, deben tener en cuenta el potencial de vandalismo.

Requisitos generales para la organización del muestreo:

- la concentración del compuesto a medir no debe cambiar significativamente ($> 2\%$) en el sistema de muestreo.
- el tiempo de demora del gas de muestra debe minimizarse (generalmente unos segundos) para minimizar el impacto del material de la línea de muestra en el gas de muestra
- el caudal de muestreo principal debe ser lo suficientemente alto como para minimizar el retraso de respuesta del analizador
- se debe minimizar la caída de presión en la línea de muestra que afecta negativamente a los analizadores
- las sustancias que interfieren en los analizadores deben eliminarse de la corriente de muestra (por ejemplo, filtro de partículas y varios secadores)
- El sistema de muestreo debe mantenerse regularmente.

En los Estándares de Metodología de Referencia CEN, que definen los métodos y principios para la medición de contaminantes del aire, así como los requisitos para el muestreo, la calibración y el aseguramiento de la calidad, se brinda una guía más detallada sobre los diversos métodos.

- **Recolección de datos de monitoreo:** Las mediciones de calidad del aire producen una gran cantidad de datos de medición que deben recopilarse, procesarse y almacenarse cuidadosamente. La recopilación de datos para mediciones continuas se realiza a través del programa de medición del sistema de adquisición de datos.

Los valores de medición proporcionados por el analizador continuo se transmiten a la unidad de adquisición de datos basada en la estación, ya sea mediante un dispositivo digital (puerto serie) con bus RS o mediante una señal analógica (voltaje o corriente) que los datos convierten en forma digital. Sistema de adquisición. Desde el sistema de adquisición de datos, los resultados de la medición se transfieren a una base de datos, por ejemplo, a través de un módem 3G o 4G. El sistema de datos almacena los valores producidos por el equipo de medición y calcula los promedios deseados a partir de ellos. Estas medidas no verificadas y los promedios calculados a partir de ellas se denominan resultados brutos. El programa de medición también registra información sobre la configuración, el estado y el mal funcionamiento del equipo de medición. La conexión remota se puede utilizar para cambiar la configuración del programa de medición y controlar las mediciones.

Además de los analizadores continuos, se pueden recolectar muestras en el campo para su análisis en el laboratorio. Estos incluyen, por ejemplo, colectores de filtro o colección de muestras de sedimentos. La información de recolección (incluidos los tiempos de inicio y finalización de la recolección de muestra, la cantidad de aire de muestra, las observaciones) se almacena electrónicamente en el formato deseado o manualmente en un formulario, desde donde se puede transferir a un sistema de información para su cálculo y procesamiento posterior.

Como parte del sistema de calidad, los métodos utilizados para recopilar los datos de medición deben documentarse adecuadamente y garantizar que las personas involucradas en la recopilación y el procesamiento de los resultados de medición, entiendan y sigan los Procedimientos operativos estándar (SOP) para el procesamiento de datos y estén familiarizados con los métodos y fórmulas de cálculo contenidos en ellos.

- **Trazabilidad de las calibraciones:** La calibración debe incluir un programa escrito que indique las calibraciones que se realizarán en cada dispositivo y su programación. El programa cubrirá todos los equipos necesarios para la calibración, tales como analizadores continuos, equipos de recolección y medidores de flujo.

El valor del estándar de medición utilizado para la calibración (por ejemplo, tubo de permeación, botella de gas, analizador / calibrador que actúa como estándar de transferencia, estándar de medición de flujo volumétrico) se remonta a una medición conocida. Tal estándar de medición puede ser un estándar de medición nacional o internacional, una sustancia de referencia o un método primario directamente determinado por una cantidad básica. El mantenimiento de la trazabilidad debe documentarse de tal manera que la trazabilidad de toda la cadena de trazabilidad pueda verificarse sobre la base de certificados de calibración y certificados para estándares de medición y equipos.

El equipo de calibración debe tener instrucciones escritas adecuadas, al menos el manual del fabricante. Todas las calibraciones y operaciones asociadas deben registrarse en el informe de calibración.

- **Equipos de medida y procedimientos de mantenimiento:** El equipo de medición debe seleccionarse en función de los criterios establecidos para la actividad de medición. El equipo también debe cumplir con los criterios de calidad requeridos por el sistema de calidad. Los dispositivos comprenden:
 - equipo de medición (automático, semiautomático, manual)
 - equipo de calibración y estándares de medición (primario y secundario)
 - medidores de flujo volumétrico, etc.
 - Equipo para recolectar, procesar y almacenar resultados de medición
 - equipos de medición y muestreo (muestreadores, líneas de muestreo, cabinas de medición, sistema de aire acondicionado, etc.)

Se mantiene un registro actualizado de hardware y software. El nuevo equipo se prueba y documenta antes de ser utilizado.

Deberá haber un plan escrito para el mantenimiento y servicio del equipo de medición, especificando los procedimientos de inspección y mantenimiento planeados para cada instrumento y el tiempo y el horario para

el mantenimiento en la estación de medición o laboratorio. El programa incluirá medidas de rutina tanto para analizadores continuos como para equipos de muestreo, tales como:

- pruebas funcionales
- Verificación del rendimiento del dispositivo especificado por el fabricante del dispositivo
- verificaciones de flujo
- mantenimiento de rutina
- medidas de aseguramiento de calidad (ver anexo 5.3).

Todos los trabajos de mantenimiento, inspección y mantenimiento del equipo de medición deben documentarse y documentarse. En las estaciones de medición, la documentación se hará en el informe de medición específico de la estación.

- **Corrección y validación de resultados de medición:** Los resultados de la medición deben corregirse y validarse de acuerdo con el protocolo. El proceso de corrección y validación deberá incluir, al menos, una revisión, corrección y validación de resultados basada en una metodología técnica. Las medidas de validación para los resultados de la medición deben documentarse en un grado suficiente para permitir la verificación y el seguimiento posteriores de los resultados.
- **Registro de resultados de medición:** Los resultados de la medición deben almacenarse y almacenarse en la base de datos de la organización que realiza las mediciones.
- **Informes y difusión de resultados:** En la UE, los datos de monitoreo de la calidad del aire deberían, como regla general, ser públicos y estar disponibles públicamente.
- **Comparación/Mediciones de referencia:** Participación en mediciones de comparación nacional e internacional y organización de campañas de comparación nacionales para organizaciones que realizan monitoreo de la calidad del aire. Los resultados se pueden usar para evaluar la precisión de los resultados de su propio sistema de medición. La organización que realiza las mediciones o la organización responsable de la certificación de calidad de sus mediciones participará en las mediciones de comparación nacional.

3.4.8 Objetivos del sistema de calidad

Las directivas de la UE establecen los objetivos de calidad de datos para los métodos de monitoreo de la calidad del aire. Los objetivos de calidad son:

- Incertidumbre permitida
- Cobertura temporal de mediciones
- Cantidad mínima de material de medición.

Los objetivos de calidad es proporcionar a los usuarios de los datos información sobre la fiabilidad (medición \pm incertidumbre de medición total) y cuán exhaustivos son los resultados de la medición. Los objetivos de calidad deben tenerse en cuenta en el diseño del monitoreo de la calidad del aire y documentarse.

Los objetivos de calidad para mediciones continuas se presentan en la Tabla 6. Las mediciones continuas son mediciones tomadas en estaciones fijas, ya sea continuamente o mediante muestreo aleatorio, que cumplen con los objetivos de calidad de la tabla. Para las estaciones móviles que se transfieren anualmente, debe tenerse en cuenta que si los resultados de la medición se han obtenido durante al menos el 85% de las horas del año, la estación puede considerarse como una estación fija.

Tabla 7. Objetivos de calidad para la incertidumbre permisible de mediciones continuas, la cobertura temporal de mediciones y la cobertura mínima de datos de medición (Directivas de Calidad del Aire de la UE)

| Mediciones continuas | SO ₂ , NO ₂ , NO _x , CO | PM ₁₀ , PM _{2,5} , Pb | Benceno | O ₃ | As, Cd, Ni | BaP |
|-------------------------------|---|--|-----------------------|-----------------------|---------------|------|
| Incerteza | 15 % | 25 % | 25 % | 15 % | 40 % | 50 % |
| Captura de datos Mínima | 90 % | 90 % | 90 % | 75–90 % ¹⁾ | 90 % | 90 % |
| Covertura de tiempo Mínima | 100 % | 100 % | 35–90 % ²⁾ | 100 % | 50 % | 33 % |

1) 90% en verano y 75% en invierno

2) 35% en estaciones urbanas y de tráfico y 90% en estaciones industriales

Los objetivos de calidad para las mediciones indicativas se muestran en la Tabla 7. Las mediciones indicativas son mediciones tomadas en estaciones fijas o móviles, generalmente de corta duración o basadas en muestreo. Los objetivos de calidad para las mediciones indicativas son menos estrictos que los de las mediciones continuas y pueden reemplazarse por un método que cumpla con los objetivos de calidad dados en la Tabla 6. (por ejemplo, recolectores pasivos cuando no hay información actualizada sobre la concentración de contaminantes es necesario monitorearlo, pero los datos de una semana o más son suficientes). Las mediciones indicativas también pueden ser de alta calidad, pero a corto plazo. Un ejemplo de esto es la medición en estaciones de medición fijas mediante el método de referencia, pero la cantidad mínima de datos no es suficiente para alcanzar el nivel requerido para la medición continua. Las mediciones indicativas pueden usarse como un método de evaluación de la calidad del aire complementario, especialmente en áreas donde las concentraciones están por debajo de los umbrales de evaluación de la calidad del aire.

Tabla 8. Objetivos de calidad para la incertidumbre de las mediciones indicativas, la captura mínima de datos de las mediciones y la cobertura de tiempo mínimo de los datos de medición (Directivas de Calidad del Aire)

| Mediciones indicativas¹⁾ | SO ₂ , NO ₂ , NO _x , CO | PM ₁₀ , PM _{2,5} , Pb | Benceno | O ₃ | As, Cd, Ni | BaP ¹⁾ | deposición |
|--|---|--|---------|----------------|------------|-------------------|------------|
| Incerteza | 25 % | 50 % | 30 % | 30 % | 40 % | 50 % | 70 % |
| Captura de datos | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % |

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|------|
| Mínima | | | | | | | |
| Cobertura de tiempo Mínima | 14 % ²⁾ | 14 % ²⁾ | 14 % ²⁾ | >10 % | 14 % ³⁾ | 14 % ³⁾ | 33 % |
| | verano | | | | | | |

1) Los mismos objetivos de calidad se aplican a los HAP distintos del benzo (a) pirena y el mercurio gaseoso.

2) Muestreo aleatorio un día a la semana distribuido uniformemente a lo largo del año u ocho semanas distribuidas uniformemente a lo largo del año.

3) El muestreo debe distribuirse uniformemente durante todo el año y en diferentes días de la semana.

La incertidumbre total (nivel de confianza del 95%) de las mediciones de la calidad del aire se evalúa mediante los principios de la Guía CEN para la ISO 5725:1994 (Precisión (Precisión y Precisión) de los Métodos y Resultados de Medición, partes 1-6) de acuerdo con el método y la orientación dados en el informe cEN "Calidad del aire - Enfoque a la estimación de la incertidumbre para los métodos de medición de la referencia del aire ambiente" (CR 14377: 2002).

Los requisitos para la cantidad mínima de datos de medición y la cobertura de tiempo de las mediciones no incluyen la pérdida de datos debido a la calibración regular o el mantenimiento rutinario del equipo. La cobertura de tiempo se refiere a la proporción del año calendario en el que se planifican las mediciones de $N_{planned} / N_{year}$. Por ejemplo, cada 3 días los colectores de metal para filtros de partículas representan una cobertura de tiempo del 33%. Para mediciones continuas, el requisito de calidad para la cobertura de tiempo es generalmente del 100%. Captura mínima de datos se refiere a la parte de la cobertura de tiempo para la cual los datos de medición están disponibles (cobertura N_{valid} / N_{time}). El objetivo mínimo de calidad del material es del 90% menos el tiempo estimado del 5% requerido para el mantenimiento y la calibración, lo que resulta en una cobertura mínima real del 85%. Con mediciones continuas significa 310 días al año.

3.4.9 Calibración, trazabilidad y mantenimiento de las mediciones

- **Visión general:** La calibración es uno de los factores más importantes en el aseguramiento de la calidad. Su propósito es fijar la respuesta de la señal proporcionada por el dispositivo de medición a un valor conocido del estándar de medición. En la práctica, las mediciones de concentración se adjuntan mediante la calibración de la norma nacional y, por lo tanto, al volumen de la sustancia. Al calibrar analizadores sin contaminantes gaseosos, se utilizará una norma de gas certificada. Para las mediciones de partículas, donde la separación o recolección de partículas se basa en la cantidad de flujo de muestra, el flujo de la muestra se calibra con un estándar de flujo. Del mismo modo, la báscula utilizada para el pesaje en el colector de filtros está calibrada con masas trazables a la masa. Los sensores de temperatura y presión en los instrumentos de medición o necesarios para el cálculo de los resultados de la medición también se calibrarán con normas de medición trazables.

La frecuencia de calibración estará determinada por el sistema de calidad y, por regla general, no será superior a tres meses para las mediciones de gas. El equipo se calibra antes del mantenimiento, si es posible, pero siempre después del mantenimiento, y en relación con los procedimientos de aseguramiento de calidad específicamente mencionados en el sistema de calidad. Además de las calibraciones, el equipo está sujeto a diversas medidas de control de calidad, como repetitibilidad, comprobaciones de cero y de intervalo, prueba de linealidad, pruebas de eficiencia del convertidor NO-NOx, pruebas de sonda de

muestra y mantenimiento regular necesario. Todas las calibraciones y operaciones asociadas se registrarán en el informe de calibración.

La calibración, verificación y otros aseguramientos de calidad de los analizadores de compuestos gaseosos en la UE se realizarán de acuerdo con los criterios de las normas EN (EN 14211: 2012, EN 14212: 2012, EN 14625: 2012, EN 14626: 2012).

- **Medidas de comparación de métodos:** En la práctica, el sistema de aseguramiento de calidad se demostrará participando en pruebas comparativas, en las que los laboratorios participantes analizarán la misma muestra e informarán del resultado. Las mediciones comparativas obtienen la funcionalidad y precisión de los sistemas de control de calidad de laboratorio. Sin embargo, en las mediciones comparativas, los medidores determinan los valores de las sustancias o muestras de referencia por los métodos que utilizan en sus actividades rutinarias, al tiempo que se esfuerzan por obtener la mejor calidad posible.

Las mediciones comparativas se pueden utilizar para verificar la precisión de los resultados de su laboratorio con respecto a una referencia con trazabilidad al método primario o a la unidad en sistema internacional (SI). También se pueden organizar mediciones comparativas para que los resultados se comparen únicamente entre los resultados de los laboratorios participantes, pero en este caso no se puede comparar la precisión de los resultados.

El primero será llevado a cabo por institutos metrológicos o laboratorios de alta calidad metereológica. El valor de la muestra de referencia se conoce y la incertidumbre que se le da representa la cadena de trazabilidad de la muestra hasta la unidad. La participación en la evaluación comparativa da al laboratorio la oportunidad de comprobar si hay fuentes sistemáticas de error y evaluar su propio presupuesto de incertidumbre del sistema. Estas mediciones comparativas se suelen proporcionar a la metereología nacional o a los laboratorios de referencia.

La mayoría de las mediciones comparativas se organizan de tal manera que el valor de la muestra de control no se conoce con precisión, pero su valor se determina como un parámetro de los resultados obtenidos por los laboratorios participantes (por ejemplo, mediana o llamada media robusta) o no reportado en absoluto. Estrictamente hablando, el benchmarking no proporciona una imagen de la precisión de los resultados de laboratorio, pero los resultados son muy comparables entre los laboratorios participantes. A menudo, los resultados indican a los laboratorios la necesidad de tomar medidas correctivas y el propósito.

Las mediciones comparativas se pueden realizar circulando la muestra o ensamblando a los participantes en una sola sesión de prueba. Las mediciones comparativas pueden comprender un único valor de referencia o varios valores de referencia. Este último caso se recomienda porque el método de calibración de laboratorio también pasa a formar parte de la comparación.

La organización de las mediciones de referencia en la UE es responsabilidad de los laboratorios nacionales de referencia. El laboratorio de referencia participará en las pruebas comparativas organizadas por la Comisión al menos cada tres años, con resultados aceptables. A nivel nacional, el laboratorio de referencia revisará los sistemas de calidad de las redes de medición según sea necesario y al menos cada cinco años.

Además, se recomienda la acreditación para laboratorios de referencia que realizan mediciones comparativas nacionales.

3.4.10 Procesamiento de datos de monitoreo

Antes de notificar los resultados, los resultados de la medición se corrigen, si es necesario, sobre la base de los datos de calibración y se realiza una validación de los resultados de la medición, es decir, un procedimiento de aceptación. La validación determinará si se cumplen los requisitos de calidad para el uso de los resultados de la medición para los resultados de medición individuales. Las mediciones de dudosa calidad se evaluarán de acuerdo con las instrucciones registradas en el sistema de calidad. Después de la evaluación, el valor medido se marca como válido (aceptado) o no válido (rechazado). La validación de los promedios por hora suele ser suficiente para mediciones continuas, ya que la hora suele ser el menor tiempo de notificación para la supervisión de la calidad del aire. El personal que realiza la validación debe tener un buen conocimiento de las propiedades del equipo de medición y el comportamiento de las anomalías observadas.

El programa de mantenimiento y calibración de la medición debe diseñarse de modo que los ajustes del instrumento permanezcan dentro de los objetivos de calidad del intervalo de calibración. Si se corrigen valores para ganancia o deriva cero, se documentarán las correcciones y su justificación. Las directrices de procedimiento deben especificar en qué situaciones se puede realizar una corrección y dónde deben rechazarse por completo los resultados.

Las razones de los valores medidos anormalmente deben comprobarse lo antes posible después del evento. Los valores de medición excepcionales pueden incluir, por ejemplo, el funcionamiento del analizador (flujo, temperatura), las perturbaciones externas y las condiciones climáticas y de emisión excepcionales. Al validar los valores medidos, los valores deben compararse con los resultados de otras estaciones de medición y componentes de medición. El sistema de adquisición de datos suele registrar información sobre la calidad del resultado ya durante la medición, por ejemplo, marcando diferentes extensiones, calibraciones, mantenimiento y mal funcionamiento del equipo. Se debe comprobar la codificación de calidad realizada por el sistema de recopilación de datos.

La base para la validación de valores de medición individuales se puede almacenar, por ejemplo, en código adjunto al resultado o en una base de información independiente. Los valores medidos rechazados durante la validación también se deben conservar. La documentación permitirá distinguir entre mantenimiento y calibraciones de conformidad con el plan de calibración y mantenimiento.

Los valores medidos mayores o iguales que el límite de detección negativa (–El límite de detección, es decir, el valor del límite de detección es negativo) deben aceptarse y utilizarse como tales en el procesamiento y los cálculos posteriores. Los valores menores que el límite de detección negativo se descartan. Sólo en los casos en que los resultados por debajo del límite de detección no están disponibles, los valores pueden reemplazarse por la mitad del límite de detección. Estos casos normalmente se aplican a los análisis de laboratorio donde el valor por debajo del límite de detección debe ser reemplazado por la mitad del límite de detección. Si el límite de detección del método se ha determinado más de una vez durante el año de notificación, por ejemplo, durante las calibraciones, se puede notificar el valor máximo del límite de detección.

Los resultados de las mediciones originales, así como la información sobre las medidas adoptadas y la base sobre la que se adoptaron se conservarán de manera que el procedimiento de corrección y validación de los resultados en bruto pueda revisarse y repetirse según sea necesario. Deberá registrarse la información sobre quién llevó a cabo las medidas, quién las autorizó y cuándo se adoptaron. También se deben registrar los ajustes del sistema de medición y los factores de conversión, así como los datos de calibración y mantenimiento.

Además de los resultados originales, se registran los resultados corregidos (calibración, corrección de temperatura y presión y conversión de la unidad de concentración) y los resultados validados. Los promedios de tiempo y otros valores estadísticos calculados a partir de resultados validados, como los valores de concentración proporcionales a los valores de referencia y límite, también se almacenan según sea necesario.

Debe haber una descripción escrita del procedimiento de corrección y validación de los resultados de la medición y las instrucciones en el sistema de calidad.

3.4.11 Guías prácticas para validación de datos

Los sets de datos de monitoreo de la calidad del aire deben ser verificados todos los días por el operador, idealmente alguien que este familiarizado con los datos de monitoreo de la zona. La verificación significa que, por ejemplo, dos veces al día se realiza un examen continuo de datos de AQ (Aseguramiento de Calidad) de la figura adjunta, donde las líneas por hora, respondiéndose las siguientes preguntas:

- ¿Están bien todas las concentraciones de contaminantes?
- ¿Es consistente con los datos meteorológicos medidos?
- ¿Faltan datos?
- ¿Se ven bien todos los conjuntos de datos en comparación con los valores y niveles de concentración históricos anteriores (últimas horas, días, semanas, meses)
- ¿Los datos son consistentes en comparación con los datos de otras estaciones de calidad del aire en la misma área?
- ¿Se observa información sospechosa? (concentraciones demasiado bajas, demasiado altas)
- Establecer posibles razones de las anomalías detectadas
 - El deslizamiento del nivel cero o la amplificación del analizador se notará solo a partir de gráficos de series a largo plazo.
- Revisión continua de las verificaciones de cero y span
 - Informar a los operadores de campo de cualquier mal funcionamiento del equipo o problema que requiera atención
- ¿Verifica la temperatura dentro de la estación de monitoreo?

Posibles razones para datos sospechosos o cualquier anomalía en los sets de datos como mal funcionamiento del equipo, error humano, fallas en el suministro eléctrico y otras perturbaciones pueden

generar datos incorrectos, que deben filtrarse. Los datos de AQ (Aseguramiento de Calidad) se corrigen (validan) de acuerdo con las calibraciones, las correcciones de datos deben realizarse lo antes posible después de la calibración.

Los datos sin procesar siempre se mantienen sin cambios, y los informes/libros de registro de las ediciones realizadas en los datos sin procesar se guardan. Para la validación de datos, se requiere personal calificado y experimentado y suficientes recursos de tiempo para el proceso de validación.

a) Chequeo de peaks de datos o datos cuestionables

Es posible que algunos valores máximos de datos excepcionalmente sean incorrectos, los cuales deben investigarse antes de decidir eliminarlos. La investigación incluye la recopilación de información de antecedentes:

- Desde la industria localizada cerca del lugar de monitoreo, si es que ha habido alguna liberación accidental de problemas de proceso al mismo tiempo?
- Efectos de la meteorología (por ejemplo, ¿dirección del viento, inversiones?)
- Efecto de fallas de energía
- Niveles de otros contaminantes (por ejemplo, O₃ vs NO_x)
- Hora del día / año
- Observaciones de otros sitios (comparación visual con datos de Calidad del aire de otras estaciones de medición con respecto al mismo contaminante)
- Todos los valores negativos de contaminantes son cuestionables a menos que sean el resultado de una variación aceptable en el nivel cero.
- Es necesario tener buenos motivos para la eliminación de datos
- Nunca tocar los datos sin procesar, las eliminaciones deben realizarse en bases de datos o tablas editables
- Mantenga el diario alejado de las mudanzas y sus razones.

b) Correcciones de calibración AQ

La calibración adecuada de los monitores automáticos es esencial para obtener datos AQ precisos. Para cada calibración se calcula un factor de corrección (CF) y corrección de cero (ZC):

Fórmula de corrección:

Valor corregido = CF (valor no corregido-ZC)

Tanto CF como ZC cambian linealmente

Desde la calibración "inicial" hasta la calibración "final"

La traza de calibración se transfiere del estándar primario (es decir, en el laboratorio de referencia) calibrando el calibrador / analizador de laboratorio con el estándar primario. El calibrador de campo se calibra contra el calibrador / analizador de laboratorio. Y la trazabilidad al estándar primario se completa al calibrar los analizadores en la estación de monitoreo AQ por el calibrador archivado, ver figura adjunta.

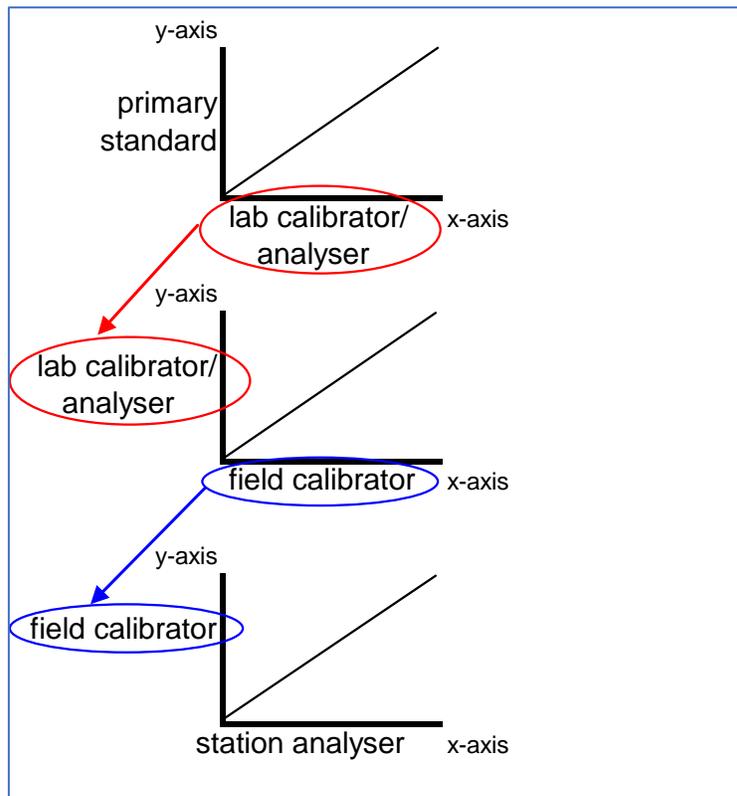


Figura. 16 Cadena de trazabilidad desde el estándar primario hasta el analizador de estación.

La razón de las disminuciones de las concentraciones o el crecimiento de la linealidad es que el nivel cero o la amplificación del analizador se han deslizado.

→ Calibración del analizador (y ajuste si es necesario)

y

→ Corrección de los datos al revés después

c) Validación diaria

Hay muchas herramientas diferentes disponibles para la validación diaria de los datos de monitoreo de la calidad del aire:

Acciones de control

- Alarmas por correo electrónico (es posible crear un sistema de alarma por correo electrónico para informar al operador si faltan datos o si los datos están fuera de los rangos definidos (valores mínimo y máximo).
- Páginas web (es bueno tener una herramienta basada en páginas web para ver los gráficos de concentración y poder compararlos con otros resultados de monitoreo de AQ en la misma área.
- En Finlandia por ejemplo se tiene el sistema Envista Arm (sistema de adquisición de datos de monitoreo AQ).
- Conexión VNC a la computadora de la estación de monitoreo
- Sistema de ping para verificar si la conexión al sistema informático de la estación y al módem está bien.
- Contacto local. Si la estación se ubica en un área remota o lejos del operador, es útil tener algún punto de contacto local cerca de la estación que pueda ir y verificar la estación cuando sea necesario. Esta persona no necesita tener capacitación o experiencia en el monitoreo de la calidad del aire, es suficiente para poder evaluar si la estación tiene electricidad, quién puede ajustar el aire acondicionado si es necesario, etc.
- Mensajes de falla del operador de tele. En caso de que la transmisión de datos desde la estación de monitoreo se realice mediante redes móviles (GPRS, 3G, 4G, etc.), es útil si el operador móvil proporciona información de forma automática sobre posibles problemas técnicos en las redes móviles, lo que podría ser una razón si no hay datos fluya desde la estación de monitoreo AQ a la base de datos AQ.
- SOP y otras listas de verificación (Sistema de Calidad).
- Todas las estaciones en línea, por ejemplo, Datos en páginas web y en sistema Envista en el caso de Finlandia.
- Verificación de completitud de datos horarios.
- Control de los niveles de concentración ¿ok o no?
- ¿Aceptamos nivel cero? No hay demasiados valores negativos en los datos.
- Comprobaciones de cero y span ¿ok?
- ¿Funciona la estación meteorológica?
- ¿Son aceptables las condiciones ambientales en la cabina?
- ¿Alguna alarma? Los mensajes de correo electrónico se envían al operador solo cuando las concentraciones son altas.
- Si hay valores extraños, verifique los datos de minutos también para investigar las razones.

Contenido del procedimiento operativo estándar de FMI para la gestión de datos de AQ

- Descripción general del sistema de gestión de datos
- Diagrama de flujo
- Breve descripción del flujo de datos.
- Tipos de información en el banco de datos
- Interfaces de usuario
- Responsabilidades
- Validaciones diarias y errores comunes.

i) Rutinas matutinas

ii) Errores comunes

- a) Los datos no fluyen a la base de datos FMI desde cierta estación
- b) Los datos no fluyen después del sondeo manual
- c) Sin conexión VNC
- d) No hay datos después del reinicio del módem
- e) La conexión del módem no funciona
- f) Los datos no fluyen a la base de datos FMI desde ninguna estación
- g) Los datos están en la base de datos FMI pero no se muestran en las páginas web
- h) Errores en los datos

3.4.12 Validación anual - cada 3 meses

a) Rutinas de calibración en FMI

- **Calibración Manual:** la mayoría de las veces se realizan calibraciones de puntos múltiples en todas las estaciones cada 3 meses (4 veces al año). FMI tiene una unidad de calibración portátil que se utiliza para calibrar los analizadores en las estaciones de monitoreo AQ. El calibrador portátil se compara con la referencia dos veces al año (o después de cualquier razón para suponer que es necesario). El calibrador portátil debe tener un informe de calibración válido. La calibración manual está documentada en el informe de calibración de la estación. Después de una calibración exitosa en las estaciones, el operador valida los datos de la calibración anterior a la fecha de calibración reciente. Los factores de corrección se calculan en función de dos informes de calibración: el informe de calibración de la estación y el informe de la unidad de calibración portátil.

b) Factores de corrección para datos sin procesar - ciclo de calibración

Durante cada visita a las estaciones más lejanas (una vez cada 3 meses) finaliza y comienza la calibración. Las estaciones se visitan entre las calibraciones solo en caso de mal funcionamiento técnico de los analizadores.

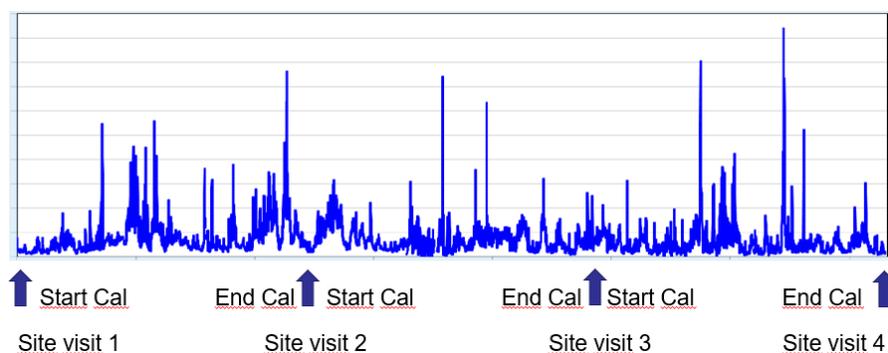


Figura N°17. Calendario de inicio y finalización de la calibración en cada 3 meses por FMI

- **Calcular factores de corrección**

- i. Informes de calibración (final e inicio)

- Concentración cero min 20 minutos
 - 3 a 5 concentraciones de alcance cada 20 minutos

- ii. Cálculo de factores de corrección de calibración en Excel

- Elija datos crudos por minuto de la base de datos (sistema Envista en el caso de Finlandia) que cubre el día de calibración
 - Marcar el índice en cada paso de concentración y calcular promedios

- iii. Revisión de datos sin procesar y datos corregidos en el archivo Excel de corrección

- iv. Actualización de la base de datos (Sistema Envista en el caso de Finlandia) con nuevos factores de corrección

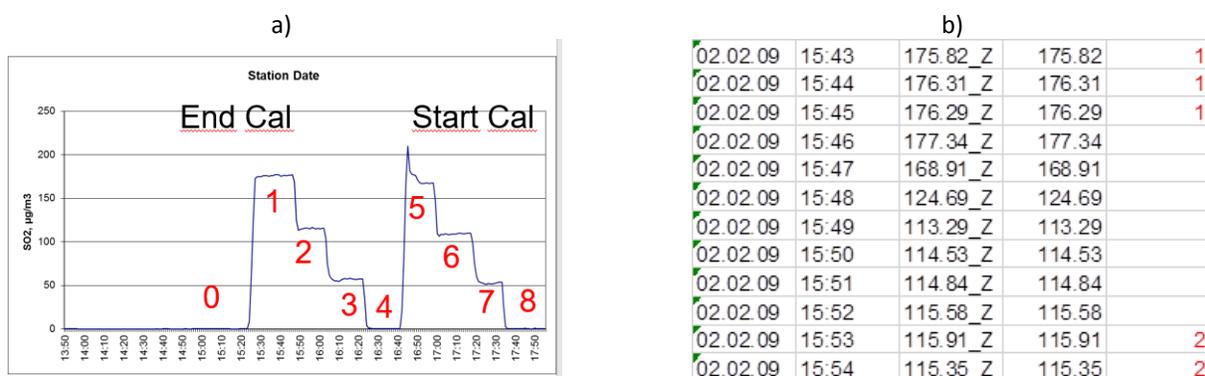


Figura 18: Ejemplo del inicio y final de una calibración multipunto

3.5 Elaborar una estimación presupuestaria de la implementación del programa de rediseño y un análisis de los requerimientos de monitoreo que se encuentren dispuestos en las Resoluciones de Calificación Ambiental

De acuerdo a las consideraciones y recomendaciones realizadas en este estudio por el expertos del FMI, a continuación, se presenta una estimación presupuestaria asociada a la implementación de estaciones de monitoreo, equipamiento, costos de instalación, operación y mantenimiento e implementación de actividades de aseguramiento y control de calidad sugeridos.

La estimación de costos se ha realizado a través de información levantada a través de cotizaciones solicitadas a proveedores de equipamiento y servicios ambientales, y a partir de las referenciados asociadas a los procesos de adquisición públicos 2018 y 2019 realizados por el Ministerio de Medio

Ambiente, cuyos antecedentes son de carácter público y se pueden consultar en el portal <https://www.mercadopublico.cl/Home>.

a) Redes de calidad del aire en Europa

En la mayoría de los países europeos, las normas, requisitos, prácticas recomendadas y directrices técnicas para la calidad del aire se definen a nivel nacional. Se consulta a expertos científicos durante la preparación de los textos de las regulaciones, donde normalmente, las consultas se desarrollan a través de un comité de expertos. El marco local (regiones o ayuntamientos) que proporciona la mayoría de los datos de control del aire es incorporado antes de realizar cualquier cambio en la regulación.

La organización del control de la calidad del aire está vinculada a la estructura administrativa y a la política de cada país europeo. Cuando el control de calidad del aire se realiza y dirige a nivel regional, hay una única estructura de control para cada región. En Francia, España y Alemania, el marco nacional suministra normas, reglas, prácticas recomendadas y asesoría técnica pero no hay acciones a nivel regional. En Finlandia, la red nacional cubre las estaciones de fondo rurales, pero también trabaja estrechamente con las redes regionales (municipios). En Finlandia, la estructura de monitoreo y los procedimientos de control de calidad son los mismos en todas las regiones.

El Reino Unido, Austria y Suiza tienen dos niveles de monitoreo: una red nacional y regional, y redes locales. En Austria y Suiza, la red nacional es pequeña y se utiliza principalmente para monitorizar la contaminación de base a largo plazo y seguir las tendencias en todo el país. A diferencia de las distintas organizaciones de las redes nacionales, en la mayoría de los países europeos los informes remitidos a la Comisión Europea son de responsabilidad del nivel nacional o federal.

En relación con la dimensión y estructura de la red, el número de estaciones de muestreo es mayor, o mucho mayor al mínimo requerido por la Comisión Europea. En muchos estados miembro, el mínimo legal no se considera suficiente para cubrir la necesidad de información. Algunos países han elegido tener dos redes complementarias: una red nacional permanente garantizada y redes locales. La mayoría de los estados miembros no tienen una clasificación especial para el tipo de estaciones, utilizan únicamente o parcialmente, lo establecido en el documento de técnico denominado "Eol" asociado a la UE 97/101/EC. Este documento (ver anexo) describe los procedimientos para la distribución de la información de monitoreo de calidad del aire y parámetros meteorológicos entre los Estados miembro a la Comisión y al público.

El Instituto Meteorológico Finlandés (FMI) es la autoridad experta oficial para la calidad del aire en Finlandia. El FMI es un instituto gubernamental, que produce datos de observación de alta calidad y resultados de investigación acerca de la atmósfera y los océanos. El FMI está reconocido como institución experta medioambiental (dentro del Ministerio de Transporte y Comunicaciones) en calidad del aire

según la legislación medioambiental nacional. Por lo tanto, es responsable de compilar la experiencia, el conocimiento especializado y las directrices de calidad del aire requeridas por las autoridades nacionales e internacionales y por lo tanto, de suministrar los datos, resultados, métodos y evaluaciones para los distintos ministerios y agencias gubernamentales. Por lo tanto, el FMI es responsable de realizar varias evaluaciones y estudios requeridos por la legislación de la Unión Europea, como las directivas de calidad del aire de la UE. El FMI ha sido nombrado Laboratorio de referencia nacional (NRL) según la Directiva de calidad del aire, AQD, (2008/50/EC). El FMI es además el Instituto designado (ID) para meteorología en análisis de gas en Finlandia.

En Finlandia, hay alrededor de 30 redes regionales de control de calidad del aire. Según una encuesta realizada en 2015, los costos de operación varían entre 8.500 a 180.000 € por red, en función del tamaño de la red. El costo promedio fue de 66.000 € por red y costos operativos promedios por sitio fueron de 21.000 €. El presupuesto del Instituto Meteorológico Finlandés proviene de asignaciones del presupuesto del estado para las actividades principales y los ingresos de servicios comerciales y operaciones cofinanciadas. Las asignaciones del presupuesto del estado cubren el 63 por ciento de los gastos del instituto.

b) Estimación de costos rediseño de red de monitoreo

A partir de la propuesta conceptual desarrollada por el FMI, para el número de estaciones y parámetros de monitoreo sugeridos, se presenta una estimación de costos de equipamiento, infraestructura, operación e implementación de un sistema de aseguramiento y control de calidad.

Tabla 9. Resumen de estación de la red propuesta

| N° | Zona | Clasificación | Estación |
|----|----------------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1 | Quintero-Puchuncaví | Suburbana - Industrial | La Greda |
| 2 | | Suburbana - Industrial | Loncura |
| 3 | | Suburbana - Industrial | Los Maitenes |
| 4 | | Suburbana - Industrial | Puchuncaví |
| 5 | | Suburbana - Industrial/Tráfico | Quintero |
| 6 | | Super-Site | Quintero Centro |
| 7 | | Suburbana - Industrial | Valle Alegre |
| 8 | Concon | Suburbana - Industrial | Las Gaviotas |
| 9 | | Suburbana - Industrial | Concón |
| 10 | | Suburbana - Industrial | Junta de Vecinos |
| 11 | Por definir | Background regional | Por definir |
| 12 | Torre Meteorológica (40 m) | Meteorología | Torre Met Principal |

A estas estaciones de monitoreo se les ha sugerido los siguientes parámetros de muestreo:

Tabla 10. Parámetros de monitoreo para las estaciones de la red propuesta

| Red Propuesta | SO ₂ | NO-NO ₂ -NO _x | O ₃ | CO | COV -BTEX | MP _{2,5} | MP ₁₀ | MP _{2,5} | MP ₁₀ | TRS/H ₂ S | Meteorología |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|------|-----------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------------|--------------|
| Quintero-Puchuncaví | | | | | | | | | | | |
| La Greda | cont | cont | | | | | | | cont | | cont |
| Loncura | cont | | | | COV | grav | grav | | | cont | cont |
| Los Maitenes | cont | | cont | | COV | | | cont | | | cont |
| Puchuncaví | cont | cont | cont | | | | | cont | | | cont |
| Quintero | cont | cont | | | | | | cont | | cont | cont |
| Quintero Centro | cont | cont | | | COV/BTEX | grav | grav | cont | cont | cont | cont |
| Valle Alegre | cont | | cont | | | | | cont | | | cont |
| Concón | | | | | | | | | | | |
| Las Gaviotas | cont | | | | COV | | | cont | | | cont |
| Concón | cont | cont | | cont | COV/BTEX | | | cont | cont | cont | cont |
| Junta de Vecinos | cont | cont | | | COV | grav | grav | | | | cont |
| Background Regional | | | | | | | | | | | |
| Estación BG-R | cont | cont | cont | | | | | cont | | | cont |

Cont=continuo; Grav=gravimétrico; COV= En este caso (benzo-a-pirenos);BTEX= benceno, tolueno, etilbenceno y xileno; TRS/H₂S=

En el caso del monitoreo discreto se contempla el análisis composición del Material Particulado. A lo anterior se debe agregar el análisis:

- Carbono Elemental y Carbono Orgánico.
- Especies inorgánicas (sulfatos, nitratos, amonio y metales).
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (por ejemplo benzo-a-pireno)

Los costos de la actualización de la red pueden definir a partir del esquema general de la figura adjunta:

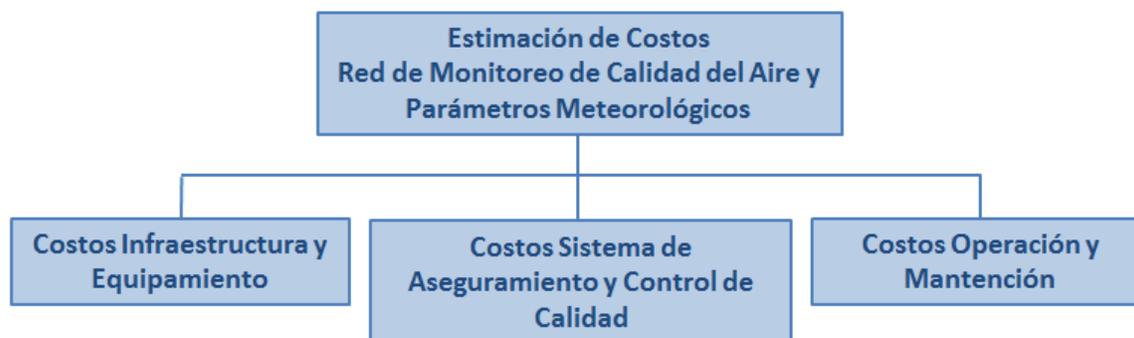


Figura 19 Esquema para la estimación de costos del modelo conceptual de red de calidad del aire

- **Estimación presupuestaria: Escenario propuesto**

De acuerdo a los valores de referencia, el costo actual anual solo de operación y mantención de la red es del orden de USD 1.300.000.- (USD ~ \$750). Una inversión en equipamiento en la red actual (analizadores, infraestructura, equipos complementarios y obras menores) sería del orden de USD 2.300.000.-

En el rediseño se han considerado los costos fijos que corresponden a la inversión inicial de equipamiento lo que implica adquisición de todos los analizadores e insumos y el costo de los equipos complementarios (Datalogger-ESC/router-GPRS/Software), para su operación, además se incluyen los costos de la instalación de las estaciones (Caseta/Rack/UPS/Aire-Acondicionados/toma-muestras/radier/cercos/empalme-eléctrico, etc) y acondicionamiento de la infraestructura para su puesta marcha.

Para los gastos de mantención y operación, se consideran los sistemas de apoyo de la red para la vigilancia operacional de los equipos y de la calidad del aire (sistema de conectividad, sistema de procesamiento de datos y suministro eléctrico), la mantención preventiva y la correctiva (repuestos, calibraciones de equipos y patrones transporte, análisis de laboratorio, campañas de muestreo, etc.).

Adicionalmente se contempla el costo de levantamiento, implementación y puesta en marcha de un sistema de aseguramiento y control de calidad (AQ/QC), además del desarrollo de auditorías.

Tabla 11. Red propuesta: Estimación de costo del primero año de implementación y operación

| Escenario | Equipamiento e Infraestructura (USD) | Mantención y Operación (USD) | Sistema QA/QC* (USD) | Costo Total primer año (USD) |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Rediseño | 1.719.467.- | 1.000.000.- | 346.667.- | 3.066.134.- |

*Se asume que en la red actual el sistema de AQ/QC se asocia a la aplicación del DS.N°61/2008 MINSAL, lo anterior sin perjuicio de las certificaciones y sistemas de calidad de las empresas operadoras. En la red propuesta el Sistema QA/QC se encuentra diferenciado como un ítem específico que se desarrolla específicamente para la red, se implementa, se mantiene durante el proyecto, y se somete a auditoría en tercer y quinto año.

- **Estimación del Valor Presente Neto (VPN) red propuesta.**

Si se contempla el proyecto de actualización de la red para un horizonte de 5 años. No se considera la reposición de equipamiento y se establece una tasa de descuento del 6%, tasa que se ha utilizado en otros estudios de redes, siendo esta tasa un valor aceptado como razonable para una inversión de esta naturaleza. De esta manera, la estimación del VPN es de **USD 8.312.588.-** de considerando los costos de **infraestructura y equipamiento, sistema de aseguramiento y control de calidad** y costos de **operación y mantención**. Lo anterior se traduce en un costo anual del proyecto de **USD 1.662.518.-**

4. BIBLIOGRAFIA

Anttila, P-, Lovén, K., Saari, H. and Wemberg, A., 2019. Evaluation of Air Quality Monitoring network in the industrial zone of Quintero-Puchuncavi and Concon. Finnish Meteorological Institute.

Arya, S. P., 1991. Finite-difference errors in estimation of gradients in the atmospheric surface layer. *Journal of Applied Meteorology* 30(2): 251–253

Bardal, L. M., Onstad, A., Sætran, L. and Lund, J., 2018. Evaluation of methods for estimating atmospheric stability at two coastal sites. *Wind Engineering*.

Burba, G. and Anderson, D., 2010. A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: https://www.licor.com/env/pdf/eddy_covariance/Brief_Intro_Eddy_Covariance.pdf.

Centro Mario Molina Chile, 2016. Estudio Evaluación y rediseño de redes de Monitoreo de Calidad del Aire. Informe Final.

Finnish Environment Institute (SYKE 2017), Estudio Diseño de instituto tecnológico y centro de referencia ambiental para Chile.

NOAA, Pasquill stability classes: <https://ready.arl.noaa.gov/READYpgclass.php>

Pasquill, F., 1961. The estimation of the dispersion of windborne material, *The Meteorological Magazine*, vol 90, No. 1063, pp 33-49

Verma, S.B., 1990. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy, *Remote Sensing Reviews* 5(1): 99-115.

WMO-No.8, CIMO Guide: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html>

<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/08/Informe-Calidad-del-Aire-2016.pdf>

5. ANEXOS

5.1. Visita de expertos del Instituto Meteorológico de Finlandia a Chile

La semana del 25 al 28 de noviembre 2019, dos expertos del FMI, Sra. Katja Löven y Sr. Antti Wemberg, estuvieron en Chile para realizar visitas técnicas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire de Quintero, Puchuncaví y Concón, reuniones de trabajo y talleres con varios actores público-privados y una presentación frente a la comunidad en Puchuncaví. En el anexo 5.1, se adjunta la agenda de la visita de los expertos del FMI y fotos de las reuniones y visitas.

5.1.1. Agenda de la visita de Expertos del Finnish Meteorological Institute (FMI) a Chile del 25 al 28 de noviembre 2019

- **Lunes, 25 de noviembre 2019**

Reunión de Bienvenida a Eurochile: Ubicación: Fundación Eurochile – Galvarino Gallardo 1690, Providencia

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico Investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Harri Pietarila, Jefe de Unidad (FMI)
- José Aravena, Director Ejecutivo (Eurochile)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)

Objetivos:

- Bienvenida y Presentación
- Presentación de la Agenda y objetivo de la visita
-



Reunión con las Autoridades del Ministerio del Medio Ambiente



Representantes de Eurochile y expertos del FMI junto al Subsecretario de Medio Ambiente y Profesionales del Ministerio

Reunión técnica con el Ministerio del Medio Ambiente*

Ubicación: MMA – San Martín 73, Santiago

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico Investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Harri Pietarila, Jefe de Unidad (FMI)
- Marcelo Fernández, Jefe de división de Calidad del aire (MMA)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)
- Eija Rotinen, Embajadora de Finlandia en Chile
- Anna Niittylä, Business Finland
- José Aravena, director ejecutivo Eurochile

Objetivos:

- Reunión Técnica enfocada en el cumplimiento de las actividades del Reporte N°1
- Visita al laboratorio de gravimetría del MMA



Ministerio del Medio Ambiente: Laboratorio de Instrumentación del Departamento de Redes de Monitoreo

- **Martes 26 de noviembre 2019**

Visita a la red de monitoreo de calidad del aire de Concón

Ubicación: Concón

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico Investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Ximena Díaz, Encargada de área (MMA)



Visita a estaciones de monitoreo en la comunas de Concón , Quintero y Puchuncaví



Viaje de retorno a Santiago en el marco de las visitas a estaciones a las de monitoreo.

Visita a la red de monitoreo de calidad del aire de Quintero

Participantes:

- Antti Wemberg, Research Scientist, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)



5.1.2. [Taller de transferencia de capacidades técnicas y de entrega de las recomendaciones resultantes del diagnóstico elaborado](#)

El 27 de noviembre 2019, en el MMA, se realizó un taller de entrega de las recomendaciones resultantes del diagnóstico elaborado en el informe de avance N°1 en el marco de esta consultoría a representantes de las industrias del área de estudio (Quintero, Puchuncaví y Concón).

- **Miércoles 27 de noviembre 2019**

Presentación de los operadores de la red de monitoreo de la calidad del aire: SGS and Algoritmos Spa*

Ubicación: MMA-San Martín 73, Santiago

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)

- Hector Contreras, Gerente de Operaciones de Calidad del Aire (SGS Chile)
- Nelson Escobar, Administrador de Contrato Red Ventanas-Concón
- Claudio Castillo, Jefe de Instrumentación Calidad del Aire (SGS Chile)
- Claudio Seguel, Gerente General (Algoritmos Spa)

Objectives:

- Presentación de protocolos de operación, mantenimiento y procedimientos de calibración por SGS y Algoritmos Spa.



Reunión de expertos del FMI con equipos técnicos de las empresas operadoras de las estaciones de monitoreo

Se realizó un taller de transferencia de capacidades técnicas para reproducir pruebas de rendimiento entre monitores, protocolos de intercomparación entre laboratorios y Mejores Prácticas recomendados por la Unión Europea a profesionales de la División de Calidad del Aire del MMA (figura 2). Específicamente se trataron los siguientes temas:

- Red de monitoreo de calidad del aire de Finlandia
- Validación de datos: Principios rectores básicos para el procesamiento y validación de datos – Validación diaria – Validación cada 3 meses

Además, se presentaron planillas Excel usadas por el FMI para sus validaciones de datos (disponible en los anexos digitales que acompañan este informe) y se compartieron buenas prácticas. Las presentaciones que se enseñaron durante el taller están disponibles en el anexo 5.4.

Workshop de Transferencia de Capacidades*

Ubicación: MMA-San Martín 73, Santiago (Auditorium, 8^{vo} piso)

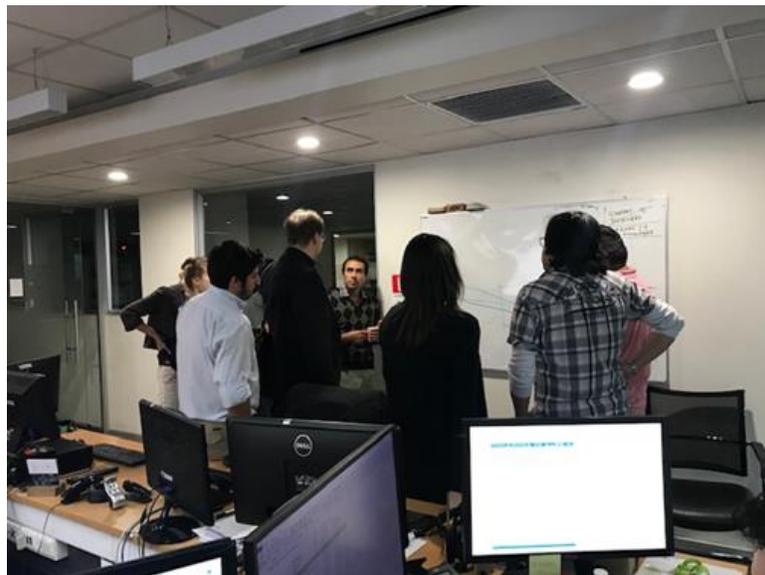
Participantes:

- Antti Wemberg, Científico investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)

- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)
- Profesionales del Departamento de Redes de Monitoreo (MMA) (se adjunta listado de asistentes)



Presentación Expertos del FMI a profesionales del Ministerio del Medio Ambiente



Trabajo técnico en el marco del taller que los expertos del FMI desarrollan a profesionales del Ministerio

| | | |
|--|--|--------------------|
|  Ministerio del Medio Ambiente Gobierno de Chile | REGISTRO ASISTENCIA | Página: 1 de 1 |
| | Departamento Redes de Monitoreo, División de Calidad de Aire. | Fecha : 11/04/2016 |
| | | |

| ACTIVIDAD | FECHA |
|---|------------|
| REUNIÓN: WORKSHOP ACTIVIDAD DE CAPACITACIÓN FME | 27/11/2019 |

| Nº | NOMBRE PARTICIPANTE | INSTITUCIÓN A LA PERTENECE | CORREO / TELEFONO |
|----|-----------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 | Luzmar Diaz A. | MMA | ldiaz@mma.gob.cl |
| 2 | Martín Taylor | MMA | 2-10 |
| 3 | Daniel Villacorta | MMA | DVILLACORTA@mma.gob.cl |
| 4 | Roberto Quezada | MMA | rquezada@mma.gob.cl |
| 5 | Alejandro Apablaza T. | M.M.A. | amatt |
| 6 | Paula Reyes Villegas | MMA | preyes@mma.gob.cl |
| 7 | Stefanni Reyes Blake | MMA | sreyes@mma.gob.cl |
| 8 | Silvano Arizón | MMA | Soyarizon@mma.gob.cl |
| 9 | Angela Rojas | MMA | |
| 10 | Jorge González | MMA | JGonzalez@MMA.gob.cl |
| 11 | Marcos Ketzler | MMA | MKetzler@mma.gob.cl |
| 12 | Renis Sánchez Toledo | MMA | rsanchez@mma.gob.cl |
| 13 | Emanuel Valdés | MMA | evaldes@mma.gob.cl |
| 14 | David Cordero F. | MMA | |
| 15 | Miguel Frias | MMA | MFrias@MMA.gob.cl |
| 16 | Javier Vargas V. | MMA | svargas@MMA.gob.cl |
| 17 | Edilberto Beltrán | MMA | ebeltran@mma.gob.cl |
| 18 | Marcelo Cordero L. | MMA | mcordero@mma.gob.cl |
| 19 | Linné + Solway | Eurochile | linney@eurochile.cl |
| 20 | ANDREA BARRIOS | Eurochile | ABARRIOS@EUROCHILE.CL |

Reunión con MMA

Ubicación: MMA-San Martin 73, Santiago (3rd floor)

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)

Objetivos:

- Discusión sobre los avances del informe 2 y posibles actividades adicionales

- **Jueves 28 de noviembre 2019**

08:30- 09:30 Workshop – Reunión con MMA and propietarios de estaciones de monitoreo (industrias)*

Ubicación: MMA – San Martin 73, Santiago

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Fernández, Jefe de división de Calidad del aire (MMA)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)
- Representantes de la industria (SOFOFA, GNL Quintero, CODELCO, ENAP, ENEL, AES GENER: se adjunta listado de asistentes)

Objetivos:

- FMI presenta el Reporte 1, resultados y recomendaciones.

Se realizó una reunión técnica a los representantes de las industrias de la zona de estudio donde los expertos del FMI mostraron las recomendaciones resultantes del diagnóstico elaborado en el informe de avance 1, para los objetivos específicos 1 y 2.



Reunión con representantes del sector industrial

| | | |
|--|--|--------------------|
|  Ministerio del Medio Ambiente Subterno de Costa | REGISTRO ASISTENCIA | Página: 1 de 1 |
| | Departamento Redes de Monitoreo, División de Calidad de Aire. | Fecha : 11/04/2016 |
| | | |

| ACTIVIDAD | FECHA |
|-----------------------|------------|
| REUNIÓN: Expertos FMI | 28/11/2019 |

| Nº | NOMBRE PARTICIPANTE | INSTITUCIÓN A LA PERTENECE | CORREO / TELEFONO |
|----|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | MARCELO CORRAL | MMA | marcoral@mma.gob.cl |
| 2 | Felipe Manriquez | ENL Quintero | felipe.manriquez@enlquintero.cl |
| 3 | Anselmo Flores A. | ENAP REFINERIAS | anselmo.flores@enap.cl |
| 4 | Marcela Fernanda | MMA | mfernandez@mma.gob.cl |
| 5 | Linnat Solway | Eurochile | lsolway@eurochile.cl |
| 6 | Miriam Rosales | AES GENER | miriam.rosales@aes.com |
| 7 | Pablo Bouert D. | AES GENER | pablo.bouert@aes.com |
| 8 | Fabian Guerrero | ENAP | fguerrero@enap.cl |
| 9 | MATIAS CONCHA | SOFOFA | mconcha@sofofa.cl |
| 10 | Roberto Urrutia | ENEL | roberto.urrutia@enel.com |
| 11 | Alan Garcia | SOFOFA | agarcia@sofofa.cl |
| 12 | CRISTIAN DE LA PIEDRA | CODELCO VENTANAS | CRISTIAN.DE.LA.PIEDRA@CODELCO.cl |
| 13 | ANDREA BARCES | EUROCHILE | abarces@eurochile.cl |
| 14 | Ximena Diaz | MMA | xdiaz@mma.gob.cl |
| 15 | Maria Jose | MMA | mtngie@mma.gob.cl |
| 16 | Jorge Ciceres | SOFOFA | jciceres@sofofa.cl |
| 17 | Antonia Wenzel | FMI | antonia.wenzel@fmi.cl |
| 18 | KATJA LOVCO | FMI | katja.lovco@fmi.cl |
| 19 | | | |
| 20 | | | |

Reunión con la comunidad de Quintero-Puchuncaví*

Ubicación: Puchuncavi – Salón Municipal Jorge Salvo. Casa de la Cultura.

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Marcelo Fernández, Jefe de división de Calidad del aire (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)
- Victoria Gazmuri, SEREMI de Medio Ambiente de la región de Valparaíso
- Eliana Olmos (IND), Alcalde de Puchuncavi
- Oscar Sumonte, Alcalde de Concón
- Mauricio Carrasco (IND), Alcalde de Quintero
- Representantes de la Comunidad

Objetivos:

- Presentación del Proyecto, resultados del reporte 1 y recomendaciones preliminares.

También se realizó una presentación a la comunidad de las comunas donde se está desarrollando el estudio, quienes fueron convocados al salón de Municipal de la Comuna de Puchuncaví. En dicha oportunidad los expertos del FMI presentaron los principales resultados del informe de avance N°1 del estudio.



Representates de la comunidad durante la presentación de los expertos del FMI



Representates de la comunidad durante la presentación de los expertos del FMI

Visita a la red de monitoreo de calidad del aire Quintero-Puchuncaví

Ubicación: Puchuncaví

Participantes:

- Antti Wemberg, Científico investigador, Air quality dispersion modelling and air quality monitoring, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Marcelo Corral, Jefe de la Red de Monitoreo (MMA)
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Linnet Solway, Jefe de Unidad (Eurochile)



Visita a la estación Principal (monitoreo Meteorológico en la planta de Codelco Ventanas)

- **Viernes 29 de noviembre 2019**

Fin de la estada

*Todas las presentaciones realizadas durante las distintas reuniones se adjuntan como anexos a este informe de avance N°2.

5.2 Procedimientos de aseguramiento de calidad

Las siguientes normas describen los procedimientos normalizados de aseguramiento de calidad para la medición de los gases contaminantes del aire que se mencionan a continuación y para los dispositivos de partículas continuas:

- Norma EN 14211: 2012 (NO-NO²)
- Norma EN 14212: 2012 (SO₂)
- Norma EN 14625: 2012 (O₃)
- Norma EN 14626: 2012 (CO)
- Norma EN 12341: 2014 (MP₁₀ y MP_{2.5})
- Norma EN 16450: 2017 (MP₁₀ y MP_{2.5})



5.3 RCA y criterio de emplazamiento de estaciones

| Titular | Estaciones | RCA | Información Relevante / Criterio de Emplazamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|-------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----|-------------|-------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CODELCO-AES GENER | La Greda | Previo a SEIA. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ En 1991, el Ministerio de Minería, por decreto supremo (N° 185/1991), determinó que se instalara una red de monitoreo permanente de calidad del aire en el área poblada circundante al Complejo Industrial de Ventanas (estaciones La Greda, Puchuncaví, Los Maitenes, Valle Alegre, Sur). ▪ En 1992, las empresas CHILGENER (actual AES. GENER S.A.), y ENAMI Fundición y Refinería Ventanas, presentaron el documento “Plan de Descontaminación del Complejo Industrial Las Ventanas”, que fue aprobado por el D.S. N°252/92 el año 1993. ▪ Los titulares presentaron el proyecto de red de monitoreo a las autoridades, siendo aprobado por Resolución Conjunta del Servicio de Salud de Viña del Mar-Quillota y Servicio Agrícola y Ganadero (N° 2005 y N° 115, 1992), posteriormente modificada por la Res. N° 3474 y N°206, 1992. ▪ Las estaciones de la Red Ventanas tienen calidad de Estación Monitora de Representatividad Poblacional (EMRP), a partir del 28 de agosto del 2000 por Resolución N°1924/00 del Servicio de Salud Viña del Mar Quillota (SSVQ). Las mismas fueron declaradas Estaciones Monitoras con Representatividad Poblacional para Gases (EMRPG) a partir del 01 de enero del 2004, por Resolución N°305/04 del Servicio de Salud Viña del Mar Quillota (SSVQ). ▪ Como parte de los compromisos ambientales definidos durante la evaluación ambiental del proyecto “Central Termoeléctrica Campiche” (RCA N° 275/2010), AES Gener debe instalar una estación de monitoreo de calidad de aire en la localidad de Ventanas (EIA, Adenda 1). ▪ En el 2012 se presenta el documento “Estudio de Representatividad de la Red de Monitoreo del Complejo Industrial Ventanas y Propuesta de Nuevo Sitio de Monitoreo de Calidad de Aire”, con cuatro alternativas de ubicación. La autoridad, en el Informe Técnico N°01/13 recomienda instalar la estación Ventanas hacia el norte de las fuentes emisoras (Ord. 2334 del 8/3/2013). ▪ A partir del 2006 se incorporó la estación Quintero y desde el 2013 la estación Ventanas. <table border="1" data-bbox="785 1036 1936 1274"> <thead> <tr> <th>Estación</th> <th>N° Res. EMRP MP₁₀</th> <th>N° Res. EMRP MP_{2,5}</th> <th>N° Res. EMRP Gases</th> <th>N° Res. EMRRN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>La Greda</td> <td>N° 1924/2000</td> <td>N° 2944/2012</td> <td>N° 305/2004</td> <td>N° 2040/2010</td> </tr> <tr> <td>Puchuncaví</td> <td>N° 1924/2000</td> <td>N° 2944/2012</td> <td>N° 305/2004</td> <td>N° 2040/2010</td> </tr> <tr> <td>Los Maitenes</td> <td>N° 1924/2000</td> <td>N° 2944/2012</td> <td>N° 305/2004</td> <td>N° 2040/2010</td> </tr> <tr> <td>Valle Alegre</td> <td>N° 1924/2000</td> <td>N° 2944/2012</td> <td>N° 305/2004</td> <td>N° 2040/2010</td> </tr> <tr> <td>Sur</td> <td>No aplicado</td> <td>No aplicado</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 2040/2010</td> </tr> <tr> <td>Quintero</td> <td>N° 15271/2013</td> <td>N° 2943/2012</td> <td>N° 15271/2012</td> <td>N° 2040/2010</td> </tr> <tr> <td>Ventanas</td> <td>N° 661/2013</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 661/2013</td> <td>No aplicado</td> </tr> </tbody> </table> | Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2,5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | La Greda | N° 1924/2000 | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | Puchuncaví | N° 1924/2000 | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | Los Maitenes | N° 1924/2000 | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | Valle Alegre | N° 1924/2000 | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | Sur | No aplicado | No aplicado | No aplicado | N° 2040/2010 | Quintero | N° 15271/2013 | N° 2943/2012 | N° 15271/2012 | N° 2040/2010 | Ventanas | N° 661/2013 | No aplicado | N° 661/2013 | No aplicado |
| | Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | | N° Res. EMRP MP _{2,5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | La Greda | N° 1924/2000 | | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Puchuncaví | N° 1924/2000 | | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Los Maitenes | N° 1924/2000 | | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Valle Alegre | N° 1924/2000 | | N° 2944/2012 | N° 305/2004 | N° 2040/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sur | No aplicado | | No aplicado | No aplicado | N° 2040/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Quintero | N° 15271/2013 | | N° 2943/2012 | N° 15271/2012 | N° 2040/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ventanas | N° 661/2013 | | No aplicado | N° 661/2013 | No aplicado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ventanas | Documento: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puchuncaví | “Plan de | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Descontamina | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Los Maitenes | ción del | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valle Alegre | Complejo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sur | Industrial Las | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quintero | Ventanas” | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | N° 275/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | “Central | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Termoeléctric | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | a Campiche” | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| ENAP Refinería Aconcagua (ERA) | Colmo Las Gaviotas Concón Junta de Vecinos | N° 159-2003 "Proyecto Mejoramiento de la Capacidad de RPC para producir Diesel y Gasolina" | <ul style="list-style-type: none"> ▪ En febrero de 2002, producto del futuro aumento de la capacidad operativa de ERA, se conformó la Red de Monitoreo de Concón. ▪ Por resolución conjunta del SAG (N° 408, 2002) y Seremi de Salud V Región (N°207, 2002) se aprobó el Plan de Monitoreo Línea Base de Calidad de Aire, en donde se establece que el número mínimo de estaciones de monitoreo sería de a lo menos de cuatro. ▪ La resolución conjunta indica que los datos a entregar por la red corresponden a SO₂, O₃, MP₁₀, MP_{2.5}, NO₂, CO, HCT, HCNM, además de parámetros meteorológicos y análisis químico de MP₁₀. ▪ La RCA N° 159/2003 indica lo siguiente: <i>"Considerando 7.7. Con relación al seguimiento de los parámetros de calidad del aire durante toda las etapas de construcción y operación del proyecto, el titular realizará mediciones continuas en dos estaciones de monitoreo automáticas que cumplirán con los requisitos establecidos en la legislación vigente. Una estación se instalará en la zona urbana, Calle Cortés 740 de Concón, mientras que la otra, se instalará en una zona rural, en Colmo. Se registrarán, simultáneamente, variables meteorológicas, velocidad y dirección del viento"</i>. ▪ La ubicación de las estaciones de monitoreo fue determinada por el SAG y la Seremi de Salud, de la Región de Valparaíso. ▪ Estas instituciones también han otorgado la calificación de estaciones de monitoreo con representatividad poblacional para partículas y gases (EMRP y EMRG), además de Recursos Naturales (EMRRN). <table border="1" data-bbox="785 753 1860 938"> <thead> <tr> <th>Estación</th> <th>N° Res. EMRP MP₁₀</th> <th>N° Res. EMRP MP_{2.5}</th> <th>N° Res. EMRP Gases</th> <th>N° Res. EMRRN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Colmo</td> <td>2176/2005 Mod. 4420/2012</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 306/04 Mod. N° 4420/12</td> <td>N° 2033/2010</td> </tr> <tr> <td>Las Gaviotas</td> <td>No aplicado</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 2179/2005</td> <td>N° 2033/2010</td> </tr> <tr> <td>Concón</td> <td>N° 2330/2005</td> <td>N°4421/2012</td> <td>N°306/2004</td> <td>No aplicado</td> </tr> <tr> <td>Junta de Vecinos</td> <td>N°322/2006</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 306/2004</td> <td>N°2033/2010</td> </tr> </tbody> </table> | Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2.5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | Colmo | 2176/2005 Mod. 4420/2012 | No aplicado | N° 306/04 Mod. N° 4420/12 | N° 2033/2010 | Las Gaviotas | No aplicado | No aplicado | N° 2179/2005 | N° 2033/2010 | Concón | N° 2330/2005 | N°4421/2012 | N°306/2004 | No aplicado | Junta de Vecinos | N°322/2006 | No aplicado | N° 306/2004 | N°2033/2010 |
|---|--|--|--|---------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------|-------|-----------------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------|--------------|-------------|------------|-------------|------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2.5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Colmo | 2176/2005 Mod. 4420/2012 | No aplicado | N° 306/04 Mod. N° 4420/12 | N° 2033/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Las Gaviotas | No aplicado | No aplicado | N° 2179/2005 | N° 2033/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Concón | N° 2330/2005 | N°4421/2012 | N°306/2004 | No aplicado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Junta de Vecinos | N°322/2006 | No aplicado | N° 306/2004 | N°2033/2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GNL Quintero | Centro Quintero | N° 323/2005 "Terminal de Gas Natural Licuado (GNL) en Quintero" | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El Proyecto consiste en un terminal de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL), transportado por barco. La entrega del gas natural (vaporizado) se realiza mediante un gasoducto de aproximadamente 2.000 metros de longitud. ▪ (N° 9.12) <i>"En lo referido a la instalación de la estación automática de monitoreo de calidad del aire comprometida por el Titular, esta Comisión establece que su <u>ubicación definitiva deberá ser determinada, por los Servicios competente en la materia (Autoridad Sanitaria, SAG y CONAMA)</u>. Para lo anterior, el Titular deberá proponer tres (3) lugares posibles de localización de dicha estación. Previo al inicio de la etapa de construcción deberá estar definida la localización de la estación monitora. <u>La Autoridad Sanitaria estima, que en base a la población permanente a servir, la localidad que debe ser priorizada para las emisiones de calidad del aire es el sector urbano de Quintero"</u>.</i> ▪ (9.13). <i>"El Titular deberá realizar como parte del <u>Seguimiento Ambiental</u> de la calidad de la componente aire, <u>en el sector rural</u>, un monitoreo, tanto para la etapa de construcción como de operación del proyecto, a través de la instalación de una estación monitora de calidad del aire, por cuanto el proyecto e ubica en una zona declarada como saturada, de acuerdo a la legislación vigente. Dicha estación debe ser continua para Anhídrido sulfuro o (SO₂), Ozono (O₃), NO₂, NO y Material particulado (PM 10). Esta estación, en la etapa de operación</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | <p>deberá monitorear al menos por dos años; la continuidad de las mediciones será definida por los organismos competentes en base a los resultados obtenidos (Autoridad Sanitaria, AG y CONAMA). Dado lo anterior, el Titular deberá proponer tres (3) lugares posibles de localización de dicha estación. Previo al inicio de la etapa de construcción deberá estar definida la localización de la estación monitorea indicada”.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ GNL estableció un convenio con Codelco-AES Gener para utilizar la estación rural de Valle Alegre e instalar monitores de NOx, O₃ y MP₁₀, siendo los datos compartidos por las tres empresas. ▪ Por ORD. N° 343, la SEREMI de Salud Valparaíso señala que <u>el mejor punto para la ubicación de la estación</u> es en Avenida Argentina con calle Luis Acevedo, en la ciudad de Quintero, dentro de las instalaciones de ESVL. Además, acepta se incorpore la medición continua de Ozono y Óxidos de Nitrógeno en la estación de monitoreo de Valle Alegre de la Red Ventanas. ▪ Por Ord. N° 352 del 21.02.2007, el Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Valparaíso, se pronuncia en forma similar a la SEREMI de Salud. ▪ Mediante Resolución N° 1821 del 14.08.2008, se deja sin efecto la Resolución N° 1303 del 20.06.2008, y clasifica la estación de monitoreo de calidad del aire “GNL Quintero”, localizada en calle Meiggs N° 2164 con Manuel Rodríguez, Comuna de Quintero, como estación de monitoreo de calidad del aire con representatividad poblacional para material particulado respirable (PM10) y para gases (SO₂, NO₂, CO, O₃, HC y HCNM). <table border="1"> <thead> <tr> <th>Estación</th> <th>N° Res. EMRP MP₁₀</th> <th>N° Res. EMRP MP_{2,5}</th> <th>N° Res. EMRP Gases</th> <th>N° Res. EMRRN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Centro Quintero</td> <td>N° 1303/2008 Mod. N° 2877/2012</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 1303/2008 Mod. N° 2877/2012</td> <td>No aplicado</td> </tr> </tbody> </table> | Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2,5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | Centro Quintero | N° 1303/2008 Mod. N° 2877/2012 | No aplicado | N° 1303/2008 Mod. N° 2877/2012 | No aplicado |
|-----------------|-----------------------------------|--|---|---------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------|-----------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|--------------|
| Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2,5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | | | | | | | | | |
| Centro Quintero | N° 1303/2008 Mod. N° 2877/2012 | No aplicado | N° 1303/2008 Mod. N° 2877/2012 | No aplicado | | | | | | | | | |
| ENEL | Loncura | N° 922/2008 Central Termoeléctrica Quintero | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El proyecto consiste en una central termoeléctrica de 240 MW (dos unidades de 120 MW cada una), que opera a gas natural y petróleo diésel como respaldo. ▪ Informe Técnico “Localización de una Estación de Monitoreo de Calidad del Aire” (Algoritmos 2009), presentado al Comité Técnico de Calidad del Aire de la Región de Valparaíso. ▪ Este informe entrega la propuesta de posibles puntos para la localización de una estación de monitoreo de calidad del aire, en una de las cuatro alternativas denominadas como potenciales, según lo mencionado en el Anexo I de la Adenda 2 del Estudio de Impacto Ambiental. ▪ La modelación de las concentraciones de SO₂, NO₂, CO y PM₁₀, se realizó utilizando el modelo CALMET/CALPUFF (Adenda 1, Anexo A). El estudio de calidad del aire realizado evaluó el impacto en un área de modelación correspondiente a una grilla de 50 por 60 km. ▪ El modelo de dispersión atmosférica aplicado en la Evaluación de la Calidad del Aire del Proyecto, predice que en Loncura se registrarán mayores aportes del Proyecto en relación al impacto en la calidad del aire de la localidad de Quintero. ▪ Luego de evaluar los antecedentes de la modelación y la observación del Consultor en terreno, el Comité Técnico decidió considerar como la mejor alternativa de ubicación de una estación de monitoreo, la alternativa 1 correspondiente a la zona de Loncura. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Estación</th> <th>N° Res. EMRP MP₁₀</th> <th>N° Res. EMRP MP_{2,5}</th> <th>N° Res. EMRP Gases</th> <th>N° Res. EMRRN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Loncura</td> <td>N° 3229/2009</td> <td>No aplicado</td> <td>N° 3229/2009</td> <td>N° 2028/2010</td> </tr> </tbody> </table> | Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2,5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | Loncura | N° 3229/2009 | No aplicado | N° 3229/2009 | N° 2028/2010 |
| Estación | N° Res. EMRP MP ₁₀ | N° Res. EMRP MP _{2,5} | N° Res. EMRP Gases | N° Res. EMRRN | | | | | | | | | |
| Loncura | N° 3229/2009 | No aplicado | N° 3229/2009 | N° 2028/2010 | | | | | | | | | |

5.3 Listado de equipos para concepto de estación promedio actual y propuesta

| ITEM | Estación promedio actual | Estación promedio propuesta |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| Equipos analizadores | | |
| MP10 Continuo | x | |
| MP2,5 Continuo | x | x |
| MP10 y MP2,5 Discreto | x | x |
| Analizador de gases NOx | x | x |
| Analizador de gases CO | x | |
| Analizador de gases SO ₂ | x | x |
| Analizador de gases O ₃ | x | |
| Equipo Black carbon | x | x |
| Equipos complementarios/insumo | | |
| Dilutor de gases | x | x |
| Generador de aire zero | x | x |
| Datalogger | x | x |
| Router de comunicación | x | x |
| Climatización estación | x | x |
| Kit Calibración Meteorología | x | x |
| Patrón ozono | x | |
| COVs Monitores Automáticos | | |
| Monitor BTEX Pollution Analytic Equipment | | x |
| Monitor ambiental Metano/Hidrocarburos no metánicos/Hidrocarburos totales Marca Chromatotec | | x |
| H2S Monitores Automáticos | | |
| Monitor de H2S marca Sabio Modelo 6022 | | x |
| Monitores de medición meteorológica | | |
| Mástil, sensores de HR, Temp, WS, WD | x | x |
| Adquisición e instalación/remoción de estación | | |
| Caseta de monitoreo (Inc UPS, AC, Rack, toma de muestra calefaccionada) | x | x |
| Remoción/relocalización de caseta | x | x |



5.5 Presentaciones presentadas en las reuniones durante la visita del FMI a Chile



PROYECTO:

MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ

Informe de Avance N°3

Revisado

- ❖ **Evaluación y recomendaciones técnicas para los procedimientos de aseguramiento de calidad y control de calidad (QA/QC) y documentación relacionada a la red de calidad del aire en la zona industrial de Quintero-Puchuncaví y Concón.**

Fecha de Entrega: 27 de julio 2020

Abreviaciones | Definiciones

| | |
|--------------|--|
| COV | Compuesto Orgánico Volátil |
| CRA | Centro de Referencia Ambiental |
| EPA | Environmental Protection Agency - USA |
| EQUIV | Método Equivalente |
| FMI | Finnish Meteorological Institute (Instituto Meteorológico de Finlandia) |
| HVS | Muestreos de alto volumen |
| HCT | Hidrocarburos totales |
| LVS | Muestreo de bajo volumen |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MPP | Meteorological Pre-processing |
| MP | Material Particulado |
| MS | Estado Miembro de la UE (Member State) |
| NILU | Norwegian Institute for Air Research (Norsk Institutt for luftforskning) |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PMF | Matriz de Factorización Positiva (Positive Matrix Factorization) |
| PNT | Procedimiento Normalizado de Trabajo |
| REF | Métodos de Referencia |
| SOP | Procedimientos Operacionales Estándares |
| UE | Unión Europea |

Contenido

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | ANTECEDENTES | 5 |
| 2. | OBJETIVO Y ACTIVIDADES DEL TERCER INFORME DE AVANCE | 6 |
| 3. | RESULTADOS | 7 |
| | 3.1 Introducción del informe | 7 |
| | 3.2 Reglamentos sobre temas de calidad en medidas de calidad del aire | 8 |
| | 3.2.1 Requisitos de las Directivas de la UE | 8 |
| | 3.2.2 Requisitos de las Normas de la metodología de referencia EN | 9 |
| | 3.2.3 Requisitos de la normativa chilena, Decreto N.º 61 | 13 |
| | 3.3 Antecedentes Evaluados | 14 |
| | 3.4 Resultados de la Evaluación | 14 |
| | 3.4.1 Procedimiento Normalizado de Trabajo (PNT) | 15 |
| | 3.4.1.1 SGS | 16 |
| | 3.4.1.2 Algoritmos | 23 |
| | 3.4.2 Procedimientos AC/CC | 28 |
| | 3.4.2.1 SGS | 28 |
| | 3.4.2.2 Algoritmos | 31 |
| | 3.4.3 Mantenimientos y Calibraciones | 34 |
| | 3.4.3.1 SGS | 34 |
| | 3.4.3.2 Algoritmos | 37 |
| | 3.4.4 Trazabilidad e Incertidumbre de la medición | 41 |
| | 3.4.4.1 SGS | 41 |
| | 3.4.4.2 Algoritmos | 42 |
| 4. | CONCLUSIONES | 43 |
| 5. | RECOMENDACIONES | 46 |
| 6. | REFERENCIAS | 50 |
| 7. | ANEXO | 51 |



1. ANTECEDENTES

La Subsecretaría del Medio Ambiente del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) del Gobierno de Chile, ha contratado a Fundación Empresarial Eurochile para la ejecución de la consultoría denominada “MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ”.

Con la finalidad de dar cumplimiento a lo establecido en el Artículo 51, capítulo IX, del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (D.S N°105/2018), que establece la necesidad de la elaboración de estudios conducentes al rediseño y modernización de la Red de Monitoreo.

Eurochile mantiene vigente un convenio de colaboración con el Finnish Meteorological Institute (FMI), institución finlandesa que cuenta con experiencia y capacidad comprobada y reconocimiento en medición en aire y química atmosférica y en temas ad-hoc a la presente consultoría. Además, no es la primera vez que las dos instituciones trabajan en colaboración. En 2017, Eurochile fue contratada por la Subsecretaría del Medio Ambiente del MMA de Chile, como ejecutor del proyecto “Diseño de un Instituto Tecnológico y Centro de Referencia Ambiental (CRA)”, para lo cual Eurochile contrató al Instituto Ambiental de Finlandia (SYKE), el cual trabajó en conjunto con el FMI y el Centro de Investigación Tecnológica de Finlandia (VTT), consultoría y colaboración que resultó muy exitosa.

Por tal razón, y con el propósito de velar por el correcto desarrollo de un programa de mejoramiento, la Subsecretaría del MMA determinó suscribir un trato directo con Eurochile, a fin de que, juntamente con FMI en calidad de subcontratado por Eurochile, provean los servicios que se requieren para el cumplimiento del siguiente objetivo general:

“Realizar un diagnóstico del estado operacional actual de las 14 estaciones de monitoreo, seguido de la elaboración de una propuesta de rediseño, y en lo sucesivo, una auditoría técnica al sistema de monitoreo de calidad del aire y meteorología implementado en Concón, Quintero y Puchuncaví, con la finalidad de entregar recomendaciones y directrices para la implementación de una Red optimizada en base a estándares de la Unión Europea.”

El servicio requerido consta de una consultoría estratégica que se desarrolla en dos etapas:

- La primera correspondiente a la elaboración de un diagnóstico técnico de la Red de Monitoreo, y consecutivamente, la elaboración de un programa de rediseño según el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la zona que comprende las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, entregando recomendaciones sobre el número y clasificación de estaciones, parámetros a medir y metodologías a utilizar.
- La segunda etapa constituye la revisión de los estándares de operación existente y la ejecución de una auditoría a las estaciones con posterioridad a la implementación del programa de rediseño. La finalidad de esta etapa es asegurar el grado de precisión de los sistemas de monitoreo y los protocolos QA/QC que se encuentren en funcionamiento producto de las recomendaciones establecidas en la primera fase.

Así, se establecen cuatro objetivos específicos a desarrollar en un periodo de 12 meses:

1. Evaluar la calidad de la información entregada por la red de monitoreo durante los últimos tres años.
2. Evaluar la representatividad del monitoreo en el área cubierta por la red y las medidas de los instrumentos actualmente utilizados.
3. Preparar recomendaciones técnicas y una propuesta conceptual de rediseño para la mejora y modernización de la actual red de monitoreo.
4. Ejecutar un proceso de auditoría a la nueva red de monitoreo luego de la implementación del programa de rediseño.

Este tercer informe de avance tiene por objetivo reportar el resultado de las actividades relacionadas a la revisión documental de los procesos operativos y sus registros asociados (estándares de operación de la red vigente) a la primera parte del objetivo 4. Así, las actividades reportadas en el informe N°3 corresponden a las actividades previas a la Auditoría de la nueva red a implementar.

2. OBJETIVO Y ACTIVIDADES DEL TERCER INFORME DE AVANCE

El cuarto objetivo de esta consultoría corresponde a **“Ejecutar un proceso de auditoría a la nueva red de monitoreo luego de la implementación del programa de rediseño”**. Este objetivo se ha dividido en dos etapas, donde la primera parte es presentada en este informe a través del reporte de las siguientes actividades:

k) Realizar una revisión documental de los certificados e historial de calibración y mantenimiento de los equipos de monitoreo del periodo de operación 2018-2019, estableciendo las posibles no conformidades detectadas durante el procedimiento.

l) Evaluar el contenido técnico de los Procedimientos Operacionales Estándares (SOP) actualmente ejecutados por los operadores de las estaciones de monitoreo.

Los resultados esperados para esta primera etapa incluyen un reporte con los hallazgos encontrados en el material documental (registros de calibración y mantenimiento) de todas las estaciones, además de las observaciones realizadas a los documentos relativos a los SOP o también denominados en este informe como Procedimientos Normalizados de Trabajo (PNT), ejecutados por los operadores actuales. Las actividades reportadas en el presente informe corresponden a las actividades previas a la auditoría de la nueva red a implementar.

3. RESULTADOS

3.1 Introducción del Informe

El presente informe es la tercera fase del proyecto "Mejoramiento de la red de supervisión de la calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví", que se basa en parte, en los resultados de la primera y segunda fase, y en el informe N.º 1 "Evaluación de la red de calidad del aire en la zona industrial de Quintero-Puchuncaví y Concón" y el informe N.º 2 "Recomendaciones técnicas y una propuesta conceptual de rediseño para el mejoramiento y modernización de la red de calidad del aire en la zona industrial de Quintero-Puchuncaví y Concón". El primer informe cubrió el análisis de los datos de medición de calidad del aire para 2016-2018 de la red de calidad del aire en las zonas de Quintero-Puchuncaví y Concón y las recomendaciones formuladas en base al análisis de los datos. El segundo informe entregó recomendaciones y diseño conceptual para optimizar la red de supervisión de la calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Además, se entregó una amplia descripción de las instrucciones generales para la gestión de la calidad de las mediciones de la calidad del aire.

En este estudio se analizan y evalúan los procedimientos de control de calidad, el contenido técnico de los Procedimientos normalizados de trabajo (PNT) y la documentación de calibración y mantención que actualmente ejecutan los operarios de las estaciones de calidad del aire en las zonas de Quintero-Puchuncaví y Concón en la costa de Chile. El estudio se concentra en las mediciones de PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, O₃, NO/NO₂/NO_x y CO. Los documentos de mantención y calibración incluyen los certificados y bitácoras de calibración, mantención del equipamiento durante el período 2018-2019. En el informe se identifican las posibles no conformidades y la falta de documentación. Se tienen en cuenta las Metodologías normalizadas de la Unión Europea (EN), como el punto de referencia para la evaluación. En base al análisis de los datos, se hacen sugerencias para mejorar los procedimientos técnicos, el aseguramiento y el control de calidad (AC/CC) y la documentación de las mediciones de calidad del aire.

En la Comunidad Europea (UE), el control de la calidad del aire está regulado en gran medida por las directivas de la UE sobre calidad del aire. Las directivas enumeran objetivos detallados de calidad de datos y métodos de referencia para las mediciones de la calidad del aire. Los métodos hacen referencia a normas EN específicas, que dan los requerimientos para las técnicas de medición de calidad del aire y la instrumentación, el trabajo de campo y el control de calidad a desarrollar, así como la forma de presentar los resultados. En la primera parte de este informe, se explican estos requisitos para facilitar los antecedentes de la evaluación presentada en este estudio.

Este informe tiene por objeto apoyar la fase siguiente del proyecto, ya que se organizarán auditorías de los sitios y un ejercicio de intercomparación para las redes de calidad del aire en las zonas industriales de Quintero-Concón y Puchuncaví. Antes de las actividades de la auditoría y de la intercomparación, existe la posibilidad de mejorar los procesos de AC/CC en monitoreo de la calidad del aire en base a las recomendaciones presentadas en este informe.

Además, el análisis de las mediciones de parámetros contaminantes en la estación de Campiche se incluye en este informe como Anexo.

3.2 Reglamentos sobre temas de calidad en medidas de calidad del aire

3.2.1 Requisitos de las Directivas de la UE

Las Directivas de la UE 2008/50/CE y 2015/1480/CE relativas a la calidad del aire definen objetivos de calidad del aire ambiente destinados a evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto. A tal fin, establece medidas para la evaluación de la calidad del aire ambiente en los Estados Miembros, así como para obtener información sobre la calidad del aire ambiente con el objetivo de contribuir a la lucha contra la contaminación del aire y las molestias que esta provoca. En cuanto a las mediciones, se enumeran, por ejemplo, los métodos de referencia, los objetivos de calidad de los datos especificados y los requisitos de trazabilidad para las mediciones. Además, establece el requisito de que las redes mantengan sistemas de aseguramiento y control de calidad que sean revisados periódicamente (por lo menos cada cinco años) por los laboratorios nacionales de referencia. Los métodos de referencia se describen en el capítulo 3.2.2. Los objetivos de calidad de los datos establecen los requisitos para la incertidumbre de la medición, la captura mínima de datos y la cobertura temporal mínima. Estos se dan en la **Tabla 1** para SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃, CO, PM₁₀ y PM_{2.5}.

En cuanto a la incertidumbre de la medición, en las metodologías normalizadas (EN) enumeradas en el capítulo 3.2.2 se dan instrucciones específicas sobre cómo calcular estos valores: El cálculo de la incertidumbre de medición incluye varios parámetros, como la incertidumbre del cero, el intervalo y el gas de calibración, la eficiencia del convertidor (solo para NO_x), las desviaciones a largo plazo de cero y el intervalo, la falta de ajuste (= linealidad de la calibración multipunto) y varios otros parámetros. Parte de estos parámetros se basan en las pruebas de aprobación de tipo específicas del analizador que están disponibles en línea (<https://qal1.de/en>) y una parte de ellas debe ser determinada por el operador. Como los cálculos son bastante complejos y la determinación de la incertidumbre de la medición es obligatoria, los NRL pueden dar capacitación a los operadores. Por ejemplo, en Finlandia, el NRL organiza capacitación en incertidumbre de medición y también prepara plantillas de hoja de Excel para los cálculos para ayudar a los operadores locales en la tarea. Estas plantillas de Excel están disponibles gratuitamente en <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/raportit-jalomakkeet> (sitio web en finlandés pero las plantillas están en inglés).

La cobertura temporal mínima indica la proporción del año en el que se planifican las mediciones de $N_{\text{planeado}} / N_{\text{año}}$. Para mediciones continuas, el requisito de calidad para la cobertura de tiempo es generalmente del 100%.

En la práctica, esto significa que las mediciones están planificadas para realizarse en todo momento: los analizadores de gas y PM miden todo el tiempo y las muestras de filtro de 24 h para la masa de PM se recolectan todos los días del año. Por ejemplo, los filtros de partículas recolectados para el análisis de metales cada 3 días representan una cobertura de tiempo del 33% ($N_{\text{planeado}} = \text{cada 3 días}$, es 122 días al año; $N_{\text{año}} = 365$ días; por lo tanto $122/365 = 33\%$).

La captura mínima de datos indica la parte de la cobertura temporal para la que se dispone de datos de medición ($N_{\text{valida}} / N_{\text{tiempo de cobertura}}$). La captura de datos mínima es generalmente del 90% menos el tiempo estimado del 5% requerido para el mantenimiento y la calibración, lo que resulta en una captura de datos mínima real del 85%. En la práctica, este porcentaje es la cantidad real de datos que

se midió. Como lleva tiempo realizar el mantenimiento y las calibraciones y puede haber otras interrupciones en los datos debido a problemas de electricidad o mal funcionamiento del instrumento, sería imposible cumplir con la cobertura de tiempo planificada (100%) y, por lo tanto, es suficiente tener el 85% captura de datos cada año (311 días completos).

Tabla 1. Objetivos de calidad para la determinación de incertidumbre admisible de las mediciones continuas, la cobertura temporal de las mediciones y la cobertura mínima de los datos de medición (Directivas de calidad del aire de la UE).

| Objetivo | SO ₂ ,NO/NO ₂ /NO _x ,CO | PM ₁₀ , PM _{2.5} | O ₃ |
|----------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------|
| Medición de Incerteza | 15 % | 25 % | 15 % |
| Mínimo de captura de datos | 90 % | 90 % | 75–90 % ¹⁾ |
| Mínimo tiempo de cobertura | 100 % | 100 % | 100 % |

1) 90% en verano y 75% en invierno.

Las Directivas indican los métodos de referencia, por lo que los requisitos enumerados en las Metodologías normalizadas EN están vinculadas a la legislación. Los requisitos se describen en el siguiente capítulo. Además, en el Informe N° 2 de este estudio se dan instrucciones detalladas sobre cómo realizar mediciones de la calidad del aire.

3.2.2 Requisitos de las Normas de la metodología de referencia EN

La evaluación se basa en una comparación entre los procedimientos de los operadores de las estaciones de monitoreo (en este caso las empresas SGS y Algoritmos) y las Metodologías normalizadas EN (en adelante denominadas Normas EN). La lista de normas EN se presenta a continuación en la **Tabla 2**. Todos los métodos normalizados son métodos de referencia (REF) en la UE, excepto uno para la medición continua de PM, que se considera un método equivalente (EQUIV) cuando así se demuestra.

Tabla 2. Métodos de referencia en la UE para la evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), monóxido de carbono y ozono.

| Contaminante | Código estándar | Nombre estándar | Estado |
|--------------------------------------|-----------------|---|--------|
| <i>Gases</i> | | | |
| SO ₂ | EN 14212:2012 | Aire: método estándar para medir la concentración de dióxido de azufre por fluorescencia ultravioleta | REF |
| NO/NO ₂ /NO _x | EN 14211:2012 | Aire: método estándar para medir la concentración de dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno por quimioluminiscencia | REF |
| CO | EN 14626:2012 | Aire: método estándar para medir la concentración de monóxido de carbono por espectroscopía infraroja no dispersiva | REF |
| O ₃ | EN 14625:2012 | Aire: método estándar para medir la concentración de ozono por fotometría ultravioleta | REF |
| <i>Material Particulado</i> | | | |
| PM _{2.5} y PM ₁₀ | EN 12341:2014 | Aire: método de medición gravimétrica estándar para la determinación de la concentración de masa PM ₁₀ o PM _{2.5} de partículas suspendidas | REF |

PM2.5 y PM10

EN 16450:2017

Aire: sistemas de medición automatizados para la medición de la concentración de partículas (PM10;PM2.5)

EQUIV

En las normas EN, existen requisitos específicos para la calibración, las comprobaciones y el mantenimiento. Para ellos, se da la frecuencia requerida de implementación así como los criterios de acción cuando se realizan correcciones o ajustes. Éstos se enumeran a continuación en la **Tabla 3** para los gases y en la **Tabla 4** para las mediciones de PM.

Tabla 3. Frecuencia requerida de calibración, verificación y mantenimiento de las mediciones de gases en la UE.

| Contaminante | Calibración, controles y mantenimiento. | Frecuencia | Criterio de acción ^h |
|---------------------------------------|--|---|---|
| Todos | Calibración del analizador | Al menos cada tres meses y después de la reparación. | Cero o span drift más allá de las tolerancias establecidas por el usuario |
| SO ₂ | Repetibilidad a cero y span del analizador | En combinación con la calibración, utilizando los datos de la calibración. | Desviación estándar de repetibilidad a cero: ≥ 1.0 nmol / mol Desviación estándar de repetibilidad en el rango: $\geq 1.5\%$ de la concentración del rango |
| NOx | Repetibilidad a cero y span del analizador | En combinación con la calibración, utilizando los datos de la calibración. | Desviación estándar de repetibilidad a cero: ≥ 1.0 nmol / mol Desviación estándar de repetibilidad en el rango: $\geq 0.75\%$ de la concentración del rango |
| O ₃ | Repetibilidad a cero y span del analizador | En combinación con la calibración, utilizando los datos de la calibración. | Desviación estándar de repetibilidad a cero: ≥ 1.5 nmol / mol Desviación estándar de repetibilidad en el rango: $\geq 2.0\%$ de la concentración del rango |
| CO | Repetibilidad a cero y span del analizador | En combinación con la calibración, utilizando los datos de la calibración. | Desviación estándar de repetibilidad a cero: ≥ 0.5 nmol / mol Desviación estándar de repetibilidad en el rango: $\geq 3.0\%$ de la concentración del rango |
| Todos | Verificación de gases utilizados para chequeo de cero y span | Al menos cada 6 meses | Zero: \geq Límite de detección Span: $\geq 5.0\%$ de la verificación previa |
| SO ₂ , O ₃ | Chequeo de Zero and span | Al menos cada 2 semanas ^g | Zero: ≤ -4 or ≥ 4 nmol/mol Span: $\geq 5.0\%$ del valor inicial del span |
| NOx | Chequeo de Zero and span | Al menos cada 2 semanas ^g | Zero: ≤ -4 or ≥ 4 nmol/mol Span: $\geq 5.0\%$ del valor de span inicial y la diferencia real entre los canales de NOx y NO $\leq 5.0\%$ |
| CO | Chequeo de Zero and span | Al menos cada 2 semanas ^g | Zero: $\leq -0,5$ or $\geq 0,5$ $\mu\text{mol/mol}$ Span: $\geq 5.0\%$ del valor inicial del span |
| SO ₂ , NOx, O ₃ | Falta de verificación de ajuste (para realizar en laboratorio o en campo) ⁱ . | Dentro de un año después de la instalación inicial y después de la reparación | Falta de ajuste $> 4.0\%$ del valor medido |
| | | Frecuencia adicional dependiendo de los resultados de la prueba anterior | Falta de ajuste > 5 nmol/mol a zero |

| | | | |
|-----------------|---|--|---|
| CO | Falta de verificación de ajuste (para realizar en laboratorio o en campo) | Dentro de un año después de la instalación inicial y después de la reparación | Falta de ajuste > 4.0 % del valor medido Falta de ajuste > 0,5 µmol/mol a zero |
| NOx | Eficiencia del convertidor | Frecuencia adicional dependiendo de los resultados de la prueba anterior Al menos cada año | < 95% ^{e,f,g} |
| Todos | Prueba de colector de muestra - influencia de la caída de presión inducida por la bomba múltiple - eficiencia de recogida de muestras | Al menos cada tres años | Influencia ≥ 1.0 % del valor medido Influencia ≥ 2.0 % del valor medido |
| SO ₂ | Cambio de filtros de partículas ^b del sistema de muestreo en la entrada de muestreo y / o en la entrada del analizador | Dependiendo de los resultados de una prueba de idoneidad, pero al menos cada tres meses ^c | - |
| NOx, CO | Cambio de filtros de partículas ^b del sistema de muestreo en la entrada de muestreo y / o en la entrada del analizador | Dependiendo de los resultados de una prueba de idoneidad, pero al menos cada tres meses ^c | La respuesta al gas de paso que pasa el filtro es ≤ 97.0 % |
| O ₃ | Cambio de filtros de partículas ^b del sistema de muestreo en la entrada de muestreo y / o en la entrada del analizador | Al menos cada tres meses ^c | - |
| Todos | Prueba de las líneas de muestras. | Al menos cada seis meses ^c | ≥ 2.0 % pérdida de muestra |
| Todos | Cambio de consumibles | Según lo requerido por el fabricante ^c | Como se requiera |
| Todos | Mantenimiento preventivo / rutinario de los componentes del analizador. | Según lo requerido por el fabricante ^c | Como se requiera |

^{a)} Recomendado cada 23 o 25 h. Esto permite la identificación de analizadores inestables en una etapa temprana.

^{b)} El filtro de partículas se cambiará periódicamente en función de la carga de polvo en el lugar de muestreo. La sobrecarga del filtro de partículas puede cambiar la concentración de monóxido de nitrógeno y/o dióxido de nitrógeno. El alojamiento del filtro se limpiará cada 6 meses.

^{c)} Depende de las condiciones específicas del lugar establecidas en la instalación inicial.

^{d)} Si se produce una infracción de un criterio de acción, se tomarán medidas correctivas lo antes posible. Se hará una evaluación de la influencia de la infracción detectada en los datos de medición producidos antes de que se produjera la corrección efectiva de la infracción y se tendrá en cuenta durante la validación de los datos. Para garantizar el cumplimiento del criterio de captura de datos, éstos deberán ser inspeccionados por un operario capacitado todos los días laborables.

^{e)} En los niveles de eficiencia inferiores al 98 % es necesario aplicar una corrección por la (falta de) eficiencia del convertidor. La incertidumbre de la corrección se incluirá entonces en el presupuesto de la incertidumbre.

^{f)} Podrán utilizarse analizadores con convertidores no térmicos con eficiencias inferiores al 95 % que se utilicen en zonas rurales siempre que se determine la incertidumbre del factor de conversión y se demuestre que los resultados del analizador son equivalentes.

^{g)} En los analizadores de NOx con una sola cámara de reacción, una fuga en la válvula de conmutación entre los canales de NO y NOx puede provocar un grado de mezcla de los componentes de NO₂ y NO, causando una sublectura de la concentración de NO₂. Esto puede contribuir a una subestimación de la eficiencia del convertidor.

^{h)} La combinación de una serie de características de rendimiento que se aproximan a sus respectivos criterios de acción puede dar lugar a una violación del objetivo de calidad de los datos de la incertidumbre de la medición especificado en la Directiva 2008/50/CE. En este caso, se reevaluará incertidumbre en la medición para asegurar la conformidad con los requisitos de incertidumbre.

ⁱ⁾ Esto significa verificar la falta de ajuste. Significa verificar la linealidad del instrumento con calibración multipunto. La falta de ajuste del analizador se prueba utilizando como mínimo las siguientes concentraciones: 0%, 60%, 20% y 95% del máximo del rango de certificación del

contaminante (por ejemplo, NO) o el rango definido por el usuario. En cada concentración (incluido cero) se realizarán al menos dos lecturas individuales.

Tabla 4. Frecuencia requerida de calibración, verificación y mantenimiento de las mediciones de PM10 y PM2.5 en la UE. Se aplican requisitos similares para las mediciones de PM10 y PM2.5.

| Calibración, controles y mantenimiento. | Frecuencia ^a | Lab/Campo | Criterio de acción ^b | Requisitos de incertidumbre para los estándares de transferencia |
|--|--|-----------|--|--|
| <i>Método gravimétrico de PM con muestreo de filtro de bajo volumen (método de referencia)</i> | | | | |
| Mantenimiento regular de los componentes de la muestra. | Según lo requerido por el fabricante | L / F | - | - |
| Verificaciones de sensores para temperaturas y presión en la muestra | Cada tres meses ^a | F | ±3 K ±1 kPa | - |
| Calibración de sensores de temperatura y presión en el muestreador. | Anualmente | L / F | ±1,5 K ±0,5 kPa | 1.5 °C 0.5 kPa |
| Verificación de la velocidad de flujo del muestreador | Cada tres meses ^a | F | 5 % | 2 % |
| Verificación de la velocidad de flujo del muestreador | Anualmente | L / F | 1 % | 1 % |
| Control de fugas del sistema de muestreo | Anualmente | L / F | 1 % | - |
| Comprobaciones de los sensores de la sala de pesaje para temperatura y humedad relativa | Cada seis meses | L | ±1 K ±3 % RH | 0.4 °C 3 % RH |
| Comprobaciones de los sensores de la sala de pesaje para temperatura y humedad relativa | Anualmente | L | - | 0.2 °C 2 % RH |
| Calibración de la balanza. | Anualmente | L | - | 25 µg (para el rango de 0–200 mg) |
| <i>Analizadores continuos de PM (equivalentes cuando se prueban)</i> | | | | |
| Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos. | Diariamente (en días de trabajo) | L / F | Ver abajo | - |
| Comprobaciones de sensores de temperatura, presión y / o humedad ^c | Cada tres meses | F | ±2 °C ±1 kPa ±5 % RH | - |
| Comprobaciones de sensores de temperatura, presión y / o humedad ^c | Anualmente | L / F | - | 1.5 °C 0.5 kPa 3 % RH |
| Verificación de los caudales de AMS | Cada tres meses | F | ±5 % | 2 % |
| Calibración de los flujos de AMS | Anualmente | L / F | - | 1 % |
| Control de fugas del sistema de muestreo. | Anualmente | F | ±2 % | - |
| Verificación cero de la lectura de AMS | Anualmente | L / F | ±3 µg/m ³ | - |
| Comprobación del sistema de medición de masa AMS | Según lo recomendado por el fabricante y después de la reparación, pero al menos cada año. | L / F | según lo establecido por el fabricante, o ± 3% si es necesario | - |
| Mantenimiento regular de | Según lo recomendado | L / F | según lo establecido | - |

| | | |
|------------------------|----------------------|----------------------|
| componentes del AMS | por el fabricante | por el fabricante |
|------------------------|----------------------|----------------------|

^a Las frecuencias de las comprobaciones y calibraciones podrán relajarse cuando exista un historial suficiente que demuestre que las derivaciones de las lecturas de los sensores y los caudales se mantienen dentro de los requisitos especificados.

^b Con referencia a los valores nominales.

^c Para algunos instrumentos, esas comprobaciones y calibraciones no son posibles in situ debido a la posición de los sensores dentro del AMS. Por lo tanto, estas comprobaciones y calibraciones se limitan a los sensores que son accesibles en el campo (normalmente en el cabezal de muestreo). Como parte de las verificaciones anuales, las comprobaciones pueden realizarse en una sala de laboratorio con temperatura y humedad relativa constantes, comparando las lecturas de los sensores (después de la estabilización) con las de los patrones de referencia.

3.2.3 Requisitos de la normativa chilena, Decreto N.º 61

En Chile, la regulación para la operación de las estaciones de calidad del aire se documenta en el Decreto N.º 61.

Tal como las directivas de la UE y normas EN, enumera los requisitos para las mediciones de la calidad del aire. A continuación se indican las diferencias esenciales de la normativa chilena en comparación con la de la UE. Las diferencias se dan aquí como información contextual para la evaluación realizada en este Informe ya que explican algunas de las diferencias de las actividades de los operarios en comparación con las normas EN.

Tabla 5. Diferencias de la normativa chilena documentada en el Decreto N.º 61 con respecto a la normativa europea.

Diferencia

El Decreto no establece valores límite o umbrales de información y alerta.

El Decreto no menciona o no incluye todos los contaminantes pertinentes, por ejemplo, el benceno, los metales pesados (arsénico, cadmio, níquel, mercurio) y los hidrocarburos poliaromáticos como el benzo(a)pireno. En la legislación de la Unión Europea también es necesario medir las sustancias precursoras del ozono (compuestos orgánicos volátiles, COV) CE/OC, el sulfato, el nitrato, el amonio y otros iones principales.

En el Decreto no se habla del número de puntos de muestreo ni del número de compuestos medidos.

El Decreto no trata sobre la clasificación del tipo estación según los diferentes lugares de medición, por ejemplo, industrial, de tráfico, de fondo (back ground) urbano, de fondo (back ground) rural.

El Decreto no menciona ninguna Metodología normalizada a seguir, sino que enumera los requisitos, por ejemplo, para la calibración, para un AC/CC y la presentación de informes.

El Decreto no establece objetivos para la incertidumbre de la medición.

La captura de datos para el valor diario es del 75% mientras que no se indica el porcentaje de captura de datos para el valores horarios.

El Decreto no exige la documentación (y posterior revisión) de la selección del emplazamiento.

El Decreto no habla de poner los datos a disposición del público.

El Decreto no establece requisitos para los sistemas oficiales de gestión de la calidad.

El tiempo máximo de residencia se establece en 20 segundos (Normas EN 5-6 s, especialmente importante para las mediciones de NO_x).

Los requisitos de localización de los toma muestras para los sistemas de muestreo y su altura difieren de las directivas de la UE.

La calibración de los flujos y presiones en los analizadores de gas se realizará al menos una vez al año y cada vez que haya una intervención importante, mientras que en las normas EN el flujo de muestras en el analizador se mantendrá dentro de las especificaciones del fabricante del analizador. En las normas EN no se dan más consejos para la calibración o las comprobaciones, ya que los analizadores dan avisos cuando el flujo se encuentra fuera de las especificaciones recomendadas.

Calibración multipunto del analizador de CO, SO₂, O₃: una vez al año (al menos 5 puntos) mientras que en las Normas EN, cada 3 meses cero y span, y linealidad una vez al año. La máxima precisión permitida para cada punto utilizado en la calibración (referida a la concentración del gas de calibración) es del 10%; un porcentaje mayor de ajuste, mientras que en las Normas EN el criterio de acción es del 5% para las comprobaciones.

Calibración del cero y el span en los analizadores de gas al menos una vez a la semana. La calibración del cero y el span puede realizarse con gases de calibración con una precisión analítica de hasta el 2%. En este caso, las Normas EN son menos exigentes, ya que se requiere el cero y el span cada dos semanas (aunque se recomienda 23 o 25 h) y la máxima incertidumbre permitida para el gas de calibración es del 5%.

El proceso de validación debe llevarse a cabo sobre la base de los datos obtenidos según los meses calendarios, mientras que en las Directivas de la UE los datos deben estar disponibles en línea para el público y los datos validados deben enviarse anualmente a la Agencia Europea de Medio Ambiente.

3.3 ANTECEDENTES EVALUADOS

En el área de Quintero-Puchuncaví y Concón, las mediciones de calidad del aire las realizan dos operarios, SGS y Algoritmos. Algoritmos está a cargo del sitio de Loncura, mientras que el resto de los emplazamientos son operados por SGS. Para la evaluación, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) seleccionó cuatro emplazamientos para presentar las mediciones de calidad del aire en la zona. Estos son los mismos emplazamientos que serán auditados por el Laboratorio nacional de referencia del FMI en un paso posterior del proyecto. Los emplazamientos seleccionados son:

1. Quintero Centro (el supersitio planeado, operario SGS)
2. Quintero (operario SGS)
3. Junta de Vecinos, Concón (operario SGS)
4. Loncura (operario Algoritmos)

3.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Cabe indicar que en las Directivas de la UE relacionadas con la calidad del aire, no hay instrucciones específicas, requisitos u objetivos de calidad para los datos meteorológicos. Estos datos se consideran datos suplementarios para la interpretación de los datos de calidad del aire. Es necesario confirmar que los sensores meteorológicos funcionan correctamente y se deben seguir los manuales del sensor. Esto puede incluir, por ejemplo, comprobaciones, calibraciones o comparación con datos meteorológicos oficiales. Es crucial que los sensores meteorológicos estén instalados correctamente y se recomienda un SOP para la instalación. Con respecto a las mediciones de hidrocarburos, las directivas de la UE y las normas EN solo dan orientación y requisitos para la medición de hidrocarburos específicos como el benceno, pero los hidrocarburos totales no se mencionan en la legislación. Para la deposición, las directivas de la UE y las normas EN dan orientación y requisitos para el muestreo y el análisis químico de la precipitación (por ejemplo, para la determinación de arsénico, cadmio, níquel y benzo (a) pireno en el agua de lluvia). De lo anterior, para este informe la evaluación se concentra en

la documentación asociada a las mediciones de los siguientes contaminantes CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂, PM10 y PM2.5.

La documentación solicitada como prioritaria de las mediciones de la calidad del aire al MMA y a Eurochile incluyó:

- PNT u otras instrucciones sobre cómo realizar el mantenimiento, la calibración y otros trabajos diarios con los monitores de calidad del aire
- Informes de calibración y mantenimiento
- Certificados de los equipos de monitoreo, incluyendo calibradores, sistemas de aire cero, medidores de flujo y cilindros de gas de calibración.

Además, en la evaluación se incluyeron también otros documentos, como PNT para la validación de datos. Eurochile envió una lista de documentos disponibles del operario SGS en febrero. Los documentos evaluados se enviaron en abril-junio de 2020. La mayoría de los documentos fue traducido del español al inglés con antelación a su envío al FMI.

La evaluación en este informe se basa en la documentación priorizada recibida. Las normativas de la UE y las Normas EN se consideran el punto de referencia con el que se comparan las actividades de medición en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví.

A continuación se realiza la evaluación de cada categoría por separado para los dos operadores de las estaciones, SGS y Algoritmos, para aclarar las posibles diferencias de funcionamiento entre operarios. Se subrayan las principales conclusiones y recomendaciones, y las más importantes se indican en negrita que generalmente se relacionan directamente con la veracidad de los datos de medición.

3.4.1. Procedimiento Normalizado de Trabajo (PNT)

En este caso, el término PNT (procedimiento normalizado de trabajo) se considera un documento que incluye instrucciones sobre cómo realizar actividades específicas relacionadas con las mediciones de la calidad del aire y no es necesario que sea un procedimiento normalizado oficial. Primero se resumen los resultados de los PNT de SGS y, a continuación, los PNT de Algoritmos.

Los PNT evaluados de ambos operarios forman parte de un sistema interno de gestión de la calidad (SGC). Los PNT son fáciles de rastrear ya que incluyen un título claro, el código de identificación del documento, los números de página, el número de versión, la fecha de preparación y las revisiones, y una lista de los cambios implementados en el documento. También incluyen información sobre quién ha producido, revisado y aprobado el documento, sin embargo, sólo se menciona el título y no la persona. Los SGC no se evaluaron en este informe; en su lugar se evaluaron los documentos prioritarios relacionados con las mediciones de la calidad del aire.

3.4.1.1 SGS

La lista de PNT evaluados se presenta en la **Tabla 6**. En total, se evaluaron 13 PNT del SGS para este informe. En cuanto a los documentos solicitados, se recibieron todos los documentos excepto los siguientes:

- PNT específicos para diferentes analizadores de gas, por ejemplo, Thermo, Environnement, Ecotech => Si los usuarios están familiarizados con los manuales de los analizadores, puede que no sean necesarios. Sin embargo, a menudo este tipo de PNT se prepara para facilitar las actividades del personal de campo.

En general, los PNT incluyen una gran cantidad de instrucciones sobre cómo realizar las mediciones de la calidad del aire o los procedimientos relacionados con ellas. A continuación se ofrecen varias recomendaciones para aclarar y describir temas específicos en los PNT.

Tabla 6. Lista de PNT evaluados por SGS.

| Documento | Contenido del documento | Tipo de documento | Idioma |
|--|--|-------------------|--------|
| <i>Documentos generales</i> | | | |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-01 Proced. Gral. Ope Est - Rev.01_english (doc) | Describe cómo debe llevarse a cabo la operación de las estaciones de calidad del aire, así como establecer las metodologías para medir las concentraciones de contaminantes ambientales en la atmósfera de referencia o equivalente. | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-07_english (doc) | Corresponde a un documento general sobre: - Técnicas de medición (por ejemplo, UV) - Selección del sitio - Requisitos de documentación Entrega las pautas para hacer informes de calidad del aire de manera ordenada y estandarizada para toda el área | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-351 Data validation | proporciona pautas y criterios para la validación de datos sobre calidad del aire | SOP | EN |
| <i>Documentos relacionados a medición de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i> | | | |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-141 Calibración de Cero Span- english (doc) | describe los pasos para verificar el valor cero y el intervalo de un monitor de gas continuo y ajustar estos valores de acuerdo con los valores de referencia | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-121 Inst Gral de Monitoreos-Rev01 (pdf) | El propósito de esta instrucción es describir el proceso de monitoreo de la calidad del aire para los monitores de gas (CO, SO ₂ , NO ₂ , HCT y O ₃). Proporciona recomendaciones para la instalación de equipos, captura de datos, mantenimiento de equipos, calibraciones, validaciones e informes de información que se | SOP | EN |

| | | | |
|---|--|-----|----|
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-131 | llevarán a cabo bajo cualquier programa de monitoreo. describe la metodología para verificar el comportamiento del flujo volumétrico y estándar en un monitor de gas continuo | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-151_Multipoint_Check | Describe la actividad de la calibración multipunto para analizadores de gases. | SOP | EN |
| <i>Documentos relacionados a mediciones de Material particulado</i> | | | |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-011 CALIBRA. MUEST ALTO VOL-english (doc) | describe los pasos para verificar la estanqueidad y el flujo de operación de la muestra de alto volumen volumétrico | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-02 Muestreadores de Alto Volumen_english | describe las etapas de instalación, operación y mantenimiento de muestreadores de alto volumen. | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-05 Proced Traslado de Filtros-english (doc) | describe cómo se deben transferir los filtros asociados con el muestreo de partículas MP10, MP2.5, incluidos los contenedores correspondientes al muestreo. Sedimentados de Material particulado (MPS) y filtros de partículas de Higiene industrial | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-251 Manten y Opera. Eq PQ200-english (doc) | describe la metodología a seguir para realizar el mantenimiento y la operación para instrumentos de medida de partículas MP10, MP 2,5 de bajo volumen marca BGI modelo PQ200. | SOP | EN |
| EHS-L3-SAM(CL)-CA-261 Cambio de Motor y Carbones de Muestreador Alto Volumen_english | describe las pautas generales para cambiar motores y carbonos a muestreadores gravimétricos de alto volumen. | SOP | EN |
| Maintenance and Operation of Beta Continuous Monitors-EHS-L3-SAM(CL)-CA-291 | Describe cómo el mantenimiento y las operaciones básicas de los muestreadores continuos de partículas beta. | SOP | EN |
| I-ENV-LAB-404 Rev06_Pesaje de Filtros Calidad del Aire (filter weighing) | Describe el procedimiento de pesaje del filtro en el laboratorio. | SOP | EN |

PNT Generales

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-01' describe cómo debe llevarse a cabo el funcionamiento de las estaciones de calidad del aire, y establece las metodologías para medir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos. Además, incluye las responsabilidades del personal, los criterios para la selección del emplazamiento, los requisitos para el equipo y la instrumentación, la descripción de los métodos de medición y una breve parte sobre la calibración y el mantenimiento. En lo que respecta a la selección del emplazamiento, el PNT da instrucciones sobre cómo colocar las estaciones a distancias especificadas de la calle, sin embargo, de acuerdo con los reglamentos europeos, los sitios de tráfico deben establecerse en un radio de 10 m de la carretera. De acuerdo con nuestras observaciones, el PNT sigue los requisitos del Decreto nacional N.º 61, y las preocupaciones planteadas en el capítulo 3.2.3 son válidas para este PNT. El PNT aporta instrucciones generales de AC/CC tratadas en el capítulo 3.4.2.

El mismo PNT enumera los métodos de referencia que se consideran métodos de referencia para los gases también en la UE, excepto para el ozono. Para el ozono, el PNT describe un método de

quimiluminiscencia con etileno de acuerdo con la norma ISO 10313:1993 y el método EPA 40 CFR Parte 50 Apéndice D, mientras que en la UE el método de referencia es la fotometría ultravioleta. Sin embargo, el PNT establece este método como el método principal de calibración del O₃, así como un método equivalente. Además, en el PNT se enumeran otros métodos equivalentes, por ejemplo, el método de espectroscopia de absorción óptica diferencial (DOAS). Además, el método de referencia de PM difiere del método de referencia de la UE. En el PNT se describe un método de referencia de alto volumen, mientras que en la UE el método de referencia es un método de bajo volumen bastante similar, que a su vez en el PNT se considera un método equivalente. Para la medición continua de PM, el PNT enumera dos métodos equivalentes: la microbalanza oscilante de elemento cónico (TEOM) y la atenuación de rayos beta. Estos se utilizan como métodos equivalentes también en la UE cuando se prueban con pruebas de equivalencia. En el PNT se describe también brevemente el uso de muestreadores pasivos y activos y de sensores remotos como los satélites, y en gran medida el uso de equipo meteorológico.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-07' da instrucciones sobre el procedimiento general de preparación de informes de calidad del aire. La validación de los datos se indica en otro PNT ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-35'). Es una buena señal que el PNT informe sobre cómo copiar los datos en bruto y trabajar en ellos como promedios por hora, ya que es esencial guardar los datos en bruto tal como están, y los datos por hora es el formato ideal para los informes. Además, es bueno utilizar el factor de corrección basado en las calibraciones. Sin embargo, el PNT es de carácter muy general y se debe estimar si es suficiente para que el personal lleve a cabo la validación de los datos de manera sistemática. No se menciona la aplicación utilizada para el procesamiento de los datos (programa oficial de procesamiento de datos, por ejemplo Excel), dónde obtener los factores de calibración y cómo utilizarlos en detalle, qué hacer cuando el cero y el span están fuera de los criterios, dónde guardar los datos validados y dónde documentar cómo, cuándo y quién ha validado los datos.

PNT relacionados con las mediciones de gas (CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂)

En cuanto a las mediciones de gas, se facilitó un PNT con instrucciones muy generales ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-121'), un PNT para la calibración de cero y span ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-141'), un PNT para calibración de multipunto (EHS-L3-SAM(CL)-CA-151) y un PNT para las comprobaciones de flujo ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-131').

El PNT ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-121') ofrece recomendaciones generales para la instalación del equipo, la captura de datos, el mantenimiento del equipo, las calibraciones, las validaciones y los informes de información que deben llevarse a cabo bajo cualquier programa de supervisión. Además de las instrucciones generales, hace referencia a los Manuales del Fabricante para acciones específicas de calibración y mantenimiento y a otros PNT, por ejemplo, para la comprobación del cero y del span (-CA-141), la comprobación multipunto (-CA-151), la comprobación del flujo (-CA-131) y la prueba de fugas (-CA-111). El PNT no indica especificación alguna para el tipo de filtro y esto se le debería añadir. De acuerdo con las normas EN, el material del filtro debe ser politetrafluoroetileno (PTFE) con un tamaño de poro recomendado de 5 µm. El PNT aconseja cambiar el filtro de partículas cada 2 semanas o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante); este intervalo es bastante aceptable y se encuentra dentro del criterio de las normas EN. Sin embargo, el PNT no da instrucciones sobre cómo manejar el soporte del filtro. De acuerdo con las normas EN, el alojamiento del filtro debe limpiarse al menos cada seis meses; esto debe indicarse en el PNT y en el trabajo real realizado en el lugar. El PNT aconseja

limpiar los conductos neumáticos cada mes o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante); si son los mismos que los conductos de muestreo (y no los conductos internos del analizador), esto se hace conforme a las normas EN, ya que éstas exigen que los conductos de muestreo se cambien o se limpien al menos cada seis meses. Además, las normas EN aconsejan que el sistema de muestreo y el filtro de partículas se acondicionen (en la instalación inicial y después de cada limpieza) para evitar disminuciones temporales de las concentraciones medidas tomando muestras del aire ambiente durante un período de al menos 30 minutos a la velocidad de flujo de muestra nominal (el acondicionamiento también puede hacerse en el laboratorio antes de la instalación); este procedimiento no se menciona en los PNT.

Los PNT no mencionan el tiempo de residencia en el sistema de muestreo que se relaciona directamente con la longitud del conducto de muestra. Esto es sobre todo importante para la medición del NO. Dado que el O₃ está normalmente presente en el aire muestreado, se producirá un cambio en las concentraciones de NO y NO₂ debido a la reacción del NO con el O₃ en la entrada y conducto o colector de muestreo, y en el analizador. En la práctica, se puede evitar un cambio significativo en las concentraciones de NO y NO₂ cuando el tiempo de residencia en el sistema de muestreo es ≤3s. El requisito para el tiempo de residencia en el analizador es ≤3s (normas EN) y para todo el sistema, normalmente menos de 6s para evitar, por ejemplo, la formación significativa de dióxido de nitrógeno. Se evaluará el tiempo de residencia para el canal de NO. No es necesario evaluar el tiempo de residencia para el canal de NO_x (en el que está presente el convertidor) ya que todo el NO₂ se convierte en NO en el convertidor. Por lo tanto, la longitud máxima permitida del conducto de muestra debe añadirse a los PNT.

Puesto que el Decreto N.º 61 requiere la calibración del flujo de los analizadores de gas al menos una vez al año, SGS tiene un PNT relacionado con esta tarea. Como se indica en el capítulo 3.2.3, se trata de un procedimiento que normalmente no necesita realizarse como rutina. El PNT 'EHS-L3_SAM(CL)-13I' no reconoce el hecho de que el flujo de los analizadores de NO/NO₂/NO_x cambia periódicamente entre los modos de medición (entre NO y NO_x) y, por lo tanto, dependiendo del momento de la comprobación, los resultados del flujo pueden ser muy diferentes. Cabe señalar que el PNT no indica cómo ajustar el flujo, sino que da instrucciones para enviar el equipo a corregir/ reparar. Tampoco indica la frecuencia de las comprobaciones, sin embargo, en los PNT 'EHS-L3_SAM(CL)-CA-01' y 'EHS-L3_SAM(CL)-12I' se indica que se haga anualmente o cuando se cambie un componente en el analizador u otra intervención hecha al analizador. Sin embargo, de acuerdo con los documentos de mantenimiento (Capítulo 3.4.3), los flujos se verifican y ajustan si es necesario con bastante frecuencia.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-14I' explica el procedimiento de comprobación de cero y span con aire cero y una concentración de span (80% del rango establecido en el equipo) con 10 min de tiempo de estabilización para cada uno (o como se determine en el manual del fabricante).

El PNT da opciones para realizar la comprobación del cero y el span ya sea manual o automáticamente. El PNT indica cómo usar el 10 % como criterio de aceptación para la calibración (Capítulo 4 en el PNT), sin embargo, más adelante en el capítulo 5.3., el PNT informa sobre cómo ajustar el cero y el span después de la comprobación manual cada vez independientemente de los resultados (si están dentro del criterio del 10 % o no). Esto debería aclararse en el PNT: cuál es el criterio de acción después de la comprobación manual, es decir, si existe un criterio del 10 % (recomendamos el 5 %) o si el ajuste debe realizarse en cualquier caso. **En el caso del gas cero, los criterios de aceptación no se indican en ningún**

punto del PNT. En las normas EN, se da un criterio de acción del 5 % para el gas span y otro valor (por ejemplo, SO₂, NO, O₃: ≤-4,0 o ≥ 4,0 nmol/mol) para el gas cero. Para las comprobaciones automáticas de cero y de span, se da una opción para la calibración en el PNT, sin embargo, se menciona que la calibración con comprobaciones automáticas no cumple con los métodos de la EPA. En las normas EN, no deben utilizarse para la calibración las comprobaciones automáticas del cero y del span, por lo que se desaconseja la calibración automática. Por el momento, en el PNT no se dan consejos sobre los criterios de repetibilidad a cero y span del analizador; se aconseja añadirlos. Las normas EN exigen que se compruebe la repetibilidad en la concentración cero y span al menos cada tres meses con 10 mediciones individuales. Además, no se aconseja el intervalo de verificación de los gases utilizados para las comprobaciones del cero y del span; se aconseja añadirlo. En las normas EN, el intervalo requerido para el SO₂, NO y CO es de seis meses para los gases de comprobación de cero y de span y de tres meses para el ozono; sin embargo, no se recomienda para los gases de calibración. Además, las normas EN establecen que los gases de calibración deben ser diferentes de los utilizados para las comprobaciones de cero y de span. En el capítulo 3.4.4 de este informe, la trazabilidad de los gases de cero y de span se trata más a fondo.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-15I' describe la calibración multipunto y la prueba de linealidad. Para la calibración multipunto, el PNT da instrucciones para usar 10 min de tiempo de estabilización, lo cual es bueno, sin embargo, sólo indica usar dos concentraciones de span mientras que el PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-01' recomienda usar cuatro spans y el PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I' usar tres spans. **Los PNT deben corregirse para informar de la calibración multipunto de manera unificada. Para la calibración multipunto, se recomienda una calibración de al menos 4 puntos.**

Para la linealidad, no se dan instrucciones detalladas en los PNT y esto debería mejorarse. De acuerdo con las normas EN, la linealidad del analizador se probará utilizando como mínimo las siguientes concentraciones: 0%, 60%, 20% y 95% del máximo del rango de certificación del gas (por ejemplo, SO₂). En cada concentración (incluido el cero) se realizarán al menos dos lecturas individuales. Después de cada cambio de concentración se tendrán en cuenta al menos cuatro tiempos de respuesta antes de realizar la siguiente medición.

En lo que respecta a las mediciones de NO_x, **no se han encontrado instrucciones relacionadas con la comprobación de la eficiencia de la conversión, por lo que el operario deberá comprobar si estas existen.** De acuerdo con la norma EN (EN 14211), esto debe realizarse una vez al año. Se hará una corrección matemática de la concentración de NO₂ cuando la eficiencia del convertidor esté entre el 95-98%. Si la eficiencia es menor del 95%, el convertidor debe cambiarse.

PNT relacionados con las mediciones de PM10 y PM2.5

En la red, existen tres métodos diferentes para medir PM10 y PM2.5. Se trata de los métodos de muestreo con filtro, con muestreo de bajo o alto volumen, y los métodos continuos. Así pues, existen varios PNT relacionados con la medición de PM.

En la UE, hoy en día no existe un método de referencia para el muestreo de alto volumen, sin embargo, solía ser un método de referencia antes de las actualizaciones en la normalización de las PM en 2014. Por lo tanto, los PNT de alto volumen de PM se evalúan aquí de forma general, sin un estándar de referencia. Las normas EN retiradas son las siguientes: (A) para PM10: *EN 12341:1998 Air Quality*.

Determinación de la fracción de PM10 de las partículas en suspensión. Método de referencia y procedimiento de prueba de campo para demostrar la equivalencia de referencia de los métodos de medición. Y (b) para PM2.5: EN 14907:2005. Calidad del aire ambiente. Método de medición gravimétrica estándar para la determinación de la fracción de masa PM2.5 de materia particulada en suspensión.

En general, el PNT "EHS-L3-SAM(CL)-CA-02" relativo a la toma de muestras de PM de alto volumen (HVS) está bien preparado. La frecuencia de muestreo es de 24 h o un mínimo de 18 h. En las normas EN, el tiempo de muestreo debe ser de 24 ± 1 h. **El criterio de control del flujo es de $\pm 10\%$ del flujo deseado (1,13 m³/min, o 68 m³/h), mientras que en las normas EN el criterio es más estricto, con $\pm 5\%$.** El PNT hace referencia al programa de mantenimiento para la calibración del flujo y los intervalos de verificación, donde la actividad es indicada a relizar cada 3 meses.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-01' explica la calibración del flujo de PM y la prueba de fugas. Según el PNT, el resultado de la prueba de fugas parece estar basado en una observación de un sonido extraño en lugar de un registro numérico real que puede ser de la instrucción del manual del instrumento. Si las instrucciones del PNT se entienden correctamente, la calibración de flujo se realiza en 5 puntos de presión cada 3 años a menos que se observen resultados desviados en las comprobaciones de flujo regulares ('...debe completar los 5 puntos de presión de la hoja de cálculo multipunto... La validez de los patrones de flujo utilizados será de 3 años después de la última calibración realizada.'). En las normas EN, la calibración del flujo se realiza **al flujo nominal una vez al año, mientras que los controles de flujo deben realizarse cada 3 meses.** En los controles, el valor instantáneo estará dentro del criterio del $\pm 5\%$, mientras que en la calibración, el flujo estará dentro del $\pm 1\%$ según la norma EN (para el método LVS). Además, el caudalímetro debe ser trazable y la incertidumbre relativa ampliada del caudalímetro (confianza del 95%) será $\leq 2\%$ (verificación del caudal) o bien $\leq 1\%$ (calibración del caudal) en condiciones de laboratorio. **El PNT no ofrece criterios para la variación del flujo o la exactitud y trazabilidad del caudalímetro; éstos deben añadirse.**

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-05' sobre filtros indica cómo enviar las muestras de PM10 y PM2.5 semanalmente o al menos en un plazo de 20 días al laboratorio; esto se considera un buen intervalo. Sin embargo, no establece ningún requisito para las condiciones ambientales, por ejemplo, criterios de temperatura o protección contra el sol, ya que las altas temperaturas pueden afectar a las pérdidas de partículas volátiles o semivolátiles. **Las condiciones de temperatura adecuadas para el almacenamiento de los filtros muestreados deben tenerse en cuenta minuciosamente y aplicarse** de manera que la pérdida de materiales volátiles y semivolátiles se reduzca al mínimo durante el período de almacenamiento. En el PNT también se enumeran los tipos de filtros; sin embargo, **no se especifican los filtros que se utilizan para el muestreo de PM10 y PM2,5** (y los que se utilizan para la higiene industrial o el material particulado sedimentado que no forman parte de la evaluación); **esto debería aclararse.** Por lo tanto, no se puede realizar ningún análisis sobre la idoneidad del tipo de filtro.

El PNT "EHS-L3-SAM(CL)-CA-251" da instrucciones para el uso del muestreador de bajo volumen (LVS) con carga de un solo filtro (instrumento BGI PQ200). El flujo nominal de 16,7 Lpm es correcto. En este PNT, el flujo se calibra cada dos años con 3 valores de flujo (repartidos uniformemente en un rango de $\pm 10\%$ del flujo de operación de 16,7 Lpm). Por otro lado, el programa de mantenimiento implica que la frecuencia puede ser cada 6 meses. Una vez más, **esto difiere de las normas EN como se describe para las HVS.** El PNT indica que se utilizan filtros de PTFE (diámetro 47mm); sin embargo, los filtros

deberían estar especificados en el PNT. El PNT no ofrece ningún criterio de acción si el período de muestreo varía de las 24h y no da instrucciones para la codificación de los filtros. **No ofrece tampoco consejos sobre el intervalo de las verificaciones del flujo (aparte de la calibración cada 2 años) ni la variación aceptada del valor nominal.** Todos estos hechos deben documentarse preferentemente en el PNT (o en otro lugar).

El PNT 'I-ENV-LAB-404' describe el procedimiento para pesar los filtros en el laboratorio. Además de la exactitud del flujo en las mediciones de PM, esto es parte esencial del resultado de PM ya que da la masa de la muestra. En general, el PNT aconseja todos los aspectos importantes del pesaje de filtros, incluyendo el criterio de la balanza y su calibración, las condiciones (temperatura y humedad relativa), el control de calidad (por ejemplo, peso de control, medición paralela), la contaminación y los criterios de invalidación. Sin embargo, los requisitos y procedimientos difieren del método de referencia europeo (norma EN 12341) y se resumen en las siguientes frases. En el PNT, los criterios para la temperatura (temp) y la humedad relativa (HR) son 20-45% ($\pm 5\%$) y 15-30°C ($\pm 3\text{C}$), respectivamente, mientras que en la norma EN 12341, los criterios son más estrictos con HR 45-50% y temp 19-21°C. Sin embargo, lo más relevante es que la HR y la temperatura están dentro de los criterios de $\pm 5\%$ y $\pm 3\text{C}$ dentro de los rangos establecidos durante y entre el pesaje inicial en vacío y el pesaje posterior de la muestra. Los sensores de temperatura y HR se calibran cada 3 meses, y los criterios de aceptación de ± 2 unidades son similares a los criterios de estas comprobaciones en la norma EN 12341 (temp $\pm 1\text{C}$, HR $\pm 3\%$, comprobación cada 6 meses, calibración cada año). Los tiempos de estabilización de los filtros son bastante cortos y los criterios de aceptación un poco dispersos: en el PNT, el filtro no recogido se estabiliza durante 24 h y luego 1 hora extra para el segundo pesaje con una diferencia aceptable de 0,5 mg para la mayoría de los filtros (norma EN: primero 48 h y luego 12 h extra, diferencia aceptable 0,04 mg) y el filtro recogido se estabiliza durante un mínimo de 24 h, seguido de un segundo pesaje sin plazo de tiempo con una diferencia aceptable de 0,5 mg para la mayoría de los filtros (norma EN: primero 48 h y luego otro pesaje después de 12-72 h, diferencia aceptable 0,06 mg => esta diferencia de masa equivale a una diferencia de concentración medida de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La resolución de la balanza de 0,0001 g no es suficiente para cumplir el requisito de la norma EN 12341 ($10 \mu\text{g}=0,00001 \text{g}$), por lo que se podría utilizar una microbalanza en lugar de una balanza analítica para los filtros de 47 mm de diámetro (esta afirmación no es válida para los filtros HVS más grandes), aunque hay que mencionar que el precio de dicha balanza es mucho mayor que el de una balanza analítica. La balanza se comprueba diariamente, pero no se da información sobre la frecuencia con la que se calibra completamente; se debe confirmar que se hace por lo menos una vez al año. La elección de pesas de control del control de calidad debería reconocer la masa PM ponderada; por lo tanto, se recomienda encarecidamente la adición de pesas de control más pequeñas para comprobar el funcionamiento de la balanza y detectar los pequeños cambios de masa debidos a las partículas (en lugar de comprobar únicamente la calidad para una masa de filtro mucho mayor). Por lo demás, el uso de pesas de control de calidad parece un buen método. El PNT reconoce los blancos de laboratorio; sin embargo, no está claro si se recogen los blancos de campo y esto debería implementarse definitivamente.

El PNT "EHS-L3-SAM(CL)-CA-29I" describe el mantenimiento y las operaciones básicas del analizador continuo de PM Thermo 5014i. Este texto se asemeja un poco al texto del manual, lo cual es totalmente aceptable, pero debería abordar la programación de ciertas actividades regulares. El flujo debe calibrarse anualmente y comprobarse cada 3 meses, la lectura cero debe comprobarse anualmente (actividad no mencionada en todo caso ahora), la prueba de fugas debe realizarse anualmente (actividad no mencionada en todo caso ahora) y, si procede, la comprobación y calibración de los

sensores de temperatura, presión y humedad debe realizarse cada 3 meses y una vez al año, respectivamente. Además, en el PNT se recomienda la calibración anual de la masa; **esto debería ser un requisito, y se recomiendan comprobaciones trimestrales de la masa. El programa de mantenimiento no menciona la medición continua de PM y debe actualizarse para incluirla.**

En los PNT descritos anteriormente se hizo referencia a otros dos PNT. Estos son 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-02I. Cambio del filtro del muestreador de alto volumen' y 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-03I. Mantenimiento del cabezal [entrada de PM]'. Estos no se entregaron, y por lo tanto, no fueron evaluados.

3.4.1.2 Algoritmos

La lista de PNT entregados y evaluados se presenta en la **Tabla 7**. En total, se recibieron para su evaluación siete PNT relativos a mediciones en la estación de Loncura. Con respecto a los documentos solicitados, se recibieron todos los documentos, excepto los siguientes:

- un PNT para el método de medición de bajo volumen PM10 y PM2.5
- un PNT para el método de medición de alto volumen PM2.5 (si se usa en Loncura)

En general, los PNT incluyen una gran cantidad de instrucciones sobre cómo realizar mediciones de calidad del aire o procedimientos relacionados con ellos. A continuación se presentan varias recomendaciones para aclarar y describir temas específicos en los PNT.

Tabla 7. Lista de PNT evaluados para Algoritmos.

| Documento | Contenido del documento | Tipo de documento | lenguaje |
|--|---|-------------------|----------|
| <i>Documentos generales</i> | | | |
| P-6001 Operación y Calibración EMCA_english (doc) | Este procedimiento establece la metodología y las acciones para garantizar la operación y la calibración del equipo que conforma las Estaciones de Monitoreo de la Calidad del Aire (EMCA) y las Instrucciones y Registros asociados con este proceso. | PNT | EN |
| P-0702 Inspecciones EMCA (pdf) | Este procedimiento establece la metodología y las acciones a seguir para llevar a cabo inspecciones (planificadas o no) a las Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire (EMCA) instaladas y operadas por esta administración (inspección y auditoría interna) | PNT | SPA |
| I-6008 Datalogger (pdf) | Las instrucciones establecen la metodología para el uso básico del software. LoggerNet 3.4.1 | PNT | SPA |
| <i>Documentos relacionados a mediciones de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i> | | | |
| I-6001 Operación y Mantenimiento Analizadores Teledyne Rev.03 (pdf) | Las instrucciones establecen la metodología y las acciones para la operación y el mantenimiento básico de los monitores de gas Teledyne. | PNT | EN |

Documentos relacionados con mediciones de material particulado

| | | | |
|--|---|-----|----|
| I-6006 MP High Vol (pdf) | Estas instrucciones establecen la metodología y las acciones para garantizar operación del muestreador de partículas de alto volumen, el temporizador de muestreo y registros asociados con estos procesos. (Partículas recogidas en filtros durante 24 horas, alto volumen, el método de pesaje) | PNT | EN |
| I-6009 MP-MetOne BAM 1020 Rev.02 (pdf) | Las instrucciones establecen la metodología y las acciones para la operación y el mantenimiento preventivo y correctivo del monitor BAM PM2.5 y PM10. | PNT | EN |
| ILAB-F / 01 Preparación, manejo, transferencia de datos y almacenamiento de filtros. | Las instrucciones establecen el procedimiento de pesaje de filtros en el laboratorio. | PNT | EN |

PNT Generales

En el PNT I-6001 se dan instrucciones muy generales sobre responsabilidades, funcionamiento, mantenimiento operativo, registros y calibración. Las instrucciones reales para los procedimientos de AC/CC se dan en los PNT específicos del analizador que se discuten en las siguientes secciones.

El PNT P-0702 establece la metodología y las acciones para llevar a cabo las inspecciones a las Estaciones de supervisión de la calidad del aire. Estas inspecciones son similares a las auditorías internas, y el PNT da instrucciones para preparar un informe de inspección que enumere también las no conformidades encontradas. Esta actividad se considera muy buena, pero la realización en la práctica no se evaluó en este estudio.

No se solicitó el PNT para la validación de los datos, por lo que no se entregó. Esto podría evaluarse en la auditoría de la última fase del proyecto.

Los PNT que se relacionan con las mediciones de gas (CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂)

I-6001 es un PNT para los analizadores de gas de Teledyne. Da instrucciones sobre el rescate de datos, la calibración del cero y del span, la calibración multipunto y otros trabajos de mantenimiento.

Para el gas cero, los criterios de aceptación se indican en el PNT. En las normas EN, los criterios de aceptación para el gas cero son ≤ -4.0 o ≥ 4.0 nmol/mol para SO₂, NO y O₃, y ≤ -0.5 o ≥ 0.5 μ mol/mol para CO. En el PNT se facilitan criterios de aceptación incluso ligeramente inferiores, lo cual es bueno. Para el gas span, el criterio de acción de $\pm 5\%$ es equivalente al requisito de las normas EN. Sin embargo, el PNT no da instrucciones sobre los tiempos de estabilización, y esto debe añadirse. Por el momento, en el PNT no se dan consejos sobre los criterios de repetibilidad a cero y span del analizador; se

aconseja añadirlos. Las normas EN exigen que se compruebe la repetibilidad en la concentración cero y span al menos cada tres meses con 10 mediciones individuales. Además, no se aconseja el intervalo de verificación de los gases utilizados para las comprobaciones del cero y del span; se aconseja añadirlo.

La calibración multipunto se realiza con 4 puntos; esto es adecuado; sin embargo, el punto de calibración del 80% debería incluirse en la calibración multipunto (actualmente 0-60%). Las instrucciones sobre los tiempos de estabilización deben añadirse en el PNT. Se da la determinación de la eficiencia de conversión (NOx), pero podría describirse con más detalle para asegurar el funcionamiento correcto. Para la linealidad, no se dan instrucciones detalladas en los PNT y esto debería mejorarse. De acuerdo con las normas EN, la linealidad del analizador se probará utilizando como mínimo las siguientes concentraciones: 0%, 60%, 20% y 95% del máximo del rango de certificación del gas (por ejemplo, SO₂). En cada concentración (incluido el cero) se realizarán al menos dos lecturas individuales. Después de cada cambio de concentración se tendrán en cuenta al menos cuatro tiempos de respuesta antes de realizar la siguiente medición.

El PNT no indica especificación alguna para el tipo de filtro y esto se le debería añadir. De acuerdo con las normas EN, el material del filtro debe ser politetrafluoroetileno (PTFE) con un tamaño de poro recomendado de 5 µm. El PNT aconseja cambiar el filtro de partículas cada mes; este intervalo es bastante aceptable y se encuentra dentro del criterio de las normas EN. Sin embargo, el PNT no da instrucciones sobre cómo manejar el soporte del filtro. De acuerdo con las normas EN, el alojamiento del filtro debe limpiarse al menos cada seis meses; esto debe indicarse en el PNT y en el trabajo real realizado en el lugar.

El PNT aconseja limpiar los conductos neumáticos una vez al año en el punto 5.12 y dos veces al año en el punto 5.16; esto debe aclararse. Si esta limpieza se refiere a los conductos de muestreo (y no a las líneas del interior del analizador), se recomienda un intervalo de 6 meses, ya que es conforme a las normas EN, puesto que éstas exigen que los conductos de muestreo se cambien o se limpien al menos cada seis meses. Además, las normas EN aconsejan que el sistema de muestreo y el filtro de partículas se acondicionen (en la instalación inicial y después de cada limpieza) para evitar disminuciones temporales de las concentraciones medidas tomando muestras del aire ambiente durante un período de al menos 30 minutos a la velocidad de flujo de muestra nominal (el acondicionamiento también puede hacerse en el laboratorio antes de la instalación); este procedimiento no se menciona en el PNT.

Los PNT no mencionan el tiempo de residencia en el sistema de muestreo que se relaciona directamente con la longitud del conducto de muestra. Esto es sobre todo importante para la medición del NO. Dado que el O₃ está normalmente presente en el aire muestreado, se producirá un cambio en las concentraciones de NO y NO₂ debido a la reacción del NO con el O₃ en la entrada y conducto o colector de muestreo, y en el analizador. En la práctica, puede evitarse un cambio significativo en las concentraciones de NO y NO₂ cuando el tiempo de residencia en el sistema de muestreo es ≤ 3 s. El requisito para el tiempo de residencia en el analizador es ≤ 3 s (normas EN) y para todo el sistema, generalmente menos de 6 s para evitar, por ejemplo, la formación significativa de dióxido de nitrógeno. Se evaluará el tiempo de residencia para el canal de NO. No es necesario evaluar el tiempo de residencia para el canal de NOx (en el que está presente el convertidor) ya que todo el NO₂ se convierte en NO en el convertidor. Por lo tanto, la longitud máxima permitida del conducto de muestra podría añadirse a los PNT.

Puesto que el Decreto N.º 61 requiere la calibración del flujo de los analizadores de gas al menos una vez al año, Algoritmos ha instruido esta actividad en los PNT relacionados con esta tarea (dos veces al año). Como se indica en el capítulo 3.2.3 y anteriormente para SGS en este capítulo, se trata de un procedimiento que normalmente no necesita realizarse como rutina.

PNT relacionados con las mediciones de PM10 y PM2.5

Algoritmos entregó dos PNT relacionados con las mediciones de PM, uno para el muestreo HVS y otro para el analizador continuo. Para el muestreo LVS, no se entregó ningún PNT, en su lugar, se entregó un PNT relacionado con el pesaje de filtros en el laboratorio.

El PNT 'I-6006' informa del funcionamiento del muestreo HVS de PM10. Para PM2.5, no se entregó ningún PNT pero se puede asumir que se aplicarían procedimientos similares de AC/CC también para esa fracción de tamaño de PM en caso de que PM2.5 se mida con el método HVS en Loncura.

"I-6006" explica los procedimientos de calibración y mantenimiento para el muestreo HVS de PM10. La frecuencia de la calibración del flujo es anual o como se indica en el programa de GC del equipo (debe añadirse en la Tabla 2 del PNT). El criterio de exactitud es de $\pm 4\%$, que es más flexible que en las normas EN: $\pm 1\%$ para la calibración; sin embargo, $\pm 5\%$ para el control de flujo. Menciona el control de flujo pero no la frecuencia y esto debería añadirse en el PNT así como en el plan de mantenimiento. El plan de mantenimiento ni siquiera menciona el método HVS y debe actualizarse para incluir el método. Según las normas EN, la calibración del flujo se realiza **al flujo nominal una vez al año, mientras que los controles de flujo deben realizarse cada 3 meses.** Además, el caudalímetro debe ser trazable y la incertidumbre relativa ampliada del caudalímetro (confianza del 95%) será $\leq 2\%$ (verificación del caudal) o bien $\leq 1\%$ (calibración del caudal) en condiciones de laboratorio. El PNT no ofrece criterios para la exactitud y trazabilidad del caudalímetro; éstos deben añadirse.

Se indica la frecuencia de muestreo, que es de 24 h (18-25 h). En las normas EN, el tiempo de muestreo debería ser de 24 ± 1 h. No se menciona cómo realizar la prueba de fuga y esto debería añadirse.

Este PNT también da consejos sobre cómo manejar el filtro, rellenar la hoja de datos y comprobar el temporizador. No describe la frecuencia con la que hay que enviar los filtros al laboratorio y establece los requisitos de las condiciones ambientales, por ejemplo, criterios de temperatura o protección contra el sol, ya que las altas temperaturas pueden afectar a las pérdidas de partículas volátiles o semivolátiles. **Las condiciones de temperatura adecuadas para el almacenamiento de los filtros muestreados deben tenerse en cuenta minuciosamente y aplicarse** de manera que la pérdida de materiales volátiles y semivolátiles se reduzca al mínimo durante el período de almacenamiento. No se especifica qué filtros se utilizan para el muestreo de PM10; esto debería aclararse. Por lo tanto, no se puede realizar ningún análisis sobre la idoneidad del tipo de filtro.

El SOP "ILAB-F / 01" describe el procedimiento para pesar los filtros en el laboratorio. Además de la precisión del flujo en las mediciones de PM, esta es una parte esencial del resultado de PM ya que proporciona la masa de la muestra. En general, el SOP aconseja a muchos aspectos importantes del pesaje de filtros, incluidos los criterios para la balanza, las condiciones (temperatura y humedad relativa), el control de calidad (por ejemplo, control de peso, medición paralela), contaminación y criterios de invalidación. Sin embargo, los requisitos y procedimientos difieren un poco del método de

referencia europeo (norma EN 12341) y estos se resumen en las siguientes oraciones. En el SOP, los criterios de humedad relativa (HR) y temperatura (temp) son 20–45% ($\pm 5\%$) y 15–30 ° C ($\pm 3\text{C}$), respectivamente, mientras que en EN 12341, los criterios son más estrictos a HR 45–50% y temperatura 19–21 ° C. Sin embargo, es más relevante que la HR y la temperatura estén dentro de los criterios de $\pm 5\%$ y $\pm 3\text{C}$ dentro de los rangos establecidos durante y entre el pesaje inicial en blanco y el pesaje posterior de la muestra. Los sensores de temperatura y HR se mencionan en el SOP, pero no se proporcionan intervalos de calibración ni criterios de aceptación, sin embargo, esta información se puede encontrar en el SOP 'ILAB-F / 06 Operation and Control of Thermohygrometer' (no se entrega para evaluación) Los tiempos de estabilización para los filtros son bastante cortos: en el SOP, el filtro no recolectado y recolectado se estabiliza durante 24 h y luego 1 hora extra por segundo (norma EN: filtro no recolectado las primeras 48 h y luego 12 h más mientras el filtro recolectado primero 48 h y luego otro pesaje después de 12–72 h). Para los filtros PM2.5, el criterio de aceptación para los filtros no muestreados y muestreados es 0.050 mg, que está muy cerca del estándar EN (0.040 y 0.060 mg para filtros no recolectados y recolectados, respectivamente). Para los filtros PM10, el criterio es mucho mayor (2.8 y 5.0 mg para los filtros no muestreados y muestreados, respectivamente), sin embargo, parece ser para los filtros HVS y, por lo tanto, se esperan criterios notablemente más grandes. El laboratorio utiliza una balanza analítica para filtros PM10 (que se supone que son filtros HVS) y una microbalanza para filtros PM2.5. Estas son muy buenas opciones para la medición de masa. La resolución de microbalanza es muy probable que cumpla con los requisitos de la norma EN, mientras que los filtros HVS no se pueden medir con microbalanza y, por lo tanto, el balance analítico es adecuado para los filtros HVS. Las balanzas se verifican diariamente, pero no se proporciona información sobre la frecuencia con la que las balanzas están completamente calibradas; Esto debe confirmarse que se realiza al menos una vez al año. La elección de los pesos de control de CC debe reconocer la masa de PM ponderada; por lo tanto, se recomienda agregar pesos de verificación más pequeños para verificar el rendimiento de la balanza para detectar los pequeños cambios en la masa debido a las partículas (en lugar de solo verificar la calidad de una masa de filtro mucho más grande). El uso del control de calidad de los pesos parece muy bueno. El PNT reconoce filtros en blanco y, si se entiende correctamente, se recogen dos filtros en blanco con cada conjunto de filtros enviados al campo ("De cada lote de filtros adquiridos, dos de ellos no deben ser monitoreados, pero sí enviados a terreno, como blancos, los que son utilizados como blanco de campo, y como blanco de análisis en caso que el cliente requiera algún parámetro en forma posterior"). Este es un procedimiento de control de calidad muy relevante.

El PNT 'I-6009' da instrucciones para el analizador continuo de PM2.5 y PM10 BAM1020. El PNT es generalmente muy bueno con instrucciones detalladas para realizar las actividades.

Para la comprobación de la temperatura y la presión, se describe muy bien el instrumento utilizado y su calibración. Sin embargo, no hay comprobaciones periódicas, sino que se realizan en la instalación y después de los cambios (posiblemente cada 2 meses en relación con la comprobación del flujo). En las normas EN, el requisito para la calibración es una vez al año y para el control cada 3 meses. El criterio de acción para la temperatura es $\pm 1\text{°C}$ y $\pm 5\text{ mmHg}$ en el PNT; esto es casi equivalente a la norma EN (calibración $\pm 1,5\text{°C}$ y $\pm 4\text{ mmHg}$, comprobación $\pm 2\text{°C}$ y $\pm 8\text{ mmHg}$). Estas comprobaciones/calibraciones son seguidas de una calibración de flujo cada 2 meses con flujos de 15, 16,7 y 18,4 (Lpm). El criterio de acción es $\pm 2\%$, lo que es adecuado ya que en las normas EN el criterio es $\pm 5\%$ para la comprobación trimestral (la calibración anual no tiene criterio, debería ser más o menos exacta). Los sensores del filtro para la temperatura y la HR se comprueban cada 6 meses con criterios

de acción de $\pm 1^\circ\text{C}$ y $\pm 4\%$; esto es casi equivalente a la norma EN (calibración $\pm 1,5^\circ\text{C}$ y $\pm 3\%$, comprobación $\pm 2^\circ\text{C}$ y $\pm 5\%$). La prueba de fugas se realiza en conexión con otros trabajos de mantenimiento del analizador o al menos cada 2 meses. Este procedimiento está bien descrito y la frecuencia es adecuada.

Se indica que la calibración de la masa se haga anualmente con el criterio de acción $\pm 4\%$. La frecuencia es equivalente a la norma EN, sin embargo, se recomienda el criterio de $\pm 3\%$. También se recomienda comprobar la masa cada 3 meses. La verificación de fondo cero se realiza una vez al año, lo que equivale a la norma EN. En la norma EN, también se da un criterio de acción de $\pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el criterio debe agregarse en el PNT. Se instruye la limpieza de la cabeza y del ciclón y para el PM2.5, la frecuencia se da una vez al mes. **La frecuencia no se da para PM10; esta debe añadirse.**

Además de lo anterior, el PNT da instrucciones relevantes y buenas sobre, por ejemplo, rescate de datos, cambio de filtros (cinta filtrante) y limpieza de boquillas.

3.4.2 Procedimientos de AC/CC

A continuación, en las **tablas 8 y 9** se resumen los procedimientos de AC/CC realizados por los operarios, tal como se han tratado en el capítulo 3.4.1. Además, los procedimientos realizados se comparan con los requisitos de las normas EN y las recomendaciones dadas cuando es necesario.

Asimismo, se dispone de descripciones de las estaciones. Éstas son parte esencial de la garantía de calidad, ya que describen las estaciones, su ubicación y las mediciones en detalle, y deben mantenerse actualizadas en todo momento. Estos no fueron evaluados en este estudio.

3.4.2.1 SGS

En la **Tabla 8**, las actividades de AC/CC indicadas y planificadas se enumeran junto con los resultados de este estudio para mejorar o implementar las actividades de CC dentro de las mediciones realizadas por el operario SGS. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias.

Tabla 8. Actividades de AC/CC del operario SGS junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

| Actividad | Frecuencia SGS | Recomendaciones |
|----------------------------|---|--|
| <i>Mediciones de gas</i> | | |
| Calibración del analizador | Calibración multipunto (O_3 , SO_2 y CO): Cada seis meses o cada vez que se intervenga el equipo (PNT). Una vez al año (programa de mantenimiento) | Al menos cada 3 meses para todos los gases. Puede extenderse a 6 meses si $\text{cero+span} \leq 2\%$. (En la práctica, los controles de cero y span se hacen semanalmente y se ajustan cuando es necesario). |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Repetibilidad en el cero y el span del analizador | Calibración multipunto de NOx: Trimestral o cada vez que se intervenga el equipo. | - | La repetibilidad debe calcularse a partir de 10 lecturas. |
| Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones del cero y del span | - | - | La frecuencia de la verificación debe implementarse. |
| Comprobación del cero y del span | Semanalmente. | - | Los gases de comprobación del cero y del span podrían ser independientes de los gases de calibración. |
| Falta de comprobación de ajustes | Se menciona en el PNT pero no se indica la frecuencia allí. En plan de mantenimiento, una vez al año. | - | El procedimiento debe ser descrito y la frecuencia (por lo menos una vez al año) indicada. |
| Eficiencia del convertidor (NO) | - | - | La actividad debe incluirse en el PNT. |
| Colector de muestras de prueba | - | - | Debe indicarse. |
| Revisión del filtro de partículas. | Cada visita | - | - |
| Cambio de los filtros de partículas del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador | Cada 2 semanas o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante). | - | - |
| Prueba/limpieza/cambio de los conductos de muestreo | Limpieza cada mes o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante). | - | (Al menos cada 6 meses) |
| Cambio de consumibles | - | - | (Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador) |
| Mantenimiento preventivo/rutinario de componentes del analizador | Revisión del diafragma de la bomba: Cada 12 meses de funcionamiento (como indica el fabricante). | - | (Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador) |
| | Limpieza del filtro óptico: Cuando sea necesario. | - | |
| | Limpieza de la cámara de reacción: Cada 12 meses o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante). | - | |
| | Prueba de fugas: Cada 2 meses o cuando sea necesario | - | |
| Registro de las condiciones de funcionamiento. | Cada visita. | - | |
| Comprobación de flujo. | Una vez al año o cuando se hace alguna intervención al equipo. En la práctica, se hace con más frecuencia. | - | Debe considerarse, si es necesario regularmente, en todo caso |
| <i>Mediciones de PM (con muestreo de filtro, HVS y LVS)</i> | | | |
| Calibración de la tasa de flujo de la muestra | HVS: 5 puntos de presión cada 3 años | - | Debe realizarse en el flujo nominal cada año. |

| | | |
|---|---|--|
| Comprobación de la tasa de flujo de la muestra | LVS: 3 mediciones de flujo cada 2 años HVS: 10% de variación aceptada. LVS: solo se menciona la calibración, no se menciona ningún criterio. | Debe realizarse cada 3 meses. Los criterios deben ser más estrictos en ±5%. |
| Precisión y trazabilidad del caudalímetro | - | El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser ≤1.0% para la calibración y ≤2.0% para la verificación. |
| Comprobación de fugas del sistema de muestreo | HVS: sólo la instrucción se relaciona con el sonido de silbido. LVS: no mencionado. | Debe indicarse y realizarse cada año con un criterio de acción del 1%. |
| Calibración de los sensores de temperatura y presión en el muestreador | - | Debe realizarse cada año e indicarse en el PNT. |
| Comprobaciones de los sensores de temperatura y presión en el muestreador | LVS: Se menciona brevemente pero no se indica la frecuencia. | Debe realizarse cada 3 meses e indicarse en el PNT. |
| Mantenimiento regular de los componentes del muestreador | HVS y LVS: Indicado en PNT. | (Según lo requerido por el fabricante.) |
| Almacenamiento de los filtros | - | No inducirán pérdidas adicionales de los componentes semivolátiles de PM. Normalmente, por debajo de 23 °C debería ser suficiente. |
| Tipo de filtro | Se indican pero no determinan varios tipos indicados en el PNT, que se utilizan para PM10 y PM2.5 | El tipo de filtro debe ser determinarse en el PNT. Para LVS, los filtros serán de fibra de vidrio, fibra de cuarzo, PTFE o fibra de vidrio revestida de PTFE. Los filtros tendrán una eficiencia de separación de al menos el 99,5 % para partículas con un diámetro aerodinámico de 0,3 µm. |
| Calibración de la balanza | Información no disponible. | Cada año |
| Calibración de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa | Cada 3 meses. | - |
| Comprobación de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa | - | - |
| <i>Mediciones de PM (con analizador continuo = AMS)</i> | | |
| Calibración de la(s) tasa(s) de flujo de AMS | Sólo se dan instrucciones muy breves, sin frecuencia. | Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la calibración en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año. |
| Comprobación de la(s) tasa(s) de flujo de AMS | - | Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la comprobación en la práctica y se debe indicar |

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|--|
| Precisión y trazabilidad del caudalímetro | - | | la frecuencia. Debe hacerse cada 3 meses. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación. |
| Comprobación de fugas del sistema de muestreo | - | | Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la comprobación en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año. |
| Comprobación cero de la lectura de AMS | - | | Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la comprobación en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año. |
| Comprobación del sistema de medición de masa de AMS | | Recomendación de control anual | Se recomienda calibrarlo anualmente y revisarlo cada 3 meses. |
| Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos | - | | Debe documentarse diariamente (en días laborables). |
| Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad | - | | Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la calibración en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año. |
| Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad | - | | Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la calibración en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada 3 meses. |
| Mantenimiento regular de los componentes del AMS | - | | (Según lo requerido por el fabricante.) |

3.4.2.2 Algoritmos

En la Tabla 9, las actividades de AC/CC indicadas y planificadas se enumeran junto con los resultados de este estudio para mejorar o implementar las actividades de CC dentro de las mediciones realizadas por el operario Algoritmos. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias.

Tabla 9. Actividades de AC/CC del operario Algoritmos junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

| Actividad | Frecuencia SGS | Recomendaciones |
|----------------------------|---|---|
| <i>Mediciones de gas</i> | | |
| Calibración del analizador | Calibración multipunto (O ₃ , SO ₂ y CO): Una vez al año. | Al menos cada 3 meses para todos los gases. Puede extenderse a 6 meses si |
| | Calibración multipunto de NOx: Cada 3 meses. | cero+span $\leq 2\%$. (En la práctica, los controles de |

| | | |
|---|--|---|
| Repetibilidad en el cero y el span del analizador | - | <p>cero y span se hacen semanalmente y se ajustan cuando es necesario).</p> <p>La repetibilidad debe calcularse a partir de 10 lecturas.</p> |
| Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones del cero y del span | - | La frecuencia de la verificación debe implementarse. |
| Comprobación del cero y del span | Semanalmente. | Los gases de comprobación del cero y del span podrían ser independientes de los gases de calibración. |
| Falta de comprobación de ajustes | No se menciona en el PNT. | El procedimiento debe ser descrito y la frecuencia (por lo menos una vez al año) indicada. |
| Eficiencia del convertidor (NO) | Cada 3 meses. | - |
| Colector de muestras de prueba | Limpieza una vez al año. | - |
| Cambio de los filtros de partículas del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador | Una vez al mes | - |
| Prueba/limpieza/cambio de los conductos de muestreo | Una vez al año. | Se debe hacer al menos cada 6 meses. |
| Cambio de consumibles | - | (Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador) |
| Mantenimiento preventivo/rutinario de componentes del analizador | Limpieza de orificios importantes, cada 6 m. | (Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador) |
| | Mantenimiento de la bomba, cada año | |
| | Diferentes pruebas de voltaje | |
| | Pruebas de presión, cada 6 meses | |
| Registro de las condiciones de funcionamiento. | Cada visita. | - |
| Comprobación de flujo. | Dos veces al año (PNT), o una vez al año (plan de mantenimiento). | Debe considerarse, si es necesario regularmente, en todo caso. |
| <i>Mediciones de PM (con muestreo de filtro, HVS y LVS)</i> | | |
| Calibración de la tasa de flujo de la muestra | Una vez al año (HVS). Dos veces al año (LVS). | - |
| Comprobación de la tasa de flujo de la muestra | Lo mismo que arriba. | Debe realizarse cada 3 meses. |
| Precisión y trazabilidad del caudalímetro | - | El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación. |
| Comprobación de fugas del sistema de muestreo | Se menciona solo tras la reparación. (HVS) Una vez al año (LVS). | Debe indicarse y realizarse cada año con un criterio de acción del 1%. |

| | | |
|--|--|---|
| Calibración de los sensores de temperatura y presión en el muestreador | HVS: no se menciona. LVS: dos veces al año. | Debe realizarse cada año e indicarse en el PNT. |
| Comprobaciones de los sensores de temperatura y presión en el muestreador | - | Debe realizarse cada 3 meses e indicarse en el PNT. |
| Mantenimiento regular de los componentes del muestreador | HVS: Indicado en PNT. | (Según lo requerido por el fabricante.) |
| Limpieza del ciclón | LVS: limpieza del ciclón una vez al mes. | - |
| Almacenamiento de los filtros | - | No inducirán pérdidas adicionales de los componentes semivolátiles de PM. Normalmente, por debajo de 23 °C debería ser suficiente. |
| Tipo de filtro | No se menciona | El tipo de filtro debe ser indicarse en el PNT. |
| Calibración de la balanza | Información no disponible. | Cada año |
| Calibración de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa | Información no disponible. | Cada año |
| Comprobación de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa | Información no disponible. | Cada seis meses |
| <i>Mediciones de PM (con analizador continuo = AMS)</i> | | |
| Calibración de la(s) tasa(s) de flujo de AMS | Cada 2 meses | - |
| Comprobación de la(s) tasa(s) de flujo de AMS | (Lo mismo que arriba) | - |
| Precisión y trazabilidad del caudalímetro | - | El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación. |
| Comprobación de fugas del sistema de muestreo | Al menos cada 2 meses. | - |
| Comprobación cero de la lectura de AMS | Una vez al año | - |
| Comprobación del sistema de medición de masa de AMS | Una vez al año | Se recomienda revisarlo cada 3 meses. |
| Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos | - | Debe documentarse diariamente (en días laborables). |
| Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad | Cada 2 meses(?) | - |
| Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad | Lo mismo que arriba. | - |
| Mantenimiento regular de los componentes del AMS | Cambio de filtro (unos 2 m) Limpieza de la boquilla (cuando se cambia el filtro, o hay fugas) | (Según lo requerido por el fabricante.) |

Comprobación del vacío de
la bomba (cada 6 m)
Ciclón de limpieza PM2.5
(cada 1 m)
Bomba (cada 2 años)
Tubo de muestra (cada
año)

3.4.3 Mantenimiento y calibraciones

La evaluación de las actividades de mantenimiento y calibración se basó en la documentación recibida de los operarios (**Tablas 10 y 12**), así como en los cuadros de resumen proporcionados por el MMA. En general, los documentos evaluados incluían diarios de calibración y mantenimiento, registros de la estación, certificados y planes de calibración y mantenimiento.

Una conclusión común fue que los operarios realizan calibraciones de flujo de los analizadores de gas con frecuencia. En las normas EN no se indica la frecuencia de dicha calibración o verificación y, además, el procedimiento ni siquiera se menciona en las normas EN. En cambio, se menciona que el mantenimiento preventivo y de rutina de los componentes del analizador se indica con el objetivo de que se haga según lo requerido por el fabricante. Por lo general, no es necesario realizar la calibración de flujo a menos que el analizador solicite tal actividad con alarmas. En el caso de tal alarma, normalmente el problema es con la bomba (la membrana de la bomba está rota o la válvula tiene una fuga) o hay una fuga en los conductos de escape. Por lo tanto, no se evaluó la documentación de calibración del flujo, y se recomienda encarecidamente considerar si es necesario realizarla en absoluto a menos que el analizador solicite una alarma al respecto.

Otro hallazgo general fue que los operarios realizan mediciones de PM10 y PM2,5 con dos métodos: muestreo de filtros durante 24 h y posterior análisis gravimétrico en el laboratorio, y medición continua con analizadores de PM. De acuerdo con la normativa de la UE, es necesario realizar pruebas de equivalencia de los analizadores continuos con el método de referencia (muestreo de filtro LVS de 24 h y análisis gravimétrico) y calcular los factores de corrección para las mediciones continuas de acuerdo con los resultados de las pruebas. Los factores de corrección deben utilizarse en la validación de los datos. Como las mediciones paralelas de los filtros de PM y los analizadores continuos se realizan en varios lugares de la zona estudiada, esto ofrece una valiosa oportunidad para calcular los factores de corrección y validar los datos en consecuencia. Sin embargo, **no se ha resuelto si se han realizado tales actividades.** Además, cabe mencionar que la legislación debería permitir el uso de factores de corrección para los analizadores continuos de PM.

3.4.3.1 SGS

En la **tabla 10** se enumeran los documentos relacionados con las actividades de calibración y mantenimiento que se recibieron para su evaluación. Se eligieron tres sitios para la evaluación. Estos sitios fueron Quintero Centro, Quintero y Concón.

Tabla 10. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por operarios SGS.

| Documento | Contenido del documento | Tipo de documento | Idioma |
|--|---|------------------------------------|--------|
| <i>Documentos generales</i> | | | |
| Station_Logbook_example_SGS | Bitácora de la estación Centro Quintero 3.12.2018 | Bitácora | EN |
| Bios defender (new) | Certificado de calibrador de flujo | Certificado | EN |
| bios defender 520 115738_V | Certificado de calibrador de flujo | Certificado | EN |
| Variable Flow Serie 2134 (Tisch TE-5028) | Certificado de calibrador de flujo (Kit de Calibración de Variables de flujo para uso con TSP, PM10, PM2.5 High volume air samplers (20-60cfm)) | Certificado | EN |
| <i>Documentos relacionados con mediciones de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i> | | | |
| Zero_span_multipoint_Cal_example_SGS | Ejemplo de un registro de calibración cero, span, multipunto, linealidad en el Centro Quintero, 13 y 14 de septiembre de 2018 | Documento de calibración | EN |
| Zero-Span_Multi_Centro Quintero_SGS | Compilado de verificaciones de zero+span para Centro Quintero in 2018-2019 | Zero+span summary | EN |
| Zero-Span-Multi_Quintero 2019 | Compilado de verificaciones de zero+span para Quintero en 2019 | Zero+span summary | EN |
| 2019_certificado gas NOX cilindro EB0114985 | Certificado de gases para NOx | Certificado de gases | EN |
| 2019_certificado gas SO2 cilindro EB0114951 | Certificado de gases para SO ₂ | Certificado de gases | EN |
| Multigas so2.no-co-2019 | Certificado de gases para CO, NO, NO _x , SO ₂ | Certificado de gases | EN |
| cert_Envirionics_o3gen-flow | Certificado de calibración para O ₃ | Certificado de calibración | EN |
| (translated)_NOx_FlowCal_record (pdf) | Certificado de calibración de verificación de flujo del 30/01/2019, Puchuncaví | Certificado de calibración (flujo) | EN |
| NOx_flowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, Excel | SPA |
| CO_flowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, Excel | SPA |
| O3_FlowCal_record (pdf) | Certificado de calibración de verificación de flujo de 05/12/2019, La Greda | Certificado de calibración (flujo) | SPA |
| O3_flowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, excel | SPA |
| SO2_FlowCal_record (pdf) | Certificado de calibración de verificación de flujo de 11/09/2019, Los Maitenes | Certificado de calibración (flujo) | SPA |
| SO2_flowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, excel | SPA |
| <i>Documents related to PM measurements</i> | | | |
| PM2.5_cont_FlowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, excel | EN |
| PM2.5_cont_FlowCal_sheet(translated) (pdf) | Certificados de calibración de verificación de flujo de varias fechas en 2018-2019, La Greda (BGI PQ200) | Certificado de calibración (flujo) | EN |
| PM2.5_cont_FlowCal_sheet (pdf) | Certificado de calibración de verificación de flujo de 10/09/2019, Puchuncavi (Thermo 5014i) | Certificado de calibración (flujo) | SPA |
| PM2.5_grav_FlowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, excel | EN |
| PM10_cont_FlowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, excel | EN |

| | | | |
|--|---|------------------------------------|-----|
| PM10_cont_FlowCal_sheet (pdf) | Certificados de calibración de verificación de flujo de varias fechas en 2018-2019, La Greda (Thermo FH62 C-14) | Certificado de calibración (flujo) | SPA |
| PM10_grav_FlowCal_SGS-Quintero (xls) | Resultados de verificación de flujo enumerados en una tabla de 2018-2019 de varias estaciones | verificación de flujo, excel | EN |
| PM10_HV_FlowCal_sheet(tran slated) (pdf) | Certificados de calibración de verificación de flujo de varias fechas en 2018-2019, La Greda (Thermo PM10-HV) | Certificado de calibración (flujo) | EN |

A continuación, las acciones de calibración y mantenimiento y las frecuencias recomendadas para las mediciones de gas se dan como se indica en el PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I'.

Tabla 11. Acciones de calibración y mantenimiento y frecuencias recomendadas para las mediciones de gas por operarios SGS (ref: EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I).

| Acción de mantenimiento | Frecuencia |
|---|--|
| Registro de condiciones de operación. | Cada visita |
| Revisión del filtro de partículas | Cada visita |
| Cambio de filtro de partículas. | Cada 2 semanas o cuando sea necesario (según lo indique el fabricante). |
| Verifique el diafragma de la bomba. | Cada 12 meses de funcionamiento (según lo indicado por el fabricante). |
| Verificación de flujo. | Una vez al año o cuando se realiza alguna intervención al equipo. |
| Limpie las líneas neumáticas. | Todos los meses o cuando sea necesario (según lo indique el fabricante). |
| Limpieza de filtros ópticos. | Cuando sea necesario |
| Limpieza de la cámara de reacción. | Cada 12 meses o cuando sea necesario (según lo indique el fabricante). |
| Prueba de fugas. | Cada 2 meses o cuando sea necesario |
| Cero / Span Check. | Semanal |
| Calibración multipunto (O ₃ , SO ₂ y CO). | Cada seis meses o cada vez que se interviene el equipo. |
| Calibración multipunto de NO _x . | Trimestralmente o cada vez que se interviene el equipo. |

En general, la frecuencia de las calibraciones multipunto depende del contaminante, sin embargo, la frecuencia actual cumple el requisito del Decreto N.º 61, así como de las normas EN.

En Quintero Centro entre 01/2018-02/2019, las calibraciones multipunto se realizaron dos veces para el SO₂, 7 veces para el NO_x y 3 veces para el CO. El cero y el span se hicieron semanalmente para todos estos gases. Para el SO₂, la desviación del cero fue bastante grande en pocos casos, aunque la comprobación del cero se realiza generalmente de forma semanal (hasta 13 ppb); esto podría dar lugar a cambios visibles en el nivel de concentración de los datos de SO₂. Las normas EN dan instrucciones para ajustar el nivel cero si el valor está fuera del criterio de acción, pero no dan instrucciones sobre cómo arreglar los instrumentos si el nivel cero se desvía mucho. Para arreglar un instrumento con gran desviación de cero, los operadores deben consultar los manuales del analizador y los productores de instrumentos para obtener asesoramiento. Una posible razón podría ser que el filtro de partículas necesita un cambio más frecuente si el nivel de concentración es alto. Adicionalmente, pareciera que los criterios de acción para los ajustes de cero cambiaron entre las verificaciones, por lo que es esencial añadir los criterios en el PNT. A veces, los tiempos de estabilización parecían cortos. Para el NO_x, no se entregó ninguna información sobre la valoración de la fase gaseosa (GPT) y debe confirmarse si se ha

producido. Se trata de un procedimiento de control de calidad relevante para las mediciones de NOx. Para NOx y CO, faltaban datos de las comprobaciones de febrero y marzo de 2018.

En otra estación de Quintero se evaluó un documento resumen de las calibraciones multipunto, cero y span del 2019. Las calibraciones multipunto se realizaron 3 veces para el SO₂, 6 veces para el NOx y 2 veces para el CO. El cero y el span se hicieron semanalmente para todos los gases (SO₂, NOx, CO, O₃), excepto en marzo, cuando no se realizaron comprobaciones en absoluto. Los tiempos de estabilización parecen adecuados de acuerdo con los plazos. Las lecturas de cero están cercanas al cero. Las variaciones del span de SO₂ fueron pequeñas. Sin embargo, para NOx se encontraron desviaciones bastante altas de hasta -69% en los datos de otoño: 15% (26/08), -69% (08/10), -24% (09/10) y 11% (15/10), además, se encontró una desviación de gran envergadura en la primavera del 45% (03/04). Además, para el CO se detectó una desviación de span multipunto excepcionalmente alta (35% el 03/01/2018). Estas se ajustaron pero debe prestarse una atención especial a las mediciones ya que normalmente no se esperan grandes desviaciones y darán como resultado un importante cambio gradual en los datos de concentración. Para el NOx, no se entregó ninguna información sobre la valoración de la fase gaseosa (GPT) y debe confirmarse si se ha producido.

El flujo de las mediciones de PM se ha calibrado al menos una vez al año de acuerdo con los datos de calibración de flujo que se entregaron y evaluaron para todas las estaciones. Parece que no existe un criterio de acción definido sobre cuándo ajustar el flujo y esto debería implementarse. Los analizadores continuos de PM se han ajustado más fácilmente que los muestreadores de HVS y LVS. Debería confirmarse si los flujos observados y estándar se encuentran en las columnas correctas de los registros de verificación de flujo, ya que parece que se han escrito en columnas opuestas (por ejemplo, 'PM2.5_cont_FlowCal_sheet(translated.pdf)').

Con respecto a otros trabajos de mantenimiento para mediciones de gas y PM, se entregó un libro de registro de la estación de ejemplo para Quintero Centro (12/03/2018). El formulario en blanco incluía tareas de mantenimiento relevantes, como cambio de filtros y limpieza de líneas de muestra para analizadores de gases, y limpieza de ciclones y entradas para muestreo LVS PM10 y PM2.5. Como solo se entregó un libro de registro, no es posible evaluar si la frecuencia de mantenimiento ha seguido el programa de mantenimiento. Sin embargo, se puede mencionar que este formulario de libro de registro no incluía el mantenimiento del muestreo continuo de PM, y carecía de pocas actividades de control de calidad relevantes, como la calibración y la verificación de los sensores (temp, RH) de los instrumentos de PM y las pruebas de fugas del muestreo de PM LVS.

3.4.3.2 Algoritmos

En la tabla 12 se enumeran los documentos relacionados con las actividades de calibración y mantenimiento que se recibieron para su evaluación. La estación evaluada fue Loncura. El operador Algoritmos es responsable de su operación desde diciembre 2018, por lo tanto las bitácoras evaluadas corresponden al 2019.

Tabla 12. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por operarios Algoritmos.

| Documento | Contenido del documento | Tipo de documento | Idioma |
|---|--|---|--------------------------------------|
| <i>Documentos generales</i> | | | |
| PLANILLA MANTENCIÓN EN EL LONCURA 2018-2019 (xls) | Plan de mantenimiento para gases y PM, etc. Incluye calibración planificada e intervalos de mantenimiento. | Planilla de plan de mantención | SPA |
| PLANILLA MANTENCIÓN EN EL LONCURA 2020 (xls) Loncura_flow_calibration_annual | Detalles de calibraciones de flujo en Loncura 2019 para gases y PM | Resumen Excel | EN |
| <i>Documentos relacionados a medición de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i> | | | |
| CC447981 | Certificado de gases para SO ₂ | Certificado de gases | EN |
| 20200224_Certificado_Envionics_6100_4863 | Calibración del dilutor Envionics, 24.02.2020 | Certificado de calibración (hecho a sí mismo) | EN/SPA |
| 20200127_Certificado_Teledyne_701_5943 | Certificación anual del sistema de aire cero Modelo T701 para calibradores de dilución | Certificado de mantención (hecho a sí mismo) | SPA |
| <u>2018 (pdf files):</u> Mantención CO 2018 Mantención NO _x 2018 Mantención O ₃ 2018 Mantención SO ₂ 2018 Mantención Generador Aire 2018 Mantención Dilutor 2018 | Certificados de mantenimiento y calibración para analizadores de gas y equipos relacionados en 2018 y 2019 | Certificados de mantenimiento y calibración | SPA (parcialmente escaneada) |
| <u>2019 (ipeq files):</u> Calibración de Flujo CO Calibración de Flujo NOX-NO Calibración de Flujo O ₃ Calibración de Flujo SO ₂ Informe Técnico CO Informe técnico NOX-NO Informe Técnico O ₃ Informe Técnico SO ₂ Anexo 4 -Fichas de calibración: - 48 pcs of documents in 2018 - 240 pcs of documents in 2019 | Hojas de certificado de cero y span para SO ₂ , CO, O ₃ y NO _x en 2018-2019 en Loncura | certificado de cero y span | SPA |
| <i>Documentos relacionados con mediciones de material particulado</i> | | | |
| <u>2018 (pdf files):</u> Mantención MP 1078 2018 (BGI) (pdf) Mantención MP1135 2018 (BGI) (pdf) Mantención MP10 1187 2018 (BAM 1020) (pdf) | Certificados de mantenimiento y calibración para analizadores de PM (monitor BAM y BGI PQ100 y 200 muestreadores) en 2018 y 2019 | Certificados de mantenimiento y calibración | SPA (parcialmente escaneado en 2018) |
| <u>2019 (ipeq files):</u> Calibración de flujo MP-2,5 Continuo Calibración de flujo MP-2,5 Discreto Calibración de flujo MP-10 Continuo Calibración de flujo MP-10 Discreto Calibración sensor temp y HR MP-2,5 Continuo Calibración sensor temp y HR MP-2,5 Discreto Calibración sensor temp y HR MP-10 Continuo Calibración sensor temp y HR MP-10 Discreto Informe Técnico MP-2,5 Continuo Informe Técnico MP-2,5 Discreto Informe Técnico MP-10 Continuo Informe Técnico MP-10 Discreto | | | |

Tabla 13. Acciones de calibración y mantenimiento y frecuencias recomendadas para las mediciones de gas por operarios Algoritmos (ref: P-6001, I-6001, I-6006, I-6009).

| Elementos | Descripción | Periodicidad |
|--|---|---|
| Analizador CO, NOx, O ₃ , SO ₂ | Calibración de cero y span | Semanalmente |
| Analizador CO, O ₃ , SO ₂ | Calibración multipunto | Una vez al año |
| Analizador NOx | Calibración multipunto | Cada tres meses |
| Analizador NOx | Eficiencia del convertidor (NO) | Cada tres meses |
| Analizador CO, NOx, O ₃ , SO ₂ | Calibración de cero y span | Semanalmente |
| | Mantenición general | 12 meses |
| | Limpieza de colector de muestra | Una vez al año |
| | Cambio de filtros de partículas. | Una vez al mes |
| | Limpieza de líneas neumáticas | Una vez al año |
| | Calibración de flujos | Dos veces al año (PNT), o una vez al año (plan de mantenimiento). |
| HVS Muestreador de Partículas | Cambio de carbón | 20 muestras |
| | Revisión de cableado eléctrico y enchufes | 6 meses |
| | Placa impactadora de limpieza | 2 semanas |
| | Revisión del sello | 6 meses |
| | Limpieza general | 1 vez al mes |
| | Calibración del caudal de muestra | Una vez al año |
| LVS Muestreador de Partículas | Mantenimiento general | 12 meses |
| | Calibración del caudal de muestra | Dos veces al año |
| | Control de fugas | Una vez al año |
| | Calibración de sensores de temperatura y presión. | Una vez al año |
| | Limpieza de ciclones | Una vez al mes |
| Analizador continuo de PM | Calibración de los flujos de AMS | Cada dos meses |
| | Control de fugas del sistema de muestreo. | Al menos cada dos meses |
| | Verificación cero de la lectura de AMS | Una vez al año |
| | Comprobación del sistema de medición de masa AMS | Una vez al año |
| | Mantenimiento general: | Aproximadamente |
| | Cambio de filtro | cada 2 meses |
| | Boquilla de limpieza | si cambio de filtro / fugas |
| | Control de vacío de la bomba | Cada 6 meses |
| | Ciclón limpieza PM2.5 | Una vez al año |
| | Bomba | Cada 2 años |
| | Tubo de muestra | Todos los años |

Por lo general, las calibraciones multipunto se realizan con poca frecuencia, sin embargo, la frecuencia cumple el requisito del Decreto N.º 61, así como de las normas EN. En 2019, las calibraciones multipunto se realizaron dos veces para el SO₂, seis veces para el NOx y una vez para el CO. En cambio, las concentraciones cero y span se comprueban a menudo (semanalmente) con cilindros de gas. Si se observa una desviación, los analizadores se calibran. Por lo tanto, se utilizan los mismos gases para la comprobación y la calibración. El criterio realizado para el ajuste de la concentración span fue $\pm 5\%$ como se indica en el PNT correspondiente. El PNT indica que se debe realizar una calibración multipunto después del ajuste del span: "*Después de realizar un ajuste de span, es necesario realizar una calibración multipunto*". (ref: PNT 'I-6001'). Esto se realizó en la práctica dos veces para SO₂ según los documentos de calibración en 2019 y dos veces el ajuste se realizó sin calibración multipunto. Según los mismos documentos, parece que el tiempo de estabilización del gas span fue de unos 10 min para la comprobación del span, pero para el ajuste del span y la calibración multipunto, el tiempo de

estabilización (=el tiempo que el gas span se dirige al analizador) parece **bastante corto, ya que fue de 3-7 min.** Además, el tiempo de estabilización para el gas cero fue inferior a 10 min en más de la mitad de las comprobaciones para el SO₂. El tiempo de estabilización debe ser lo suficientemente largo, especialmente cuando se realiza una calibración multipunto o un ajuste de span, ya que tiene un efecto directo en el rendimiento del analizador, y resultó peculiar que los tiempos de comprobación fueran más largos que el tiempo de estabilización empleado en la calibración o el ajuste. Para el gas cero, el tiempo de estabilización de 15 minutos, como se aconseja en el PNT, no se realizó en la práctica en muchos casos. **Se aconseja asegurarse de que los tiempos de estabilización sean lo suficientemente largos, especialmente en la calibración y el ajuste del span.**

Los ajustes del cero y el span se hicieron sobre la base de resultados razonables, con la excepción de que los tiempos de estabilización deberían haber sido tal vez más largos en varios casos. Además, el PNT pide que se realice una calibración multipunto después del ajuste del cero y el span, y esto no se hizo en todos los casos. Los cambios en el nivel cero en el emplazamiento de Loncura parecían pequeños (menos de 1 ppb), por lo que no debería dar lugar a cambios visibles de las concentraciones más pequeñas en las series cronológicas de concentración cuando los datos se trazan en los gráficos.

Parece que el registro de mantenimiento y calibración se documenta primero manualmente en el diario de la estación y luego la información se transfiere a las hojas de calibración y mantenimiento digital. Parecía que podía haber habido algún error ortográfico en los tiempos documentados ya que no parecían ser lógicos. Como la documentación del cero y el span se recibió en los documentos digitales, podría haber habido errores al copiar los datos de la hoja original. De todos modos, **se aconseja prestar atención a documentar correctamente los tiempos así como las unidades de medida (por ejemplo, ppb o µg/m³).**

La documentación entregada no reveló si los cambios de filtros y la limpieza de las líneas de muestra se produjeron como se indica en el plan de mantenimiento anual. El plan de mantenimiento en sí estaba bien preparado e incluía todos los aspectos relevantes.

El plan de mantenimiento no incluye el muestreo de PM con el método HVS, y debe añadirse¹.

En lo que respecta a las mediciones continuas de LVS y PM, sólo se ha realizado una calibración de flujo a finales del año 2019, al menos según los documentos recibidos. Los controles de flujo deben realizarse cada 3 meses y calibrarse una vez al año. Sin embargo, como los libros de registro de calibración y mantenimiento se entregaron solo para una fecha (30/12/2019), podría haber más libros de registro que no se enviaron para su evaluación.

En varios casos, la revisión de la documentación fue dificultada por ser documentada a mano. Para facilitar la revisión en futuras instancias, se podría pasar a un formato digital, por ejemplo, a los documentos de mantenimiento.

¹ En este caso, no se recibieron documentos de calibración o mantenimiento para el muestreo de HVS.

3.4.4. Trazabilidad e incertidumbre de la medición

Es fundamental que las mediciones realizadas sean trazables para que los datos sean precisos. Esto significa que el equipo y los instrumentos utilizados han sido calibrados por el fabricante, otro laboratorio o en la propia empresa. Los gases de calibración siempre son certificados por el fabricante y, especialmente si se utilizan durante períodos prolongados, deben ser verificados periódicamente por un laboratorio de calibración reconocido (por ejemplo, acreditado). Cabe destacar aquí que, aunque los certificados de los gases de calibración tienen fecha de caducidad después de muchos años, se aplican a los cilindros de gas que no se han visto afectados; por lo tanto, no son válidos hasta la fecha de caducidad si los cilindros han estado en uso durante ese tiempo.

Además, los calibradores también deben calibrarse y esto puede realizarse en un laboratorio de calibración, o para el flujo, incluso internamente con caudalímetros trazables. Los caudalímetros que también se utilizan para calibrar las mediciones de PM son calibrados por el fabricante y deben ser recalibrados periódicamente por el fabricante o por un laboratorio de calibración reconocido. A continuación se examina la trazabilidad de las mediciones de calidad del aire de ambos operarios.

La incertidumbre en la medición es un valor de gran importancia, ya que expresa la exactitud de los resultados notificados. **Con la documentación disponible, no se facilitó ninguna información ni observaciones sobre las incertidumbres de la medición.** SGS tenía un PNT para el informe de datos pero el tema no se mencionó en él. En el caso de Algoritmos, no se mencionó en ninguno de los documentos entregados. En el reglamento de la UE se dan límites estrictos para la incertidumbre en la medición, como se informa en el capítulo 3.2.1.

Además, no se proporcionó información sobre los límites de detección de ninguna de las mediciones y no quedó claro si se habían calculado siquiera. **Debe comprobarse que los límites de detección se han calculado y son apropiados.**

El tema de este Capítulo debe evaluarse cuidadosamente en las auditorías organizadas más adelante en este proyecto.

3.4.4.1 SGS

El PNT general relacionado con los gases ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-121') hace referencia a los estándares de calibración trazables (Capítulo 5.24). Para la calibración se utilizan tubos de impregnación de SO₂ y NO₂ (y H₂S); para el CO y el NO se utilizan cilindros de gas para la calibración, mientras que para el O₃ se utiliza un fotómetro estándar de UV según el PNT. El PNT establece que el equipo de dilución está calibrado. No establece que el caudalímetro debe ser calibrado, sin embargo, es esencial que el caudalímetro también esté calibrado. El PNT indica que se debe realizar una calibración multipunto en el momento de la instalación, cuando se intervenga en el instrumento y a intervalos regulares según la **Tabla 10**.

Para la evaluación de la trazabilidad, se entregaron tres certificados de gas relacionados con SO₂, NO/NO_x y CO. No se entregaron certificados para los tubos de impregnación, por lo que se supone que no se han utilizado tubos de impregnación para el SO₂ y el NO₂, pero **esto debe comprobarlo el operario.**

En cuanto a las calibraciones de O₃, se entregó un certificado de calibración del sistema de calibración de AyT Servicios LTd. La trazabilidad del certificado es un poco confusa, de la misma manera la documentación del sistema de calibración (solo menciona la marca Environics pero no el modelo, por ejemplo, Environics 6100), la cadena de trazabilidad hasta las unidades del SI y la incertidumbre para el cero se da incorrectamente como porcentaje (siempre debe ser valor absoluto ya que no se puede dar un porcentaje a cero); sin embargo, estos son mayormente problemas del laboratorio de calibración y no de SGS mientras se aconseja que SGS tenga en cuenta estos resultados. La incertidumbre de medición de la calibración fue bastante alta al 9%.

Además, se entregaron tres certificados para los caudalímetros.

Para SO₂ y NO/NO_x, se entregaron certificados separados para la concentración de SO₂ de 162 ppm (sn EB0114951) y la concentración de NO/NO_x de 19,1/19,2 ppm (sn EB0114985) de los gases de calibración global. Los gases son trazables al NIST, producidos con acreditación y analizados de acuerdo con el Protocolo de la EPA. Los cilindros sin abrir tienen una fecha de caducidad de 17.12.2026 y 19.12.2021, respectivamente. Además, se entregó un documento para un gas de mezcla (sn EB0121378) que contiene concentraciones certificadas de SO₂ (98,86 ppm), NO_x (149 ppm), NO (149 ppm) y CO (256,4 ppm) con fecha de caducidad de la botella sin abrir hasta el 10.5.2027. Como éste no era el certificado oficial, sólo puede suponerse que también procedía de los gases de calibración global y que los gases son trazables hasta el NIST, ya que se analizó de acuerdo con el protocolo de la EPA. En general, los gases son válidos para la calibración; sin embargo, no está claro si éstos se han utilizado para comprobaciones o calibraciones de intervalo reales en las estaciones de calidad del aire estudiadas, y en la auditoría posterior debe comprobarse que los gases de calibración son trazables y se han utilizado correctamente. En Centro Quintero se utilizaron en enero de 2018 diferentes gases de calibración con números de serie CC701126 (SO₂), CC488710 (CO), CC701133 y CC701126 (NO_x) según el archivo de resumen de Excel sobre resultados de cero y span. Además, dentro del mismo archivo de Excel y un ejemplo de registro de cero+span ('Zero_span_multipoint_Cal_example_SGS.pdf'), se da información sobre la calibración del diluyente. No está claro cómo se ha calibrado, pero la calibración se considera válida para un año y esta frecuencia es adecuada. El diluidor Environics 6100 es un buen instrumento para esta tarea. Además, el intervalo de calibración del gas cero es de un año y se ha utilizado Environics 7000 como fuente cero.

Para las mediciones de PM, se entregaron los certificados para el Tisch TE-5028 y dos caudalímetros Bios Defender que han sido utilizados para las calibraciones de flujo de PM según los registros de flujo. El TE-5028 ha sido calibrado en Solmee, que es un laboratorio de calibración chileno para instrumentos meteorológicos y flujos de gas (certificado de calibración no acreditado). El certificado de calibración parece válido. Los caudalímetros Bios Defender han sido calibrados antes de su compra por MesaLabs (acreditado) y la calibración es trazable.

3.4.4.2 Algoritmos

Para el emplazamiento de Loncura, se entregaron 2 certificados de gases de calibración, 1 certificado de calibrador (diluidor) y 1 certificado de generador de aire cero. Sin embargo, según los documentos de calibración para 2019 se han utilizado varios cilindros diferentes de gases de calibración, así como calibradores y generadores de aire cero. Por ejemplo, para el SO₂, en 2019 se han utilizado al menos 6

cilindros de gas diferentes, 5 calibradores diferentes y 5 generadores de aire cero diferentes (a menos que haya habido errores ortográficos en los números de serie). Esta información implica que los sistemas de calibración se transfieren entre sitios y no se retienen en la estación, lo cual está bien. Se entregaron un certificado de gas para el gas de calibración SO₂ (50 ppm, sn CC447981, productor Airgas, certificado con el Protocolo de la EPA, no acreditado) y uno para el gas de calibración NO_x/NO/CO (50/50/3000 ppm, sn DT0026275, productor Airgas, certificado con el Protocolo de la EPA, no acreditado), sin embargo, el primer cilindro de gas de calibración (SO₂) no se utilizó en las calibraciones en el emplazamiento de Loncura en 2019 según los documentos de calibración. El otro (DT0026275) para NO_x/NO/CO se ha utilizado para CO, y probablemente para NO_x/NO (se registró un sn DT0028275 ligeramente diferente en los documentos de calibración, podría ser por error tipográfico). La trazabilidad de los gases de calibración para los que se entregaron los certificados era válida. Sin embargo, como no se entregó ningún certificado de calibración para el gas SO₂ que se estaba utilizando en 2019 en los emplazamientos, no se puede hacer ninguna afirmación clara de la trazabilidad de las mediciones de SO₂ en 2019, excepto que parece ser trazable. Este tema puede confirmarse en la auditoría de la estación en la última fase de este proyecto.

En cuanto a las calibraciones de O₃, no se entregaron certificados para el sistema de calibración y el operario debe determinar que existen con trazabilidad a las unidades del SI.

El diluidor y el generador de aire cero se certifican anualmente en la propia empresa por medio de Algoritmos (calibración interna), realizada por última vez en febrero de 2020. El certificado de calibración suministrado es para el diluidor Environics 6100 (sn 4863), sin embargo, este número de serie no se utilizó en Loncura en 2019 según los documentos de calibración recibidos. Así pues, la trazabilidad del calibrador utilizado en el emplazamiento de Loncura sigue sin resolverse; sin embargo, el certificado de calibración de ejemplo parece válido siempre que los caudalímetros sean trazables, esto es factible de verificar en auditoría.

Los flujos de las mediciones de PM (dos analizadores PQ200 independientes para PM₁₀ y PM_{2.5}, y dos analizadores BAM1020 independientes para PM₁₀ y PM_{2.5}) se han calibrado al menos una vez en 2019 según el documento de Excel entregado ('Loncura_flow_calibration_annual'). El caudalímetro ha sido BGI Tetralcal (sn 170374) calibrado a principios del mismo año. Sin embargo, con los documentos disponibles, el documento no deja en claro si el flujo se había calibrado con un caudalímetro trazable. Este tema debe ser tratado en la auditoría de la estación en la última fase de este proyecto.

3.5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este informe se presentan las conclusiones y recomendaciones de los documentos prioritarios relacionados con las mediciones de la calidad del aire de los contaminantes SO₂, NO/NO₂/NO_x, CO, O₃, PM₁₀ y PM_{2,5} en la región de Concón, Quintero y Puchuncaví. Estos documentos incluían instrucciones pertinentes (denominadas PNT en este informe) sobre cómo realizar las mediciones y ejecutar los procedimientos de AC/CC. Además, se evaluaron los documentos de calibración y mantenimiento, los registros, los planes y los certificados de los sistemas de calibración. La evaluación incluyó cuatro estaciones de calidad del aire: Quintero Centro, Quintero y Junta de Vecinos (Concón), operadas por

SGS y Loncura operada por Algoritmos. La evaluación se realizó por separado para los dos operarios, ya que los procedimientos pueden ser diferentes entre las organizaciones.

La evaluación se asemeja a una auditoría realizada basándose solamente en la documentación. Como el análisis se basa plenamente en la documentación recibida, puede ignorar alguna documentación existente de los operarios que no se entregara o no se pusiera en conocimiento para la evaluación. Las normativas de la UE y las Normas EN se consideran el punto de referencia con el que se comparan las actividades de medición en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví. Existen diferencias entre la normativa chilena y la de la UE, por lo que es evidente que la frecuencia y la forma de llevar a cabo las actividades de AC/CC de SGS y Algoritmos difieren en cierta medida de los métodos normativos europeos. Asimismo, los métodos de referencia difieren de los de la UE para O₃, PM10 y PM2.5.

En general, ambos operarios tienen una gran cantidad de documentación relativa a las mediciones de la calidad del aire. Los documentos son identificables y rastreables, se asignan responsabilidades, se instruyen los procedimientos de AC/CC y se documentan las actividades realizadas. Todos estos hechos son signos de sistemas oficiales de gestión de la calidad, aunque no se ha revelado si los operarios disponen de dichos sistemas. En lo que respecta a los PNT, ambos operarios tienen instrucciones sobre cómo realizar las mediciones, llevar a cabo el mantenimiento e implementar las actividades de AC/CC. Algunos de los PNT eran muy detallados, lo que es muy buena señal, mientras que otros no eran tan específicos, pudiendo existir el riesgo de que diferentes técnicos realicen las actividades de manera diferente. Esto fue visible, por ejemplo, en los ajustes del cero y del span, cuando los criterios de acción realizados para realizar el ajuste difirieron entre las fechas y los técnicos (especialmente los SGS). En cuanto a los PNT prioritarios solicitados, el operario SGS no entregó PNT específicos para los analizadores de gas; sin embargo, esto puede compensarse con el uso de manuales, aunque los PNT generalmente escritos por el propio usuario son más específicos para las actividades más relevantes para el trabajo diario. Además, el operario Algoritmos no entregó un PNT para el muestreo LVS; éste es un documento clave para evaluar la calidad de las mediciones de PM y debería ser evaluado en la auditoría que se realice en una fase posterior de este proyecto.

Con la información disponible, parece que no se han evaluado las incertidumbres de medición y los límites de detección. Las mediciones parecen tener trazabilidad a las unidades del SI, sin embargo, se evidenciaron carencias en la trazabilidad o en los documentos entregados. En cuanto al SGS, la trazabilidad del SO₂, NO/NO_x y CO no estaba clara, ya que los certificados entregados pertenecen a gases diferentes a los utilizados para la calibración y las comprobaciones en los lugares estudiados. En cuanto a Algoritmos, no se entregó ninguna documentación relacionada con la trazabilidad del O₃ y las mediciones de flujo. En lo que respecta al SO₂ y los calibradores, los certificados recibidos pertenecen a unidades diferentes a las utilizadas en Loncura en 2019. Estos temas deben tratarse con la importancia que corresponde en las auditorías de la estación.

Las no conformidades y preocupaciones que surgieron de la revisión de certificados, así como el historial de calibración y mantenimiento, son las siguientes para el operador SGS (sitios Quintero Centro y Quintero):

- Para SO₂, la desviación de cero fue bastante grande en algunos casos en Quintero Centro, aunque la verificación de cero generalmente se realiza semanalmente. No estaba claro si hay instrucciones sobre cómo se manejan estos grandes cambios escalonados en la validación de datos y parece que pueden

dar lugar a cambios escalonados en las concentraciones informadas, que no son reales. El filtro cero puede necesitar un reemplazo con más frecuencia de la que se realiza actualmente.

- Para NO_x, se encontraron desviaciones bastante altas de hasta -69% en los datos del otoño de 2019 en la estación de Quintero. Para el CO, se detectó una desviación de intervalo multipunto excepcionalmente alta en enero de 2018. Estas grandes desviaciones normalmente no se esperan y pueden dar lugar a un importante cambio gradual en los datos de concentración.

- Los criterios de acción de cero ajustes no se dan en el SOP pertinente; por lo tanto, los criterios reales cambiaron entre verificaciones (y posiblemente técnicos).

- Para NO_x, no se entregó información sobre la titulación en fase gaseosa (GPT) y debe confirmarse si se ha producido en los sitios.

- A veces, los tiempos de estabilización parecían cortos para cero y abarcan ambos sitios.

- Se sugiere considerar si se necesitan calibraciones de flujo regulares para los analizadores de gases.

- Para las mediciones de PM, se debe implementar el criterio de acción para ajustar el flujo.

- Con los datos disponibles, la calibración del flujo de PM se produjo al menos una vez al año. La verificación del flujo debe realizarse cada tres meses.

Las no conformidades y preocupaciones que surgieron de la revisión de certificados, así como el historial de calibración y mantenimiento, son las siguientes para el operador Algoritmos (sitio Loncura):

- Para SO₂ y NO_x, el ajuste del intervalo no se siguió con una calibración multipunto en todos los casos. En julio de 2019, las comprobaciones del intervalo de NO_x se han desviado enormemente en varios casos, lo que indica problemas con la medición y posiblemente da como resultado datos poco confiables.

- La titulación de fase gaseosa (GPT) con calibración multipunto se realizó solo una vez en 2019, aunque debe realizarse cada tres meses de acuerdo con el SOP. La calibración de un punto, que no se menciona en el POE, se había producido en otras dos ocasiones.

- A veces, los tiempos de estabilización parecían cortos para cero y span. Para gas cero, el tiempo de estabilización de 15 minutos como se aconseja en el SOP no se realizó en la práctica en muchos casos.

- Con los datos disponibles, la calibración del flujo de PM se produjo solo una vez al año. La verificación del flujo debe realizarse cada tres meses.

Se sugiere considerar si se necesitan calibraciones de flujo regulares para los analizadores de gases.

Con las experiencias del trabajo de los informes N.º 1 y 2, parece que los datos no se validan (corrigen), y en su lugar, se realizan frecuentes comprobaciones y ajustes del cero y del span para mantener la exactitud de los datos. En general, es muy conveniente aplicar procedimientos frecuentes de control de calidad. Sin embargo, esta actividad de ajuste del cero y el span puede dar lugar a cambios graduales del nivel de concentración de los datos, como se observa en el Informe N.º 1, lo que no es una forma ideal de representar los datos. Las comprobaciones semanales y los ajustes a petición son muy necesarios, sin embargo, no debe excluirse la validación de los datos.

En resumen, los operarios tienen instrucciones pertinentes (algunas muy detalladas, otras necesitan más detalles para asegurar procedimientos sistemáticos), documentan sus actividades en las estaciones y hay muchos procedimientos de AC/CC implementados. En general, los operarios parecen seguir los criterios nacionales para las mediciones, como se establece en el Decreto N.º 61. En las recomendaciones, se da una lista de sugerencias de mejora tanto para los operarios como para los reglamentos. Además, se han dado varias recomendaciones para especificar y aclarar los PNT en el Capítulo 3.3.4 de este informe. Actualmente, con los procedimientos establecidos, es posible obtener resultados de suficiente calidad, sin embargo, existen riesgos esenciales para resultados erróneos. Estos se tienen en cuenta en las sugerencias de mejora.

3.6 Recomendaciones

Prioridades de la primera fase

Las recomendaciones prioritarias para una rápida mejora son válidas para ambos operadores (se explican con más detalle en el informe):

- Se recomienda verificar regularmente los gases cero y span para confirmar la exactitud de las calibraciones.
- Para las mediciones de gas, las unidades del cero y los gases de calibración del span deberían ser independientes de los gases y unidades de comprobación.
- Las comprobaciones del flujo de PM deben realizarse al menos cada 3 meses para los muestreos de alto (HVS) y de bajo (LVS) volumen, así como para los analizadores de PM continuos.
- Se deben indicar las condiciones de almacenamiento de los filtros de PM10 y PM2.5 (LVS y HVS) para que muestren pérdidas adicionales de componentes semivolátiles de PM.
- La documentación debería indicar las fechas de calibración de las balanzas utilizadas para pesar los filtros de PM, ya que estas deben calibrarse completamente al menos una vez al año. Se deben considerar los criterios de temperatura y humedad relativa y prolongar los tiempos de estabilización del filtro. Para SGS, se debe utilizar una

microbalanza para las muestras de filtro LVS y determinar la recolección de blancos de filtro (posiblemente se implementen criterios de pesaje más estrictos). Para Algoritmos, se debe confirmar la calibración de los sensores de temperatura y humedad relativa en la sala de pesaje (deseCADOR).

- Recomendaciones específicas para operarios SGS en relación con las mediciones:
 - NOx: Se debe calcular la eficiencia del convertidor y aplicar el factor de corrección.
 - PM (HVS, LVS, medición continua): La frecuencia de calibración del flujo debe indicarse en el PNT (al menos una vez al año).
 - PM (HVS, LVS, medición continua): Las pruebas de fugas deben realizarse al menos una vez al año.
 - PM (Medición continua): Las comprobaciones de cero y masa deben realizarse al menos una vez al año, preferiblemente cada 3 meses.
 - Se dieron algunas instrucciones contradictorias en los SOP y el programa de mantenimiento. Estos deben corregirse para que sean sistemáticos (para más detalles, consulte el Capítulo 3.4.1).
- Recomendaciones específicas para operarios Algoritmos en relación con las mediciones:
 - Gases: las pruebas/limpieza/cambio de conductos de muestra deben realizarse cada 6 meses.
 - PM (Medición continua): Las comprobaciones de cero y masa se realizan al menos una vez al año, pero preferiblemente cada 3 meses.
- Se recomienda tener en cuenta si es necesario realizar comprobaciones y ajustes de flujo regulares para los analizadores de gas, ya que la precisión del flujo de los analizadores de gas no es un punto crucial en la medición y los analizadores avisan cuando se necesita dicha calibración.
- Se recomienda mejorar los procesos de validación de datos con PNT detallados. Como se indica en el Informe N.º 1, parece que el nivel cero de algunos de los analizadores se desvía a menudo, lo que lleva a una mayor incertidumbre de los resultados de la supervisión. La validación de datos basada en las calibraciones regulares podría ser la solución para controlar el desvío del nivel cero y para controlar la calidad de los resultados de la supervisión.
- Sería aconsejable que los datos se documentaran directamente en el formato electrónico. En caso de que no sea posible una documentación electrónica directa, la

misma persona debería transferir los datos escritos a mano a formato electrónico. Lo anterior con el objetivo de mejorar el seguimiento a la información de interés.

Prioridades de la segunda fase

Cuando se hayan aplicado las recomendaciones prioritarias de la primera fase, las siguientes recomendaciones deberían ser utilizadas por ambos operadores:

- Gases: La documentación debe indicar que se calcula la linealidad de la calibración al menos una vez al año.
- Gases: La documentación debe indicar que se calcula la repetibilidad del cero y del span.
- Recomendaciones específicas para operadores SGS en relación a la documentación con las mediciones:
 - Gases: La documentación debe indicar que se realiza la limpieza del colector de muestras.
 - PM: La documentación debe indicar que desarrolla la calibración y verificación de los sensores de temperatura y humedad.

Prioridades a largo plazo

Recomendaciones prioritarias para mejorar la regulación de la calidad del aire o los procedimientos generales de calidad del aire en Chile, cuya aplicación no es posible en el corto plazo:

- Se recomienda poner en práctica auditorías periódicas externas de sistemas y de terreno por parte de un Laboratorio Nacional o Internacional de Referencia (RL) o la autoridad correspondiente a nivel local, para confirmar la calidad de las mediciones de la calidad del aire. Al principio, el intervalo podría ser de dos años y más tarde ampliarlo a un máximo de cinco años como se recomienda en las directivas europeas.
- Se recomienda determinar auditorías *internas* para confirmar que las instrucciones de medición son válidas y que las actividades realizadas siguen las instrucciones. Esto puede ser un complemento y posteriormente una alternativa de las auditorías realizadas por el RL u otra entidad. Para las Auditorías Internas, se recomienda desarrollar programas de formación y mejoramiento de capacidades técnicas a nivel local.
- Se recomienda realizar intercomparaciones periódicas de gases que confirmen la exactitud de los resultados de las mediciones. Esto puede ser llevado a cabo por un

laboratorio de calibración nacional o internacional que cuente con sistemas de prueba de competencia trazables a las unidades del SI.

- Se recomienda utilizar los métodos de medición de PM en paralelo (muestreo del filtro LVS y analizador continuo) para las pruebas de equivalencia de PM a fin de calcular los factores de corrección para los analizadores continuos de PM.
- Se recomienda evaluar si la precisión de las balanzas utilizadas para el pesaje de filtros de PM (LVS) son lo suficientemente precisas para este propósito.
- Se recomienda calcular las incertidumbres de medición y los límites de detección de las mediciones si aún no se ha hecho.
- Se recomienda que el reglamento de la calidad del aire defina las metodologías estándar de operación.

3.7 REFERENCIAS

Decreto N.º 61 de 2008. Regulation of Measurement Stations for Atmospheric Pollutants

Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> (SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, benzene, lead in PM₁₀, VOCs, chemical composition of PM_{2.5})

Directive 2015/1480/EU of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj>

Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj>

EN 14211:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence.

EN 14212:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence.

EN 14625:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry.

EN 14626:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by nondispersive infrared spectroscopy.

EN 12341:2014 Air quality – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2.5} mass concentration of suspended particulate matter.

EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀; PM_{2.5})

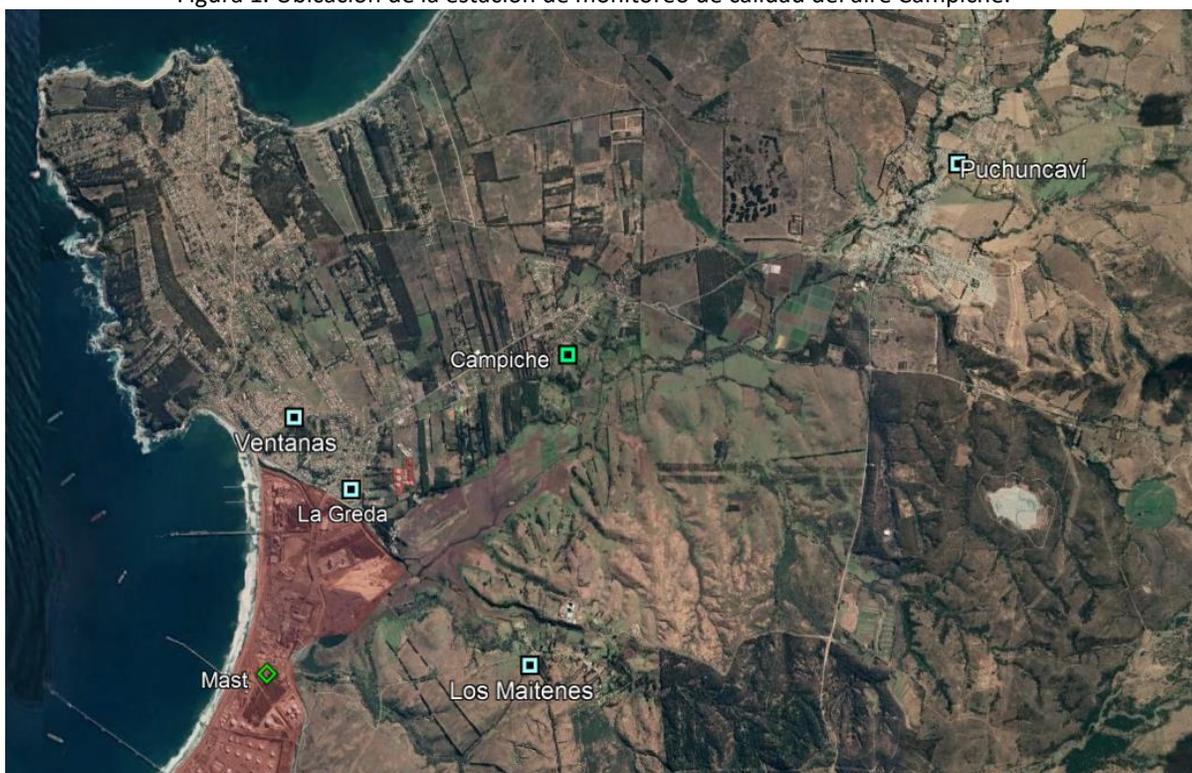
(EN 12341:1998 Air quality. Determination of the PM 10 fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods.)

(EN 14907:2005 Ambient air quality. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter.)

3.8 ANEXO. Análisis de los datos de la estación Campiche.

En otoño de 2019, FMI realizó una evaluación de las redes de monitoreo de la calidad del aire en las zonas industriales de Quintero-Puchuncaví y Concón (INFORME n ° 1, 2019). Ese análisis consistió en datos de monitoreo continuo de nueve y cuatro sitios en las áreas de Quintero-Puchuncaví y Concón, respectivamente. Los datos del sitio de monitoreo de Campiche, ubicado en el área de Quintero-Puchuncaví, no estaban disponibles en ese momento, y aquí presentamos algunos resultados complementarios de los datos de Campiche. Campiche se encuentra a unos 3-4 kilómetros de distancia de los sitios más cercanos, Ventanas, La Greda, Los Maitenes y Puchuncaví. De acuerdo al ubicación de la estación en la Figura 1, la estación está en un área residencial, alejada del área del parque industrial (ubicada a unos 4 km al suroeste).

Figura 1. Ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire Campiche.



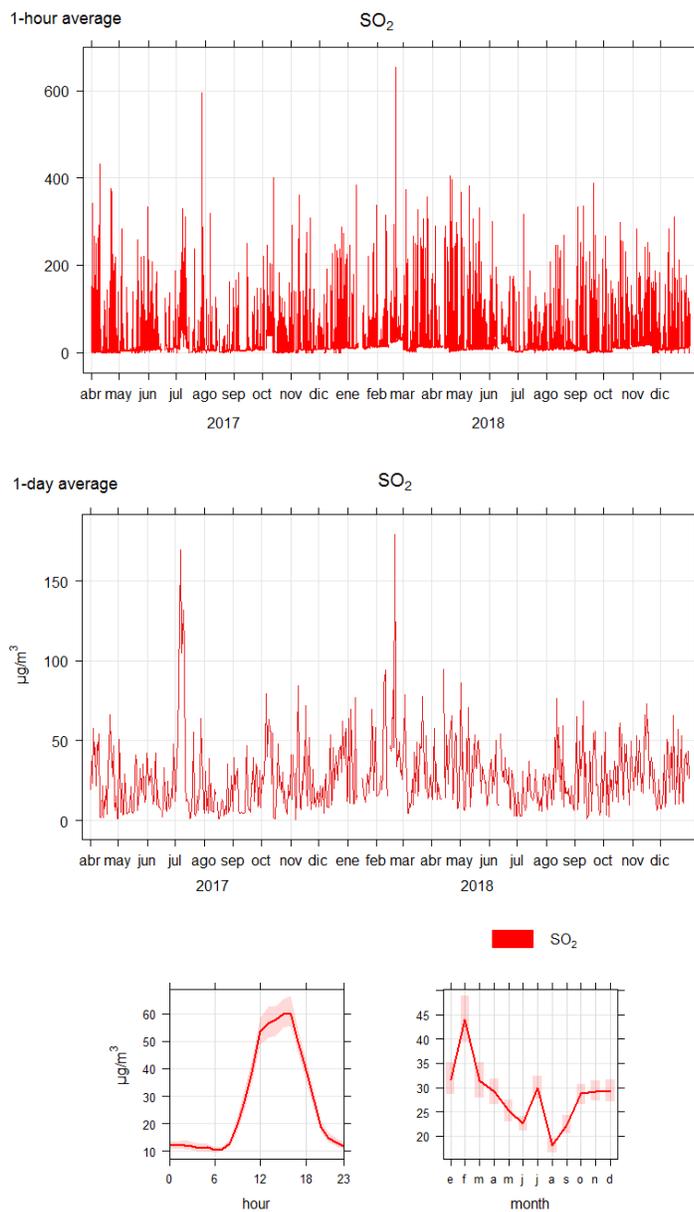
I. Dióxido de azufre SO₂

El análisis de las series temporales de todo el período de estudio 1.4.2017–31.12.2018 se muestra en la figura 2 y sugiere:

- la cobertura de datos es muy buena, 95%
- ningún deslizamiento serio de los datos
- máximos por hora muy altos, 653 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ más altos, los valores por hora excedieron 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dos veces, comparables a las 3 y 5 veces en La Greda y Ventanas, respectivamente.
- máximos diarios típicamente alrededor de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que son más altos que los de La Greda y Ventanas. La razón no está clara.

- todo el período promedio es de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es más alto que los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en La Greda y Ventanas, pero comparable a la media anual registrada en Puchuncaví.
- el pico del mediodía sugiere el transporte de SO_2 desde el área del parque industrial y las emisiones de los barcos con la brisa marina durante el día, en analogía con el comportamiento del ciclo diurno de SO_2 en Los Maitenes, La Greda y Ventana.

Figura 2. Series temporales horarias y diarias y la variación diurna y mensual de SO_2 en Campiche.

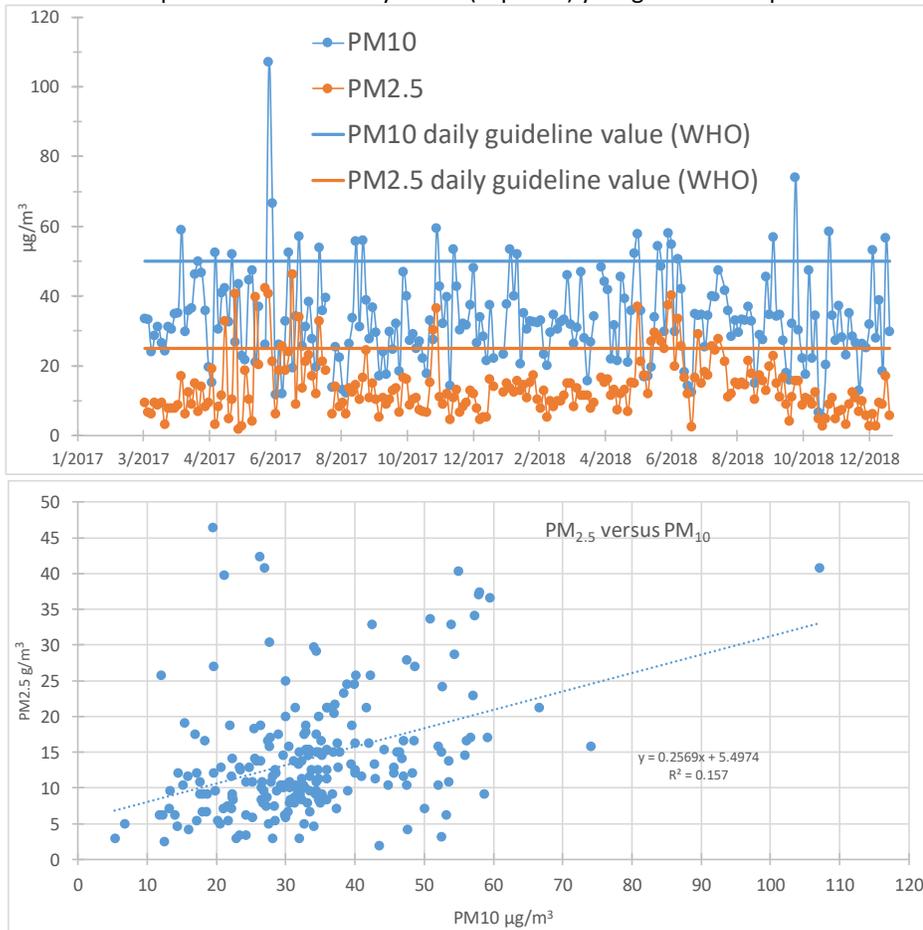


II. Partículas PM10 y PM2.5 (gravimétricas)

El análisis de las series temporales de todo el período de estudio 2.3.2017–31.12.2018 se muestra en la figura 2 y sugiere:

- se toman muestras cada tres días, solo un puñado de datos faltantes; el rendimiento de los datos es bueno
- las medias del período de estudio son 14 y 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5 y PM10, respectivamente. Estos valores son comparables a los valores registrados en otras estaciones en esta área. Se superan los respectivos valores de referencia anuales de la OMS (10 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- los valores de referencia diarios de la OMS se superan con frecuencia; El 21% y el 12% de los valores diarios registrados de PM2.5 y PM10 exceden sus pautas (25 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- casi no hay correlación entre PM2.5 y PM10. Esto sugiere diferentes fuentes.

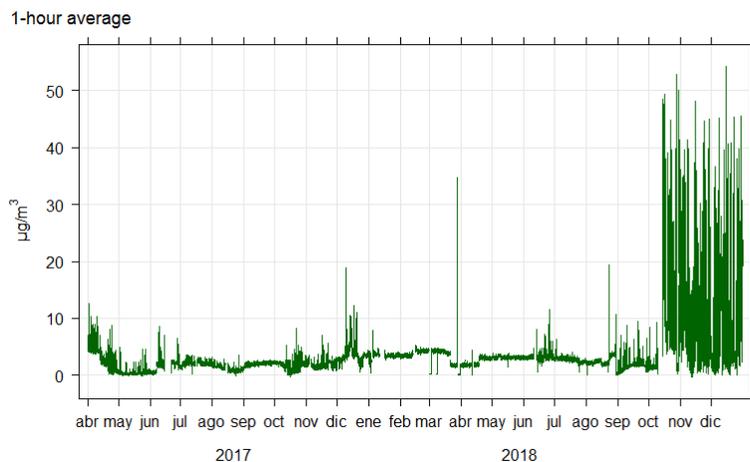
Figura 3. Series de tiempo diarias de PM2.5 y PM10 (superior) y diagrama de dispersión PM2.5 vs PM10.



III. Óxidos de nitrógeno NOx

Los datos de monitoreo de NOx tienen serios problemas de calidad (Figura 4) y son prácticamente inútiles. Solo los últimos dos meses parecen aceptables, se genera la duda respecto de si se han llevado a cabo las actividades de mantenimiento.

Figura 4. Series horarias de NOx



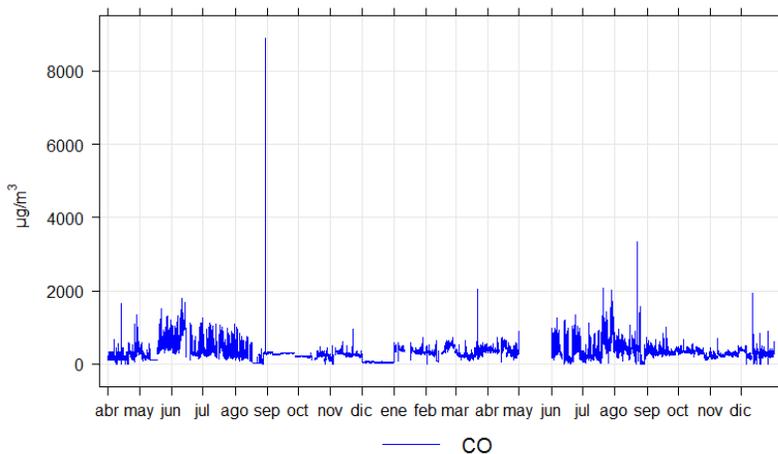
IV. Monóxido de carbono CO

- las series horarias de CO por hora sugieren algunas irregularidades en la calidad de los datos (desde septiembre de 2017 hasta mayo de 2018 problemático)
- el nivel de concentración ($200-600 \mu\text{g} / \text{m}^3$) es el mismo (bajo) que el registrado en otras estaciones en el área.
- la variación diurna parece creíble hasta cierto punto, los picos durante la noche sugieren una fuerte dependencia de las condiciones de estabilidad atmosférica, cuyo patrón principal también era visible en otras estaciones. Los picos del día son, sin embargo, más pequeños en Campiche.

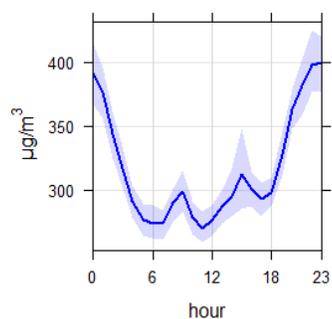
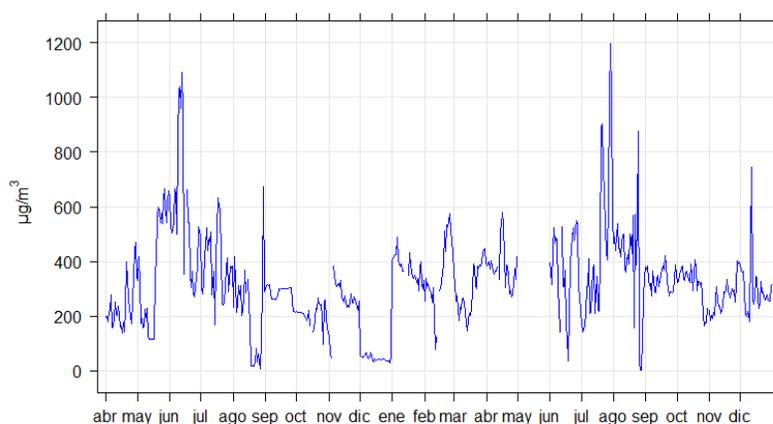
Los datos se muestran en la figura 5.

Figura 5. Series temporales de CO por hora y por día junto con variación diurna.

1-hour average



1-day average



V. Ozono O₃

- La figura 6 muestra los datos de ozono, que parecen tener los mismos problemas que los datos de ozono analizados previamente de la misma área: los valores más bajos parecen estar cortados y los cambios ocasionales en niveles cero. La mayoría de las grabaciones están entre 5 y 10 µg /m³, y la distribución de frecuencia está muy sesgada (ver Figura 7 a continuación). Los niveles de concentración

son muy bajos (desde el punto de vista europeo), lo que puede o no influir en el comportamiento del extremo inferior de las mediciones. Se necesitan datos de monitoreo bien calibrados y mantenidos para responder esta pregunta. A modo de comparación, se muestran tres series temporales de ozono con sus distribuciones de frecuencia de Finlandia al final de este Anexo.

- A pesar de los problemas de datos, la variación diurna muestra un buen proceso de formación de ozono en todos los sitios. Los picos se producen en el período del mediodía fotoquímicamente intenso.

Figura 6. Series de tiempo por hora y por día de O_3 junto con la variación diurna, mensual y semanal.

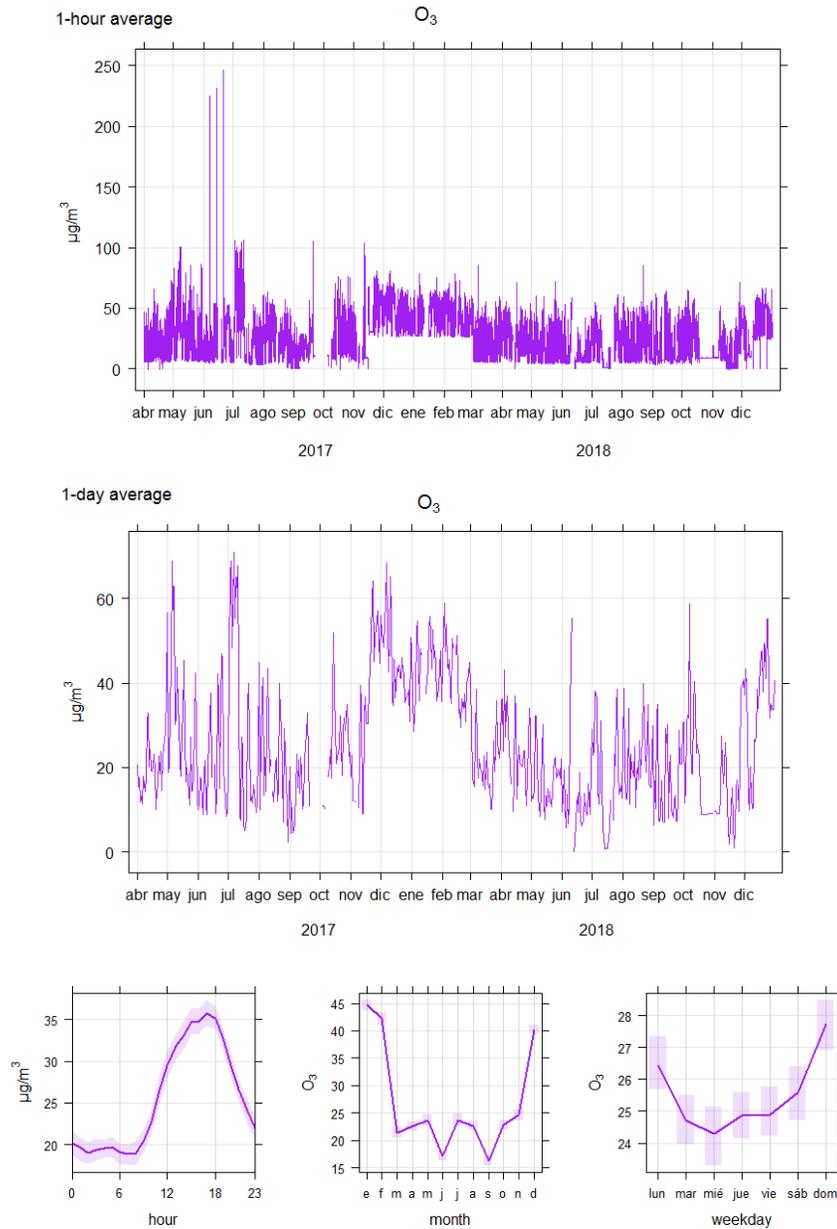
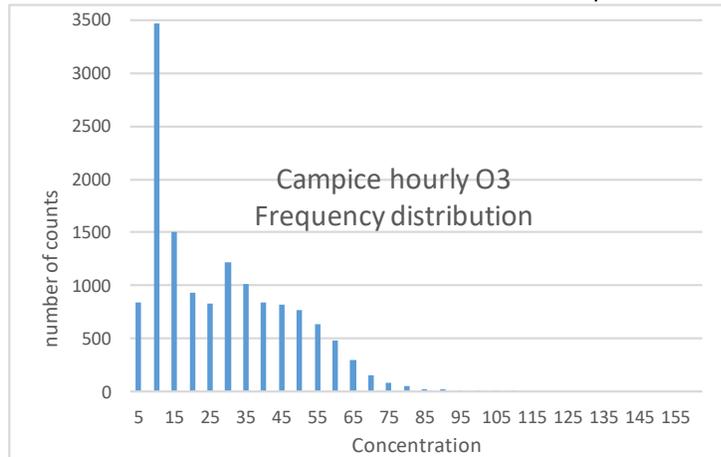


Figura 7. La distribución de frecuencias de las mediciones de O₃ por hora en Campiche.

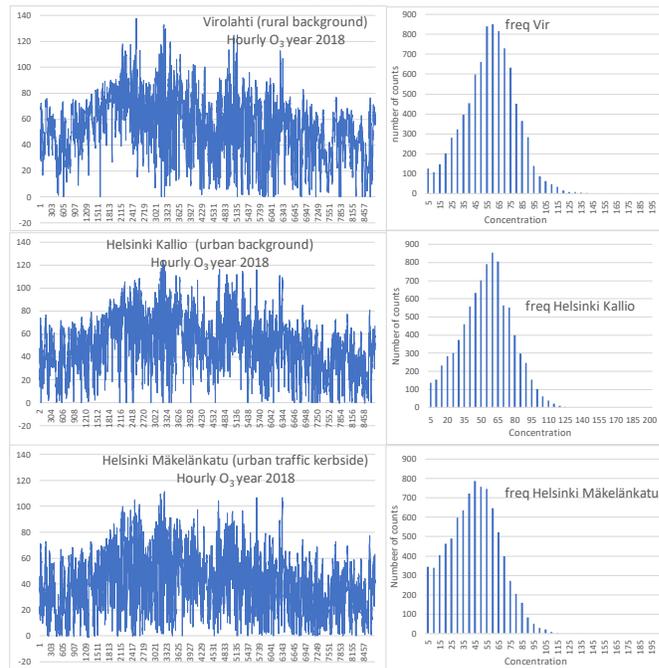


VI. Observaciones finales

Los datos de monitoreo de Campiche muestran muchos patrones similares ya detectados en otros sitios de monitoreo de esta área; altas concentraciones de SO₂ y PM, bajas concentraciones de O₃ y diversos grados de problemas de calidad de datos. Como tal, este material no proporciona información nueva real para ayudar a la gestión de la calidad del aire en esta área.

VII. Ejemplo de mediciones de O₃ en estaciones en Finlandia

Figura 8. Series temporales de O₃ por hora y sus distribuciones de frecuencia de tres sitios de monitoreo finlandeses





PROYECTO:

**MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO
DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE
CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ**

Informe de Avance N°4

- ❖ **Desarrollo de pruebas de inter-comparación entre monitores de material particulado designados como referencia por la U.S. EPA y los monitores actualmente usados en una estación de la zona.**

Fecha de Entrega: 10 de noviembre 2020

Abreviaciones | Definiciones

| | |
|--------------|---|
| AMS | Sistemas automatizados de monitoreo |
| AQD | Directiva de calidad del aire de la Unión Europea |
| DoE | Demostración de Equivalencia |
| EM | Estado Miembro de la UE (Member State) |
| FMI | Finnish Meteorological Institute (Instituto Meteorológico de Finlandia) |
| GDE | Guía para la demostración de equivalencia |
| MC | Métodos candidatos |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MP | Material Particulado |
| MR | Métodos de referencia |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| SOP | Procedimientos Operacionales Estándares |
| UE | Unión Europea |
| QA/QC | Procedimientos de control de calidad |

Contenidos

| | |
|---|-----------|
| 1. ANTECEDENTES..... | 4 |
| 2. ACTIVIDADES DEL CUARTO INFORME DE AVANCE | 5 |
| 3. RESULTADOS | 6 |
| 3.1 Introducción del Informe | 6 |
| 3.2 Documento con procedimiento normalizado de trabajo en pruebas de inter-comparación, para uso posterior por parte del MMA. | 6 |
| 3.3 Material técnico para el adecuado desarrollo de pruebas de inter-comparación de muestreadores, que indique al menos: instrucciones para la preparación de filtros, cadena de custodia, criterios de control y aseguramiento calidad, incluyendo uso y manejo de blancos de terreno. | 6 |
| 3.3.1 Demostración de equivalencia (DoE) en la Unión Europea | 6 |
| 3.3.2 Métodos de referencia para mediciones de material particulado | 7 |
| 3.3.3 Procedimiento de trabajo en pruebas de intercomparación | 9 |
| 3.3.4 Procedimientos de control de calidad | 10 |
| 3.3.5 Preparación de filtros | 11 |
| 3.3.6 Demostración de equivalencia y verificación de analizadores de partículas, caso de ejemplo Finlandia | 11 |
| 3.4 Descripción del equipamiento considerado instrumento de referencia e implementación de la infraestructura de soporte en la estación de monitoreo. | 13 |
| 3.4.1 Monitores de Referencia | 13 |
| 3.4.2 Monitores de Prueba | 15 |
| 3.5 Presentación sobre pruebas de inter-comparación basada en experiencia del FMI. | 17 |
| 3.6 Campaña de Intercomparación gravimétrica en Quintero, Chile | 18 |
| 3.6.1 Objetivos y configuración de la campaña de intercomparación | 18 |
| 3.6.2 Primeros resultados de pesaje de los filtros de muestra | 20 |
| 4. REFERENCIAS..... | 22 |
| 5. ANEXOS..... | 22 |

1. ANTECEDENTES

La Subsecretaría del Medio Ambiente (MMA), del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) del Gobierno de Chile, ha contratado a Fundación Eurochile para la ejecución de la consultoría denominada “MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ”.

A partir del diagnóstico y recomendaciones entregadas en los informes de avance N°1 y 2, del estudio “Mejoramiento de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”, el cual está siendo llevado a cabo por Eurochile en colaboración con el Finnish Meteorological Institute (FMI), la División de Calidad del Aire y Cambio Climático ha determinado la necesidad de ejecutar pruebas de inter-comparación entre monitores de partículas, en razón de las diferencias observadas entre los valores reportados por los equipos de monitoreo con método continuo y en filtro (discreto). Lo anterior con el objeto de establecer los factores de correlación y corrección de las metodologías actualmente utilizadas y asegurar que las mediciones en la zona sean equivalentes a métodos de referencia internacional. En este contexto, las partes vienen en prorrogar la vigencia del contrato y ampliar los servicios contemplados originalmente.

El objetivo de la ampliación de los servicios contemplados en el contrato es desarrollar pruebas de inter-comparación entre monitores de material particulado designados como referencia por la U.S. EPA y los monitores actualmente usados en una estación de la zona.

Para efecto de lo anterior, la modificación del contrato compromete el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- a) Asesorar al Ministerio en el diseño y ejecución de campañas de monitoreo para la inter-comparación de resultados de MP_{10} y $MP_{2.5}$ reportados por el laboratorio de gravimetría del FMI y de los operadores de las estaciones de la zona de interés.
- b) Efectuar especiación química de MP_{10} de las muestras obtenidas durante las campañas de monitoreo de inter-comparación y comparar resultados de los análisis químicos entregados por el laboratorio del FMI y por los operadores de las estaciones de monitoreo de la zona de interés.
- c) Determinar la precisión y exactitud entre los resultados obtenidos mediante los equipos de referencia y los actualmente utilizados en la estación de monitoreo.
- d) Elaborar procedimiento normalizado de trabajo para su uso posterior por parte del MMA, que indique al menos: instrucciones para la preparación de filtros, cadena de custodia, criterios de control y aseguramiento calidad, y material técnico para el desarrollo de prueba de inter-comparación de muestreadores.

Descripción general

Para el total cumplimiento de los objetivos establecidos se ha previsto el desarrollo de las siguientes actividades:

Para el desarrollo de la inter-comparación se instalarán dos monitores de referencia U.S. EPA para la colección automática de MP_{10} y $MP_{2.5}$ en filtros de Teflón. Las muestras serán sometidas

a un análisis gravimétrico a ejecutar en el laboratorio del FMI. Adicionalmente, los operadores de las estaciones manejarán los equipos de monitoreo para la colección de MP₁₀ y MP_{2.5}, existentes, siguiendo sus propios procedimientos operacionales estándares internos que utilizan actualmente.

Los resultados gravimétricos entregados por Eurochile-FMI serán considerados como los valores referenciales para contrastar los resultados entregados por los operadores. El informe de resultados del análisis gravimétrico se deberá acompañar de un archivo Excel que indique el pesaje pre y post muestreo de los todos los filtros colectados durante la campaña de inter-comparación.

La campaña de inter-comparación será ejecutada en una estación de la zona de Quintero en donde se realizará la colección de MP₁₀ y MP_{2.5} durante 24 horas.

2. ACTIVIDADES DEL CUARTO INFORME DE AVANCE

Para dar cumplimiento al objetivo señalado el trabajo se ha dividido en dos etapas, donde la primera parte es presentada en este informe a través del reporte de las siguientes actividades:

- i. Documento con procedimiento normalizado de trabajo en pruebas de inter-comparación, para uso posterior por parte del MMA.
- ii. Material técnico para el adecuado desarrollo de pruebas de inter-comparación de muestreadores, que indique al menos: instrucciones para la preparación de filtros, cadena de custodia, criterios de control y aseguramiento calidad, incluyendo uso y manejo de blancos de terreno.
- iii. Presentación sobre pruebas de inter-comparación basada en experiencia del FMI.
- iv. Descripción del equipamiento considerado instrumento de referencia e implementación de la infraestructura de soporte en la estación de monitoreo.
- v. Resultados de la preparación de filtros de teflón de MP₁₀ y filtros de teflón de MP_{2.5} para la recolección de muestras de terreno, incluyendo tabla con identificación de los filtros y pesajes de pre muestreo realizados en el laboratorio del FMI, en coherencia al procedimiento normalizado de trabajo.
- vi. Resultados con pesaje gravimétrico pre y postmuestreo, efectuado por el laboratorio del FMI, para al menos el 10% de las muestras colectadas en filtros de teflón de MP₁₀ y muestras colectadas en filtros de teflón MP_{2.5}.
- vii. Resultados parciales del análisis gravimétrico efectuado por el FMI para muestras colectadas en filtros de teflón de MP₁₀ y muestras colectadas en filtros de teflón de MP_{2.5}, según se establezca con la contraparte técnica durante toda la campaña de inter-comparación. Se deberá acompañar con un archivo Excel que indique los pesajes pre y post muestreo.

3. RESULTADOS

3.1 Introducción del Informe

Este informe corresponde a lo reportado en la cuarta etapa del proyecto “Mejoramiento de la red de monitoreo de la calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi”.

Este estudio incluye dos partes: 1. Campaña práctica de muestreo intercomparación y pesaje gravimétrico y 2. transferencia de conocimientos mediante el intercambio de experiencias de las prácticas de la UE sobre la organización de campañas de intercomparación y demostración de equivalencia (DoE) en talleres de formación en línea. Mientras en Chile se organiza una campaña práctica de intercomparación sobre el pesaje gravimétrico de material particulado en muestreos en filtros, el proceso de pesaje gravimétrico está organizado en parte en Finlandia por el Instituto Meteorológico de Finlandia y en parte en Chile por el operador local de control de la calidad del aire. La campaña de intercomparación para el análisis gravimétrico de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en filtros muestreados con aire ambiente, se centra en el aspecto de aseguramiento y control de calidad en el monitoreo de la calidad del aire.

Este informe describe la campaña de intercomparación realizada en la estación Quintero en Chile y los resultados de pesaje de los primeros juegos de filtros para PM₁₀ y PM_{2.5}. La campaña de muestreo de filtros de intercomparación y pesaje gravimétrico continuará hasta enero de 2021, por lo que los resultados de la intercomparación gravimétrica y la demostración de la base de equivalencia de la campaña se presentarán en el próximo informe (Informe No. 5).

Este informe también incluye la introducción a los procedimientos de trabajo de la UE y las directrices para establecer y organizar campañas de intercomparación e instrucciones técnicas sobre la preparación del equipo necesario para la campaña de intercomparación, tales como; muestreadores de métodos de referencia, filtros y procesos de pesaje gravimétrico para la campaña de intercomparación teniendo en cuenta procedimientos de control y garantía de calidad adecuados.

3.2 Documento con procedimiento normalizado de trabajo en pruebas de inter-comparación, para uso posterior por parte del MMA.

El procedimiento de operación estándar (SOP) del Laboratorio de referencia nacional para la calidad del aire en el Instituto Meteorológico de Finlandia para el método gravimétrico para material particulado se presenta en el informe (Anexo I).

3.3 Material técnico para el adecuado desarrollo de pruebas de inter-comparación de muestreadores, que indique al menos: instrucciones para la preparación de filtros, cadena de custodia, criterios de control y aseguramiento calidad, incluyendo uso y manejo de blancos de terreno.

3.3.1 Demostración de equivalencia (DoE) en la Unión Europea

La Directiva de calidad del aire de la Unión Europea, AQD, (2008/50 / EC), establece las reglas relativas a los métodos de referencia (MR) para las mediciones de, por ejemplo, concentración de masa de material particulado en el aire. El estado miembro de la UE (EM) puede utilizar cualquier otro método, del que se

puede demostrar que presenta una relación coherente con el método de referencia. Por lo tanto, la demostración de equivalencia (DoE) se lleva a cabo para este propósito. Por ejemplo, para el monitoreo de material particulado, el método de referencia es el método gravimétrico que se basa en el muestreo y el pesaje del filtro. Sin embargo, los analizadores automáticos que proporcionan información en línea de las concentraciones de partículas se utilizan ampliamente en Europa. Por tanto, es necesario organizar la demostración de equivalencia para definir la equivalencia entre los analizadores automáticos y el método de referencia.

En 2002, la CE puso en marcha un grupo de trabajo sobre Orientaciones para la demostración de equivalencia. El grupo de trabajo completó su trabajo en 2005 con un documento Guía para la demostración de equivalencia de métodos de monitoreo del aire ambiental, GDE. Para facilitar el uso del GDE para la demostración de la equivalencia de los métodos candidatos (MC) con el método de referencia (MR) para el seguimiento de MP, se puso a disposición una macro de Excel en la página web de la Comisión (<http://ec.europa.eu/medioambiente/aire/calidad/legislacion/evaluacion.htm>). La macro permite al usuario probar la equivalencia para pares de entrada de valores de datos del MC y el MR.

El informe de la Guía para la demostración de equivalencia de métodos de control del aire ambiente describe los principios y metodologías que se utilizarán para demostrar la equivalencia de métodos distintos de los métodos de referencia de la UE. Es un documento de orientación que deben utilizar los laboratorios designados por las autoridades nacionales competentes para realizar las pruebas pertinentes para demostrar la equivalencia de los métodos de medición del aire ambiente.

3.3.2 Métodos de referencia para mediciones de material particulado

El método de medición de referencia para el muestreo y la medición de la concentración de masa de PM_{10} y $PM_{2.5}$ es gravimétrico y está prescrito en la norma europea (Norma europea, EN) EN 12341 (EN 12341, 2014) preparada por el Comité Europeo de Normalización (CEN). La Directiva define que PM_{10} y $PM_{2.5}$ significa material particulado que pasa a través de una entrada de tamaño selectivo con una eficiencia del 50% con un tamaño de corte de $10\ \mu m$ y $2,5\ \mu m$ como diámetro aerodinámico, respectivamente. La norma prescribe el método de medición, incluidos los criterios de diseño de entrada para ambas clases de tamaño, así como los procedimientos de almacenamiento y pesaje de los filtros. También se definen los materiales filtrantes aprobados para la recolección de la fracción de partículas. Además de los métodos de referencia, la AQD establece que la concentración de masa para los resultados de MP se referirá a las condiciones ambientales predominantes en términos de temperatura y presión atmosférica. (Walden et al., 2017)

Los objetivos comunes de calidad de datos (DQO) para las mediciones de MP realizadas en Europa se presentan en 2008/50 / EC, Anexo II Sección A y en la norma CEN EN12341: 2014. Se resumen en la Tabla 1 de este informe a continuación.

Tabla 1. Objetivos de calidad para la incertidumbre de medición permisible de mediciones continuas y evaluaciones de la calidad del aire, la cobertura temporal de las mediciones y la cobertura mínima de datos de medición (Directiva de calidad del aire de la UE 2008/50 / CE).

| | Sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen and carbon monoxide | Benzene | Particulate matter (PM ₁₀ /PM _{2.5}) and lead | Ozone and related NO and NO ₂ |
|--|--|---------------------|--|--|
| Fixed measurements ⁽¹⁾ | | | | |
| Uncertainty | 15 % | 25 % | 25 % | 15 % |
| Minimum data capture | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % during summer 75 % during winter |
| Minimum time coverage: | | | | |
| — urban background and traffic | — | 35 % ⁽²⁾ | — | — |
| — industrial sites | — | 90 % | — | — |
| Indicative measurements | | | | |
| Uncertainty | 25 % | 30 % | 50 % | 30 % |
| Minimum data capture | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % |
| Minimum time coverage | 14 % ⁽⁴⁾ | 14 % ⁽³⁾ | 14 % ⁽⁴⁾ | > 10 % during summer |
| Modelling uncertainty: | | | | |
| Hourly | 50 % | — | — | 50 % |
| Eight-hour averages | 50 % | — | — | 50 % |
| Daily averages | 50 % | — | not yet defined | — |
| Annual averages | 30 % | 50 % | 50 % | — |
| Objective estimation | | | | |
| Uncertainty | 75 % | 100 % | 100 % | 75 % |

⁽¹⁾ Member States may apply random measurements instead of continuous measurements for benzene, lead and particulate matter if they can demonstrate to the Commission that the uncertainty, including the uncertainty due to random sampling, meets the quality objective of 25 % and the time coverage is still larger than the minimum time coverage for indicative measurements. Random sampling must be evenly distributed over the year in order to avoid skewing of results. The uncertainty due to random sampling may be determined by the procedure laid down in ISO 11222 (2002) 'Air Quality — Determination of the Uncertainty of the Time Average of Air Quality Measurements'. If random measurements are used to assess the requirements of the PM₁₀ limit value, the 90,4 percentile (to be lower than or equal to 50 µg/m³) should be evaluated instead of the number of exceedances, which is highly influenced by data coverage.

⁽²⁾ Distributed over the year to be representative of various conditions for climate and traffic.

⁽³⁾ One day's measurement a week at random, evenly distributed over the year, or eight weeks evenly distributed over the year.

⁽⁴⁾ One measurement a week at random, evenly distributed over the year, or eight weeks evenly distributed over the year.

3.3.3 Procedimiento de trabajo en pruebas de intercomparación

Análisis gravimétrico (FMI)

La norma EN 12341: 2014 describe las condiciones ambientales para el acondicionamiento del filtro durante el proceso de pesaje del filtro: temperatura 20 ± 1 °C, humedad relativa del 45 al 50%. La instalación de pesaje de los filtros en FMI es de fabricación propia y consta del gabinete de pesaje y el sistema de acondicionamiento y control.

El esquema de la operación se muestra en la Figura 1. La condición ambiental dentro de la instalación de pesaje se obtiene inyectando aire seco obtenido del sistema de aire comprimido del laboratorio a través del sistema de humidificación en la cámara de pesaje. El caudal de aire seco se controla mediante dos controladores de caudal de masa y se inyecta a través de los humidificadores Perma-pure a temperaturas controladas por baños de agua. El primer baño de agua (VH1) y el humidificador (PPK1) son para alcanzar las condiciones de temperatura y contenido de agua cercanas a los requisitos de la norma, y el segundo (VH2 y PPK2) se utilizan más para ajustes. Las condiciones se registran mediante la sonda de medición del punto de rocío (transmisor de temperatura y punto de rocío, DMP 248) de Vaisala. Los datos se almacenan en la computadora del laboratorio. Los filtros se pesan utilizando una ultramicrobalanza (XP2U) de Mettler Toledo. La calibración de la balanza de laboratorio se realiza una vez al año por un laboratorio de calibración acreditado a través del cual se vincula la trazabilidad de los resultados de pesaje a la norma nacional. Además, la tara de la balanza se comprueba diariamente mediante una función automatizada de la balanza. Las bandejas de filtro dentro de la cámara son capaces de transportar más de 30 filtros dentro de la cámara. La función de pesaje de filtros se muestra en la Figura 2.

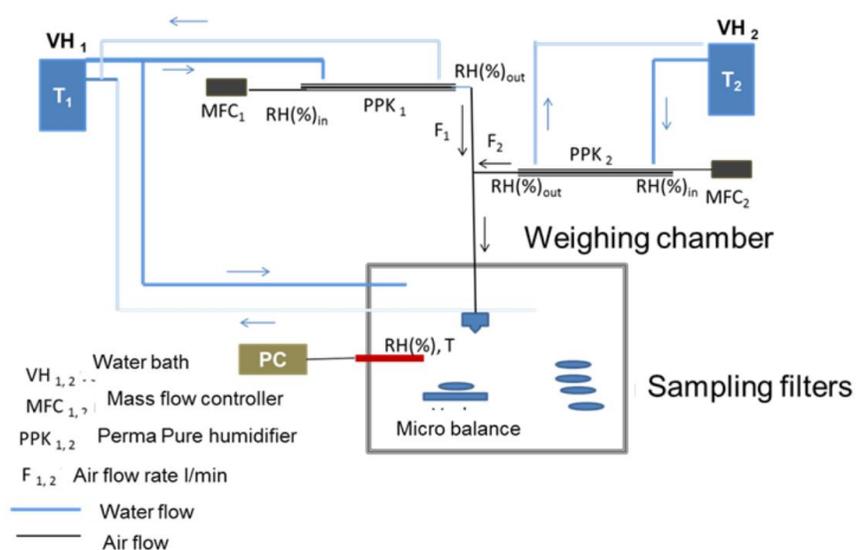


Figura 1. Diseño esquemático del sistema de control para pesar los filtros para el método de referencia (Walden et al, 2017)



Figura 2. La caja de pesaje para los filtros y las unidades de control para acondicionamiento de temperatura y humedad (a la izquierda) con la balanza (en la parte superior central) y la bandeja del filtro (a la derecha) (Walden et al, 2017)

El proceso de pesaje de los filtros está acreditado según la norma de calidad ISO EN 17025: 2017. En el Anexo I se presenta una descripción detallada del sistema y el procedimiento de pesaje en el Procedimiento operativo estándar (SOP K11) del Instituto Meteorológico de Finlandia para el método gravimétrico para la masa de partículas.

3.3.4 Procedimientos de control de calidad

Durante las pruebas de equivalencia / verificación, los procedimientos de control de calidad (QA / QC) se llevarán a cabo de acuerdo con la cláusula 8.6 en EN 16450: 2017. En el caso de los muestreadores de referencia, QA / QC incluye:

- Verificación de la medición de flujo en bases regulares (al principio y cada tercer mes)
- Limpieza y engrase del cabezal de muestreo: todos los meses cuando se utilice una entrada selectiva por tamaño de acuerdo con las instrucciones de EN 12341: 2014.

En el caso del AMS, los procedimientos de QA / QC se llevarán a cabo de acuerdo con los procedimientos operativos estándar de la red, que incluyen:

- Medición de flujo
- Limpieza y engrase del cabezal de muestreo
- Comprobación del funcionamiento del sensor (temperatura, presión)
- Los caudales de los muestreadores de referencia deben medirse con un caudalímetro másico.

El medidor de flujo másico debe calibrarse en el laboratorio de calibración, que mantiene la trazabilidad de la instalación de calibración a través de una calibración regular con el método de calibración de flujo primario en el instituto nacional de metrología. En el caso de FMI, la incertidumbre de la instalación de calibración de flujo a la tasa de flujo de muestreo de las entradas selectivas de tamaño es 0,7% (<https://www.finas.fi/sites/en/operators/Pages/default.aspx>, laboratorio de calibración K043). La incertidumbre del medidor de flujo másico de, es decir, el modelo TSI 4043 se estima en base al certificado de calibración como 1.5% como incertidumbre expandida. La limpieza de las entradas selectivas de tamaño debe realizarse de acuerdo con la recomendación del fabricante de la entrada y de acuerdo con la norma EN (EN 12341). El intervalo de tiempo para la limpieza de las entradas depende del entorno de

control, en Finlandia una vez al mes es suficiente. Las placas de impacto se limpian con grasa de silicona para vacío después de la limpieza de las entradas para evitar que las partículas más grandes que el tamaño de corte reboten en la placa de impacto. El uso de grasa está indicado para el tamaño de las entradas selectivas fabricadas de acuerdo con la norma EN. En el caso del tipo de entrada US-EPA, no se utiliza grasa, según las instrucciones del fabricante.

Filtros en blanco para control de calidad

El uso de filtros en blanco es una parte importante del concepto de control de calidad. Para el seguimiento del proceso de pesaje, incluida la influencia del acondicionamiento del filtro, se utilizan filtros en blanco de la sala de pesaje. El blanco de la sala de pesaje es un filtro que se somete a los mismos procedimientos de acondicionamiento y pesaje que un filtro de muestra, pero se almacena en la sala de pesaje. Los efectos adicionales sobre la masa del filtro, como la manipulación de los filtros, la carga y descarga del muestreador, el transporte, la pérdida de material o la desabsorción de agua en el material del filtro, se consideran mediante la investigación de la masa de los blancos de campo. El blanco de campo es un filtro que se somete a los mismos procedimientos de acondicionamiento y pesaje que un filtro de muestra, incluido el transporte hacia y desde y el almacenamiento en el campo, pero no se utiliza para tomar muestras de aire. Los blancos de campo no deben usarse para la corrección de pesajes de MP en filtros porque la suposición de que los procesos que afectan el blanco de campo y el filtro de muestra son los mismos es poco probable que sea válida debido al flujo de aire que pasa por el filtro muestreado.

3.3.5 Preparación de filtros

1. Recopile o anote los datos de muestreo. Código de filtro (también en la placa petri), fecha de muestreo, tiempo de muestreo (h), volumen de muestreo ambiental (m^3), volumen de muestreo normalizado (Nm^3), temperatura ambiente (T_a , C), presión ambiental (Pa), comentarios (problemas, lluvia intensa, eventos de polvo, incendios, etc.).
2. En el laboratorio, abra el cargador de muestreo (tubo de muestreo) y saque los portafiltros del tubo. Luego, saque con cuidado cada filtro recolectado y colóquelo en su placa petri. Use pinzas de plástico para esto. Las pinzas se pueden lavar con etanol o acetona. Evite tocar el filtro con las manos.
3. Marque las fechas de muestreo en la placa petri. Coloque las placa petri en su caja contenedor.
4. Tome los filtros nuevos pesados de placa petri y colóquelos en soportes limpios y colóquelos en el tubo de muestreo.
5. Limpie el cabezal de muestreo y limpie y engrase la placa de grasa cuando sea necesario (por ejemplo, una vez a la semana) o cuando cambie el cargador de muestreo.

3.3.6 Demostración de equivalencia y verificación de analizadores de partículas, caso de ejemplo Finlandia

El Instituto Meteorológico de Finlandia, como laboratorio nacional de referencia para las mediciones de la calidad del aire, ha organizado la demostración de equivalencia (DoE) de los sistemas automatizados de monitoreo continuo (AMS) para la determinación de la concentración de $MP_{2.5}$ y MP_{10} de partículas en suspensión en la ciudad de Kuopio (Figura 3). Finlandia durante 2014-15 (Walden et al., 2017). Después del DoE, la verificación de los analizadores de MP para MP_{10} y $MP_{2.5}$ con el método de referencia de MP se organizó en 2017 y 2018 para evaluar qué tan bien se aplican las ecuaciones de equivalencia definidas

en el DoE organizado en Kuopio (centro de Finlandia) a las otras áreas (Finlandia meridional y zonas costeras). (Walden y Vestenius, 2018)



Figura 3. sitio de medición en Kuopio DoE 2014-15 (izquierda) y mediciones de la campaña de verificación 2017 en Oulu (arriba a la derecha) e Imatra (abajo a la derecha).

En 2014–2015, el método de demostración meteorológica sin referencia es equivalente al método de referencia para medir la concentración de material particulado (MP) para las clases de tamaño de $MP_{2.5}$ y MP_{10} , es decir, tamaños de partículas de menos de $2.5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$ de diámetro aerodinámico, respectivamente, se realizó en la ciudad de Kuopio, Finlandia. En total, ocho métodos candidatos (MC), es decir, el método de medición para el que era necesario demostrar la equivalencia, participaron en los estudios de equivalencia: FH 62 IR, Grimm modelo 180, MP101 CPM, Osiris y SHARP modelo 5030, TEOM 1405, BAM 1020 y DustTrak 8535. El período de prueba fue de un año completo.

El programa de prueba se elaboró de acuerdo con la Guía para la demostración de equivalencia de métodos de control del aire ambiente (GDE) de la Comisión Europea. Sin embargo, la prueba de idoneidad, que supone que más del 20% de los valores de concentración diarios durante todo el estudio de comparación debe exceder el umbral de evaluación superior (UAT) para el valor límite anual definido por la AQD, no se cumplió para las mediciones de $MP_{2.5}$ en el período de medición que duró un año. Esta es una situación muy típica en Finlandia, donde los niveles de concentración de $MP_{2.5}$ suelen ser muy bajos. En el caso de la comparación de MP_{10} , las concentraciones de masa diaria excedieron el UAT durante más del 20% del período de medición para cumplir con el requisito de la GDE. Se presentó la función de calibración contra el método de referencia para cada método candidato, así como los resultados si se ha producido un incumplimiento de los criterios en cualquiera de los métodos candidatos. Los resultados mostraron que DustTrak 8535 no cumplió con los criterios de equivalencia para mediciones fijas de $MP_{2.5}$.

y MP₁₀. Osiris cumplió con los criterios para las mediciones de MP₁₀ pero no cumplió con los criterios para las mediciones de MP_{2.5}. Todos los demás CM, FH 62 I-R, Grimm modelo 180, MP101 CPM, SHARP modelo 5030, TEOM 1405 y BAM 1020 cumplieron los criterios para las mediciones de MP_{2.5} y MP₁₀.

En 2017 y 2018 se organizó la verificación continua de analizadores de PM. El propósito del ejercicio de verificación fue demostrar si los sistemas automatizados de monitoreo continuo (AMS) probados y aprobados durante el estudio del DoE en Kuopio eran aplicables en otras partes de Finlandia. La comparación del AMS de la red local (sitio) con el RM se realizó en varias partes de Finlandia (sur y norte, este y oeste) para ver si el AMS, que fue aprobado como método de equivalencia, aún cumple los criterios de idoneidad en otras partes de Finlandia. Se llevaron a cabo campañas de verificación de dos meses en ocho sitios de medición de diferentes redes locales de calidad del aire en Finlandia, ya sea para mediciones de MP_{2.5} o MP₁₀. Los AMS cuyo DoE fue aprobado fueron: FH62-IR, Grimm modelo 180, MP101 CPM, Osiris, SHARP modelo 5030 y TEOM 1405. Además, TEOM 1405D y APM-2 fueron probados para verificación, aunque no participaron en las pruebas DoE en Kuopio, pero se utilizan en algunas de las redes de Finlandia.

La estrategia de prueba se modificó a partir de la norma EN pertinente para utilizar el AMS para mediciones de concentraciones de MP_{2.5} y MP₁₀ en el aire ambiente. Esta estrategia permitió incluir más sitios e instrumentos probados en el estudio, pero sin una menor estacionalidad de la que hubiera sido necesaria siguiendo la guía con precisión. Como resultado del estudio de verificación, los factores de calibración logrados en DoE en Kuopio son aplicables para el mismo modelo de AMS probado en Kuopio en diferentes ubicaciones en Finlandia con pocas limitaciones. El FH62-IR obtuvo un mejor rendimiento utilizando el factor de calibración obtenido en el estudio de verificación en Helsinki que el basado en el DoE en Kuopio. Osiris pasó la prueba para MP₁₀ pero no para las mediciones de MP_{2.5} como en Kuopio. El APM-2 ha sido probado por Rheinland Energie und Umwelt GmbH, TÜV que es un laboratorio de pruebas acreditado y se ha encontrado que es equivalente al método de referencia tanto para las mediciones de MP_{2.5} como para las de MP₁₀. Con base en los resultados de las pruebas de TÜV y los resultados de verificación obtenidos en el estudio de verificación, el APM-2 se puede utilizar para mediciones de MP_{2.5} y MP₁₀ en Finlandia, pero aplicando los factores de calibración obtenidos en este estudio. TEOM 1405D no se probó para DoE y no se puede afirmar que sea equivalente al método de referencia. Por lo tanto, los factores de calibración obtenidos en el estudio de verificación no se pueden utilizar para TEOM 1405D.

3.4 Descripción del equipamiento considerado instrumento de referencia e implementación de la infraestructura de soporte en la estación de monitoreo.

3.4.1 Monitores de Referencia

E-SEQ-FRM

Los monitores de referencia utilizados en la campaña corresponden a equipos automáticos de colección en filtros, marca Met One Instruments Inc (Oregon, EE.UU.) (Figura 4)

El equipo conocido técnicamente como E-SEQ-FRM (Environmental Sequential Federal Reference Method Sampler) es un muestreador de MP₁₀ y MP_{2.5} en filtros, con la posibilidad de programar múltiples de eventos de muestreo. El equipo cumple con las especificaciones de la US-EPA como método de referencia

para la determinación de MP_{10} y $MP_{2.5}$ diario, razón por la cual se encuentra designado y listado como Equipo de Referencia¹.

El E-SEQ-FRM emplea un carrusel o cargador de filtros, que permite contener hasta 16 filtros de 47 mm pesados previamente, y dispuestos en discos casetes individuales. Los filtros son intercambiados automáticamente por el muestreador antes de cada período de muestreo. Según el programa configurado por el operador, el instrumento ejecuta una serie de muestras basadas en un horario programado con tiempos de inicio y término definidos.

Una bomba de vacío, controlada a 16.67 litros por minuto, extrae aire ambiente a través de un sistema de entrada que proporcionan los puntos de corte para MP_{10} y, en su caso, $MP_{2.5}$ mediante un sistema de ciclón. La muestra entonces pasa a través del filtro, donde se deposita la materia particulada en el aire.

Una vez finalizado el período de muestreo, el filtro muestreado se traslada automáticamente al carrusel de almacenamiento hasta el momento del retiro. Luego durante la visita a la estación, el carrusel es retirado, y los filtros se envían a un laboratorio para equilibrarlos y volver a pesarlos.

Los valores de masa obtenidos para los filtros con y sin muestra permiten calcular la masa de MP colectado, y luego se dividen por el volumen de aire muestreado para determinar la concentración de partículas en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Figura 4.

Designación US.EPA: RFPS-0717-245, RFPS-0717-246, RFPS-0717-247

Tamaño: 2.0 m alto, 37 cm ancho, 36 cm largo.

Peso: 22 kg

Flujo: 16.67 L/min (1 m³/hr)

Energía: 110 – 220 V AC, 50 W

¹ <http://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/criteria/reference-equivalent-methods-list.pdf>

3.4.2 Monitores de Prueba

PQ-100

Uno de los equipos a evaluar en la campaña de intercomparación corresponde al muestreador en filtros PQ-100 de marca BGI-Mesa Labs (Colorado, EE.UU.)(Figura 5).

Este monitor tiene incorporada una "bomba de aire inteligente", ya que puede controlar su propia tasa de flujo de aire y así ajustar la velocidad de la bomba para compensar los cambios en la presión y otras fuerzas que de otro modo pueden obstaculizar el flujo de aire a través de un filtro.

El PQ100 se puede programar para comenzar su trabajo de muestreo en una fecha y hora específicas, así como detener el muestreo después de que se complete el tiempo de ejecución definido por el usuario. De esta forma, el equipo puede ser considerado como no-automático.

Una pantalla de cristal líquido proporciona al operador una lectura del caudal, la presión barométrica, funciones de temperatura, fecha, hora y calibración. El PQ100 opera a caudales que oscilan entre 5 y 20 litros por minuto. Usualmente se opera en condiciones estándar definidas por la US.EPA, esto es de 16.67 litros por minuto, a una presión barométrica de 760 mm de Hg y una temperatura estándar de 25 C. Esto también se conoce comúnmente como flujo másico.

El instrumento también puede configurarse para funcionar en condiciones reales en las que se mantiene el caudal seleccionado a la presión barométrica y temperatura ambiente reales. No obstante, el instrumento contiene incorporado ciertos valores predeterminados en este instrumento para reflejar los procedimientos de muestreo de aire estilo EPA.



Figura 5.
 Designación US.EPA: RFPS-1298-124
 Tamaño: 1.8 m alto, 25 cm ancho, 25 cm largo.
 Peso: 9 kg
 Flujo: controlable entre 2-20 LPM
 Energía: 120 o 240 VCA

BAM 1020

El segundo tipo de equipos a evaluar en la campaña de intercomparación corresponde al monitor continuo BAM 1020, marca Met One Instruments Inc. (Figura 6).

El monitor BAM 1020 (Beta Attenuation Monitor) fue el primer instrumento continuo en obtener la designación de método equivalente (FEM) por la US.EPA para el monitoreo continuo de $MP_{2.5}$. El equipo también ha obtenido las correspondientes certificaciones para $MP_{2.5}$ y MP_{10} en la Unión Europea. Dos unidades BAM 1020 también se pueden operar en paralelo como un método para medir la fracción gruesa, o $MP_{10-2.5}$, con designación de la US.EPA.

La operación se basa en muestreos de 1 hora, la cual es sometida a pequeña fuente de radiación del isótopo carbono-14 (C-14), elemento que emite una fuente constante de electrones de alta energía (conocidos como rayos beta), los cuales pasan a través de la cinta de filtro. Inicialmente la radiación pasa por la sección de la cinta limpia, es decir sin muestra. Estos rayos beta son detectados y contados por un detector de centelleo sensible para determinar una lectura cero. Luego, el BAM 1020 avanza la cinta hacia la boquilla de muestra, donde una bomba de vacío extrae una cantidad medida y controlada de aire exterior, cargando la cinta con polvo ambiental.

Al final de la hora de la muestra, esta mancha de polvo se vuelve a colocar entre la fuente beta y el detector, provocando así la atenuación de la señal de rayos beta que se utiliza para determinar la masa del material particulado en la cinta del filtro. Esta masa se utiliza para calcular la concentración volumétrica de partículas en el aire ambiente.

Se puede acceder a todos los archivos de datos a través de un puerto serie RS-232 dúplex estándar de la industria mediante programas como el software de Met One Instruments; Air Plus® o Comet®. Los datos están disponibles en una variedad de formatos, incluidos informes diarios, último registro, todos los datos y nuevos registros desde la última descarga. También se encuentran disponibles archivos de configuración, registros de errores y estadísticas de flujo.



Figura 6
Designación US.EPA:
MP₁₀ EQPM-0798-122
MP_{2.5} EQPM-0308-170
MP_{2.5} EQPM-0715-266
MP_{210-2.5} FEM: EQPM-0709-185
Tamaño: 31cm x 43cm x 40cm
Peso: 25 kg
Flujo: 16.7 LPM
Energía: 100 - 230 VAC, 50/60 Hz. 0.4 kW

3.5 Presentación sobre pruebas de inter-comparación basada en experiencia del FMI.

Una primera sesión de entrenamiento sobre pruebas de intercomparación fue dado por investigadores especialistas del FMI, Karri Saarnio y Mika Vestenius, y Katja Loven, líder de grupo que desarrolla el proyecto en el FMI. La reunión fue desarrollada el 07 de diciembre 2020, donde se abordaron preguntas técnicas desde integrantes del MMA y se dejó abierta la posibilidad de seguir dialogando con los expertos (Figura 7). Las presentaciones realizadas se anexan en este informe (Anexo II).

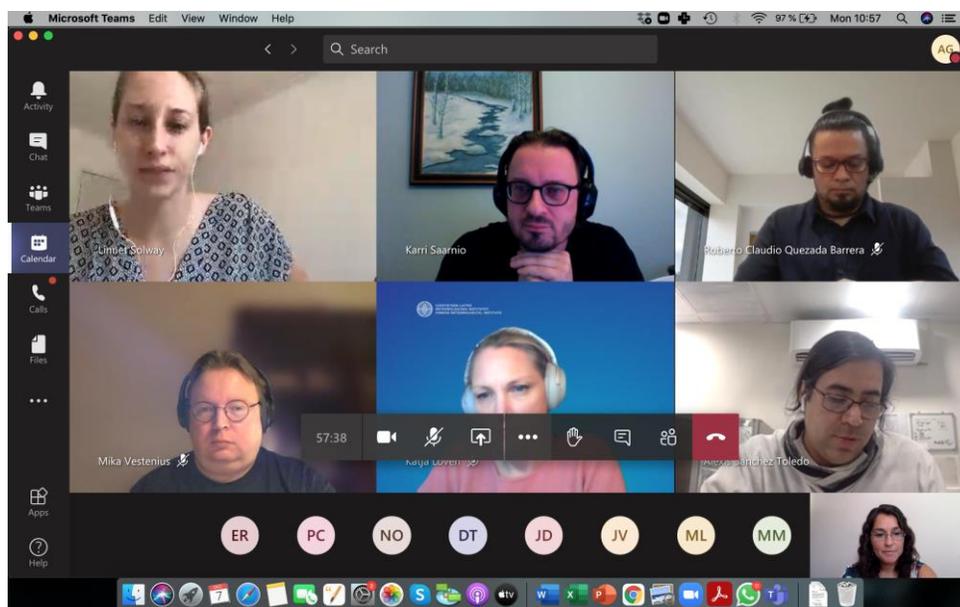


Figura 7. Sesión de entrenamiento introductorio del FMI al MMA realizada via online el 7 de diciembre 2020.

3.6 Campaña de Intercomparación gravimétrica en Quintero, Chile

3.6.1 Objetivos y configuración de la campaña de intercomparación

La campaña de intercomparación gravimétrica está organizada conjuntamente por el Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA), Eurochile y el Instituto Meteorológico de Finlandia (FMI). El objetivo de la campaña de intercomparación es comparar el proceso de pesaje gravimétrico y los resultados de las muestras de filtro de partículas realizadas por separado por el operador local de control de la calidad del aire en Chile y por el Instituto Meteorológico de Finlandia en Finlandia. El objetivo principal es mejorar las capacidades del MMA y los operadores locales en el monitoreo de partículas y demostraciones de equivalencia. El Instituto Meteorológico de Finlandia tiene el Laboratorio Nacional de Referencia para la calidad del aire en Finlandia y el laboratorio es un laboratorio de calibración acreditado según la norma ISO 17025: 2017.

El muestreo de filtro de la campaña de intercomparación se realiza en la estación de monitoreo de calidad del aire de Quintero en Chile (Figura 8). La campaña se inició en octubre de 2020 cuando FMI inició el proceso de prepesado gravimétrico de los filtros en Finlandia y se instalaron dos nuevos muestreadores de referencia U.S.EPA en la estación Quintero.



Figura 8. Instalación de infraestructura de montaje para los muestreadores de referencia.

La campaña de muestreo comenzó el 29 de octubre de 2020 y aún esta en curso. La campaña continuará hasta que se hayan recolectado con éxito 60 muestras diarias (24 horas) para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Los muestreadores de referencia han sido operados por expertos técnicos en calidad del aire de MMA siguiendo sus propios procedimientos operativos estándar internos que utilizan actualmente. Los muestreadores de referencia son automáticos y recogen muestras diarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en filtros de teflón.

Existen otros dos muestreadores de referencia para $PM_{2.5}$ y PM_{10} que son operados por el operador local que también es responsable del proceso de pesaje gravimétrico de los filtros que serán comparados con las muestras de filtro pesadas por FMI que serán consideradas como valores de referencia. Los equipos de monitoreo de partículas existentes en la estación Quintero se listan en la Tabla 2 y la imagen de la estación de monitoreo Quintero se presenta en la Figura 9. Además de los muestreadores, la estación Quintero también tiene dos analizadores automáticos, 5014i, Thermo Scientific para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Así, una vez finalizada la campaña de muestreo y pesaje gravimétrico, se definirán y demostrarán las ecuaciones de equivalencia para los analizadores automáticos en base a la campaña de pesaje intercomparación. Asimismo, el análisis químico de los elementos (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y V) será realizado por FMI y el operador local de las 20 muestras de filtro y se compararán los resultados del análisis químico. Los resultados de la intercomparación del análisis químico se presentarán en el próximo informe (Informe No. 5),

Los filtros de teflón utilizados en el muestreo se enviaron al laboratorio de referencia de FMI antes de la campaña de muestreo para el proceso de prepesado del análisis gravimétrico. El pesaje de los filtros se realizó de acuerdo con el SOP K11 para el análisis gravimétrico de muestras de filtro de partículas (Anexo I). El análisis gravimétrico en FMI se realiza de acuerdo con la norma EN 12341: 2014 que es el método de referencia para PM_{10} determinado en la Directiva de Calidad del Aire de la Unión Europea 2008/50 / EC. Después del muestreo, las muestras de filtro recolectadas por los dos muestreadores de referencia en Quintero se envían de regreso al FMI para su repesado. Debido al Covid-19 y las restricciones de viaje y

seguridad relacionadas, la campaña de intercomparación debía organizarse sin que los expertos de FMI viajaran a Chile.

Tabla 2: Equipamiento existente en la estación de Quintero

| Parámetro | Equipamiento | Método |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| PM ₁₀ | PQ100, BGI | Gravimetría (filtros) |
| PM ₁₀ | 5014i, Thermo Scientific | Atenuación rayos beta |
| PM _{2.5} | PQ200, BGI | Gravimetría (filtros) |
| PM _{2.5} | 5014i, Thermo Scientific | Atenuación rayos beta |



Figura 9. Imagen de la estación de monitoreo de Quintero (imagen de MMA / Eurochile).

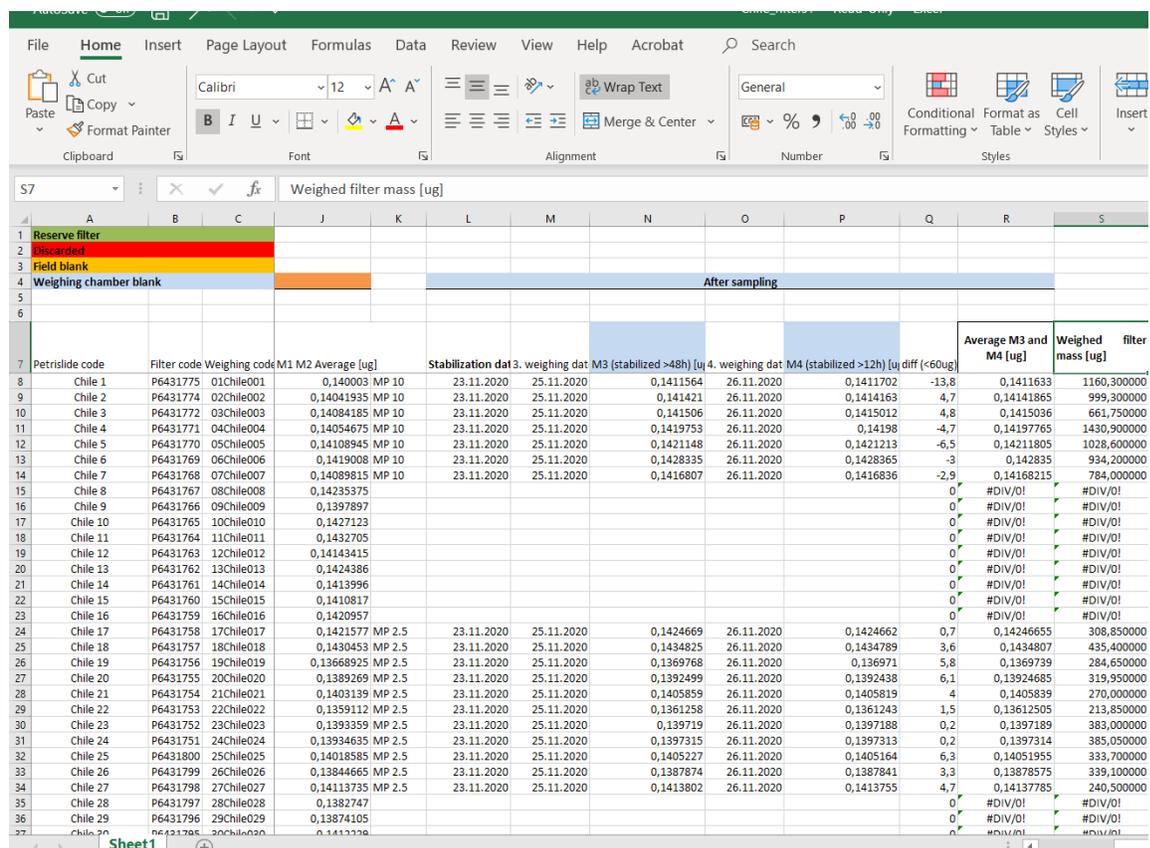
3.6.2 Primeros resultados de pesaje de los filtros de muestra

A la fecha, el FMI ha pesado en total 11 filtros PM_{2.5} y 7 filtros PM₁₀, tomados diariamente antes y después del muestreo en Chile. Los resultados del pesaje se presentan en una hoja de Excel separada que se proporciona con este informe. El primer conjunto de filtros no incluía muestras de filtro en blanco de campo. Los espacios en blanco de los campos se proporcionarán con el siguiente conjunto de filtros. Chile_filters1.xlsx incluye información sobre el muestreo y análisis gravimétrico (Anexo III)..

Procedimiento: Antes del muestreo, el filtro debe acondicionarse en la sala de pesaje a una temperatura de 19 ° C a 21 ° C y de un 45% de humedad relativa a un 50% de humedad relativa durante ≥ 48 h, seguido de un primer pesaje (resultado en la columna F en la figura 10) y luego un acondicionamiento adicional durante ≥ 12 h (columna H). El promedio de estos resultados está en la columna J. La diferencia entre estos dos pesajes debe ser inferior a 40 μg (columna I), esto es igual a 0,7 $\mu\text{g m}^{-3}$ a un caudal nominal de 38,3 LPM y un tiempo de muestreo de 24 horas.

Los filtros muestreados se acondicionarán en la sala de pesaje durante ≥ 48 h, seguido de un primer pesaje (columna N) y luego de un acondicionamiento adicional durante 24 a 72 h (columna P). El resultado está en la columna R. La diferencia entre estas ponderaciones debe ser inferior a 60 μg .

La masa de filtro pesada (la masa de MP en el filtro) está en la columna S.



| | A | B | C | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|----|------------------------|-------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|---|
| 1 | Reserve filter | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Discarded | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Field blank | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Weighing chamber blank | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Petrislide code | Filter code | Weighing code | M1 M2 Average [ug] | Stabilization date | weighing date | M3 (stabilized >48h) [ug] | weighing date | M4 (stabilized >12h) [ug] | [ug diff (<60ug)] | Average M3 and M4 [ug] | Weighed filter mass [ug] | |
| 8 | Chile 1 | P6431775 | 01Chile001 | 0,140003 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1411564 | 26.11.2020 | 0,1411702 | -13,8 | 0,1411633 | 1160,300000 | |
| 9 | Chile 2 | P6431774 | 02Chile002 | 0,14041935 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,141421 | 26.11.2020 | 0,1414163 | 4,7 | 0,14141865 | 999,300000 | |
| 10 | Chile 3 | P6431772 | 03Chile003 | 0,14084185 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,141506 | 26.11.2020 | 0,1415012 | 4,8 | 0,1415036 | 661,750000 | |
| 11 | Chile 4 | P6431770 | 04Chile004 | 0,14054675 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1419753 | 26.11.2020 | 0,14198 | -4,7 | 0,1419765 | 1430,900000 | |
| 12 | Chile 5 | P6431770 | 05Chile005 | 0,14108945 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1421148 | 26.11.2020 | 0,1421213 | -6,5 | 0,14211805 | 1028,600000 | |
| 13 | Chile 6 | P6431769 | 06Chile006 | 0,1419008 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1428335 | 26.11.2020 | 0,1428365 | -3 | 0,142835 | 934,200000 | |
| 14 | Chile 7 | P6431768 | 07Chile007 | 0,14089815 MP 10 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1416807 | 26.11.2020 | 0,1416836 | -2,9 | 0,14168215 | 784,000000 | |
| 15 | Chile 8 | P6431767 | 08Chile008 | 0,14235375 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 16 | Chile 9 | P6431766 | 09Chile009 | 0,1397897 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 17 | Chile 10 | P6431765 | 10Chile010 | 0,1427123 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 18 | Chile 11 | P6431764 | 11Chile011 | 0,1432705 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 19 | Chile 12 | P6431763 | 12Chile012 | 0,14143415 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 20 | Chile 13 | P6431762 | 13Chile013 | 0,1424386 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 21 | Chile 14 | P6431761 | 14Chile014 | 0,1413996 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 22 | Chile 15 | P6431760 | 15Chile015 | 0,1410817 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 23 | Chile 16 | P6431759 | 16Chile016 | 0,1420957 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 24 | Chile 17 | P6431758 | 17Chile017 | 0,1421577 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1424669 | 26.11.2020 | 0,1424662 | 0,7 | 0,14246655 | 308,850000 | |
| 25 | Chile 18 | P6431757 | 18Chile018 | 0,1430453 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1434825 | 26.11.2020 | 0,1434789 | 3,6 | 0,1434807 | 435,400000 | |
| 26 | Chile 19 | P6431756 | 19Chile019 | 0,13668925 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1369768 | 26.11.2020 | 0,136971 | 5,8 | 0,1369739 | 284,650000 | |
| 27 | Chile 20 | P6431755 | 20Chile020 | 0,1389269 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1392499 | 26.11.2020 | 0,1392438 | 6,1 | 0,13924685 | 319,950000 | |
| 28 | Chile 21 | P6431754 | 21Chile021 | 0,1403139 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1405859 | 26.11.2020 | 0,1405819 | 4 | 0,1405839 | 270,000000 | |
| 29 | Chile 22 | P6431753 | 22Chile022 | 0,1359112 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1361258 | 26.11.2020 | 0,1361243 | 1,5 | 0,13612505 | 213,850000 | |
| 30 | Chile 23 | P6431752 | 23Chile023 | 0,1393359 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,139719 | 26.11.2020 | 0,1397188 | 0,2 | 0,1397189 | 383,000000 | |
| 31 | Chile 24 | P6431751 | 24Chile024 | 0,13934635 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1397315 | 26.11.2020 | 0,1397313 | 0,2 | 0,1397314 | 385,050000 | |
| 32 | Chile 25 | P6431800 | 25Chile025 | 0,14018585 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1405227 | 26.11.2020 | 0,1405164 | 6,3 | 0,14051955 | 333,700000 | |
| 33 | Chile 26 | P6431799 | 26Chile026 | 0,13844665 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1387874 | 26.11.2020 | 0,1387841 | 3,3 | 0,13878575 | 339,100000 | |
| 34 | Chile 27 | P6431798 | 27Chile027 | 0,14113735 MP 2.5 | 23.11.2020 | 25.11.2020 | 0,1413802 | 26.11.2020 | 0,1413755 | 4,7 | 0,14137785 | 240,500000 | |
| 35 | Chile 28 | P6431797 | 28Chile028 | 0,1382747 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 36 | Chile 29 | P6431796 | 29Chile029 | 0,13874105 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |
| 37 | Chile 30 | P6431795 | 30Chile030 | 0,14133338 | | | | | | 0 | #DIV/0! | #DIV/0! | |

Figura 10. Ejemplo de hoja de Excel Chile_filters1.xlsx con resultados de pesaje (antes y después del pesaje) y codificación del filtro de muestra

4. REFERENCIAS

Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> (SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, benzene, lead in PM₁₀, VOCs, chemical composition of PM_{2.5})

Directive 2015/1480/EU of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj>

EN 12341:2014 Air quality – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2.5} mass concentration of suspended particulate matter.

EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀; PM_{2.5})

EN 12341:1998 Air quality. Determination of the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods.

EN 14907:2005 Ambient air quality. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2.5} mass fraction of suspended particulate matter.

Guide to the Demonstration of Equivalence of ambient air monitoring methods report by an EC Working Group, January 2010 <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>, accessed 8.12.2020.

Walden, J. et al., 2017. Demonstration of the Equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ Measurement Methods in Kuopio 2014-2015. Finnish Meteorological Institute, http://expo.fmi.fi/aqes/public/PM_Equivalence_report_Kuopio_2017.pdf, accessed 8.12.2020.

Waldén, J. and Vestenius, M., 2018, Verification of PM-analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute, URI:<http://hdl.handle.net/10138/284196>, accessed 8.12.2020.

5. ANEXOS

Anexo I: SOP K11. Método gravimétrico para material particulado. Instituto Meteorológico Finlandés, Laboratorio de Calibración K043

Anexo II: Presentaciones de la sesión de entrenamiento dada por el FMI al MMA en temáticas de intercomparación

Anexo III: Tabla con codificación y resultados de la primera etapa de prepesaje y pesaje de filtros.



PROYECTO:

**MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO
DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE
CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ**

Informe de Avance N°5

- ❖ **Desarrollo de pruebas de inter-comparación entre monitores de material particulado designados como referencia por la U.S. EPA y los monitores actualmente usados en una estación de la zona: Campaña práctica y transferencia de conocimientos**

Fecha de Entrega: 8 de abril 2021

Abreviaciones | Definiciones

| | |
|--------------|---|
| AMS | Sistemas automatizados de monitoreo |
| AQD | Directiva de calidad del aire de la Unión Europea |
| DoE | Demostración de Equivalencia |
| EM | Estado Miembro de la UE (Member State) |
| FMI | Finnish Meteorological Institute (Instituto Meteorológico de Finlandia) |
| GDE | Guía para la demostración de equivalencia |
| LD | Límite de Detección |
| MC | Métodos candidatos |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MP | Material Particulado |
| MR | Métodos de referencia |
| PTFE | Politetrafluoroetileno |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| SOP | Procedimientos Operacionales Estándares |
| UE | Unión Europea |
| QA/QC | Procedimientos de control de calidad |

Contenidos

| | |
|---|-----------|
| 1. ANTECEDENTES..... | 4 |
| 2. ACTIVIDADES DEL QUINTO INFORME DE AVANCE..... | 5 |
| 3. RESULTADOS | 6 |
| 3.1 Introducción del Informe | 6 |
| 3.2 Resultados del análisis gravimétrico | 7 |
| 3.2.1 Objetivos de la campaña de intercomparación y configuración | 7 |
| 3.2.2 Procedimiento de pesaje de los filtros de muestras en el FMI..... | 8 |
| 3.2.3 Comparación de los resultados de los análisis gravimétricos..... | 11 |
| 3.3 Resultados del análisis químico | 15 |
| 3.4 Inter-comparación del análisis gravimétrico y químicos ejecutados por el FMI y por el operador a cargo de la estación utilizada en la intercomparación | 18 |
| 3.4.1 Demostración de equivalencia (DoE) en la Unión Europea | 18 |
| 3.4.2 Métodos de referencia para la medición de material particulado | 18 |
| 3.4.3 Procedimiento de trabajo en ensayos de intercomparación..... | 20 |
| 3.4.4 Procedimientos de control de calidad | 20 |
| 3.4.5 Preparación de los filtros | 21 |
| 3.4.6 DoE y verificación de los analizadores de MP, caso de ejemplo de Finlandia | 21 |
| 3.4.7 Intercomparación de la equivalencia de MP, caso de ejemplo de Chile | 23 |
| 3.5 Análisis de resultados y recomendaciones a entregar en presentación..... | 34 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 35 |
| 5. REFERENCIAS..... | 36 |
| 6. Anexos | 36 |

1. ANTECEDENTES

La Subsecretaría del Medio Ambiente (MMA), del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) del Gobierno de Chile, ha contratado a Fundación Eurochile para la ejecución de la consultoría denominada “MEJORAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ”.

A partir del diagnóstico y recomendaciones entregadas en los informes de avance N°1 y 2, del estudio “Mejoramiento de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”, el cual está siendo llevado a cabo por Eurochile en colaboración con el Finnish Meteorological Institute (FMI), la División de Calidad del Aire y Cambio Climático ha determinado la necesidad de ejecutar pruebas de inter-comparación entre monitores de partículas, en razón de las diferencias observadas entre los valores reportados por los equipos de monitoreo con método continuo y en filtro (discreto). Lo anterior con el objeto de establecer los factores de correlación y corrección de las metodologías actualmente utilizadas y asegurar que las mediciones en la zona sean equivalentes a métodos de referencia internacional. En este contexto, las partes vienen en prorrogar la vigencia del contrato y ampliar los servicios contemplados originalmente.

El objetivo de la ampliación de los servicios contemplados en el contrato es desarrollar pruebas de inter-comparación entre monitores de material particulado designados como referencia por la U.S. EPA y los monitores actualmente usados en una estación de la zona.

Para efecto de lo anterior, la modificación del contrato compromete el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- a) Asesorar al Ministerio en el diseño y ejecución de campañas de monitoreo para la inter-comparación de resultados de MP₁₀ y MP_{2.5} reportados por el laboratorio de gravimetría del FMI y de los operadores de las estaciones de la zona de interés.
- b) Efectuar especiación química de MP₁₀ de las muestras obtenidas durante las campañas de monitoreo de inter-comparación y comparar resultados de los análisis químicos entregados por el laboratorio del FMI y por los operadores de las estaciones de monitoreo de la zona de interés.
- c) Determinar la precisión y exactitud entre los resultados obtenidos mediante los equipos de referencia y los actualmente utilizados en la estación de monitoreo.
- d) Elaborar procedimiento normalizado de trabajo para su uso posterior por parte del MMA, que indique al menos: instrucciones para la preparación de filtros, cadena de custodia, criterios de control y aseguramiento calidad, y material técnico para el desarrollo de prueba de inter-comparación de muestreadores.

Descripción general

Para el total cumplimiento de los objetivos establecidos se ha previsto el desarrollo de las siguientes actividades:

Para el desarrollo de la inter-comparación se instalarán dos monitores de referencia U.S. EPA para la colección automática de MP₁₀ y MP_{2.5} en filtros de Teflón. Las muestras serán sometidas a un análisis gravimétrico a ejecutar en el laboratorio del FMI. Adicionalmente, los operadores de las estaciones manejarán los equipos de monitoreo para la colección de MP₁₀ y MP_{2.5}, existentes, siguiendo sus propios procedimientos operacionales estándares internos que utilizan actualmente.

Los resultados gravimétricos entregados por Eurochile-FMI serán considerados como los valores referenciales para contrastar los resultados entregados por los operadores. El informe de resultados

del análisis gravimétrico se deberá acompañar de un archivo Excel que indique el pesaje pre y post muestreo de los todos los filtros colectados durante la campaña de inter-comparación.

La campaña de inter-comparación será ejecutada en una estación de la zona de Quintero en donde se realizará la colección de MP₁₀ y MP_{2.5} durante 24 horas.

2. ACTIVIDADES DEL QUINTO INFORME DE AVANCE

Para dar cumplimiento al objetivo señalado el trabajo se ha dividido en dos etapas, donde la primera parte fue presentada en el informe 4 y la segunda parte es presentada en este informe a través del reporte de las siguientes actividades:

viii. Resultados del análisis gravimétrico efectuado por el FMI para las muestras colectadas en filtros de teflón de MP₁₀ y muestras colectadas en filtros de teflón de MP_{2.5}, durante la campaña de inter-comparación. Se deberá acompañar con un archivo Excel que indique los pesajes pre y post muestreo.

ix. Resultados del análisis químico efectuado a un set de filtros de MP₁₀ para al menos 20 muestras colectadas y considerando los siguientes elementos: Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe, Zn, V.

x. Inter-comparación del análisis gravimétrico y químicos ejecutados por el FMI y por el operador a cargo de la estación utilizada en la intercomparación.

xi. Análisis de resultados y recomendaciones a entregar en presentación.

3. RESULTADOS

3.1 Introducción del Informe

Este informe corresponde a lo reportado en la quinta etapa del proyecto “Mejoramiento de la red de monitoreo de la calidad del aire en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi”.

Esta fase del proyecto incluye dos partes: 1. Campaña práctica de muestreo de intercomparación con pesaje gravimétrico y análisis de metales y 2. transferencia de conocimientos mediante el intercambio de experiencias de las prácticas de la UE sobre la organización de campañas de intercomparación y demostración de equivalencia (DoE) en talleres de formación en línea.

Mientras en Chile se organiza una campaña práctica de intercomparación sobre el pesaje gravimétrico de material particulado en muestreos en filtros, el proceso de pesaje gravimétrico está organizado en parte en Finlandia por el Instituto Meteorológico de Finlandia y en parte en Chile por el operador local de control de la calidad del aire SGS. La campaña de intercomparación para el análisis gravimétrico de material particulado (MP₁₀ y MP_{2.5}) en filtros muestreados con aire ambiente, se centra en el aspecto de aseguramiento y control de calidad en el monitoreo de la calidad del aire. Por otro lado, con el análisis de intercomparación de metales se pudo evaluar si las metodologías utilizadas eran aplicables y adecuadas para el cumplimiento óptimo del monitoreo.

En la Unión Europea, el método estándar para determinar la masa de partículas es el método gravimétrico (por ejemplo, EN12341:2014). Sin embargo, normalmente se utilizan monitores de masa en línea en las mediciones de campo, ya que emplean menos mano de obra y tienen una mejor resolución temporal en comparación con el método gravimétrico. Por lo tanto, es necesario demostrar la equivalencia para mostrar una relación coherente entre los métodos de monitoreo de masas en línea utilizados habitualmente en las mediciones de campo y el método de referencia (método gravimétrico). Este informe describe la campaña de intercomparación llevada a cabo en la estación Quintero, en Chile. En este informe también se presenta la intercomparación basada en los resultados del análisis gravimétrico de los conjuntos de filtros para MP₁₀ y MP_{2.5}, así como la intercomparación de los resultados de los análisis de metales. Los resultados de los análisis gravimétricos se utilizaron en el ejercicio del DoE para métodos de filtrado y sistemas de medición automatizados.

Este informe también incluye la introducción a los procedimientos de trabajo de la UE y las directrices para establecer y organizar campañas de intercomparación e instrucciones técnicas sobre la preparación del equipo necesario para la campaña de intercomparación, como muestreadores de métodos de referencia, filtros y procesos de pesaje gravimétrico para la campaña de intercomparación, teniendo en cuenta los procedimientos adecuados de garantía y control de calidad.

3.2 Resultados del análisis gravimétrico

3.2.1 Objetivos de la campaña de intercomparación y configuración

La campaña de intercomparación gravimétrica fue organizada conjuntamente por el Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA), Eurochile y el Instituto Meteorológico de Finlandia (FMI). El objetivo de la campaña de intercomparación fue comparar los procesos de pesaje gravimétrico y los resultados de las muestras de filtros de material particulado realizados por separado por el operador local de control de la calidad del aire, SGS, en Chile y por el FMI en Finlandia. El objetivo principal fue mejorar las capacidades del MMA y de los operadores locales en el monitoreo de material particulado y las demostraciones de equivalencia, dando recomendaciones basadas en los resultados de la campaña de intercomparación. Debido a la pandemia Covid-19 y a las restricciones de seguridad y de viaje relacionadas, la campaña de intercomparación se organizó sin que los expertos del FMI viajaran a Chile. El FMI mantiene y dirige el Laboratorio Nacional de Referencia para la calidad del aire en Finlandia, que es un laboratorio de calibración acreditado según la norma ISO/IEC 17025:2017.

El muestreo de filtros de la campaña de intercomparación se realizó en la estación de monitoreo de calidad del aire “Quintero” localizada en la comuna de Quintero, Chile. La campaña comenzó en octubre de 2020, cuando el FMI inició el proceso de prepesaje gravimétrico de los filtros que se enviaron desde Chile a Finlandia, y se instalaron dos nuevos muestreadores de referencia de la EPA de Estados Unidos en la estación de monitoreo. Los muestreadores de referencia fueron gestionados por los expertos técnicos en calidad del aire del MMA siguiendo sus propios procedimientos normalizados de trabajo internos que utilizan actualmente. Los muestreadores de referencia son del tipo automáticos y recogieron muestras de 24 horas de MP_{10} y $MP_{2.5}$ en filtros de teflón. La recogida de muestras de filtros comenzó el 29 de octubre de 2020 y se prolongó hasta el 5 de enero del 2021; se recogieron un total de 64 muestras de 24 horas tanto de MP_{10} como de $MP_{2.5}$.

En la misma estación de monitoreo de la calidad del aire se colocaron otros dos muestreadores de referencia para $MP_{2.5}$ y MP_{10} controlados por el operador local (SGS). El operador (SGS) fue responsable del proceso de pesaje gravimétrico de sus filtros propios, los cuales se compararon con las muestras de filtros pesadas por el FMI. Los resultados del pesaje realizado por el FMI se analizan en esta intercomparación como los valores de referencia. El método y los resultados del FMI se presentan en el capítulo siguiente.

Los equipos de monitoreo de material particulado en la estación Quintero aparecen enumerados en la Tabla 1 y la imagen de la estación se presenta en la Figura 1. Además de los muestreadores, la estación Quintero cuenta con dos analizadores automáticos, (BAM 1020, Met One, USA) para MP_{10} y $MP_{2.5}$. Así, una vez finalizada la campaña de muestras y pesaje gravimétrico, se definieron y demostraron las ecuaciones de equivalencia de los analizadores automáticos en base a la campaña de pesaje intercomparativa en la sección 3.2 de este informe. Asimismo, el FMI y el operador local de Chile se encargaron del análisis químico de los elementos (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y V) de 20 muestras de filtros y tres muestras de campo en blanco. Los resultados de la intercomparación de los análisis químicos se presentan en la sección 3.3 de este informe.

Tabla 1: Equipamiento existente en la estación Quintero

| Parámetro | Equipamiento | Método |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| MP ₁₀ | PQ100, BGI | Gravimetría (filtros) |
| MP ₁₀ | 5014i, Thermo Scientific | Atenuación rayos beta |
| MP _{2.5} | PQ200, BGI | Gravimetría (filtros) |
| MP _{2.5} | 5014i, Thermo Scientific | Atenuación rayos beta |



Figura 1. Instalación de infraestructura de montaje para los muestreadores de referencia en la estación Quintero.

3.2.2 Procedimiento de pesaje de los filtros de muestras en el FMI

Los filtros de teflón (PTFE; politetrafluoroetileno) marca Whatman (poro 2 μm , diámetro y 46,2 mm con anillo de soporte de plástico, nº de cat. 7592-104) utilizados en los muestreos, se enviaron al laboratorio de referencia del FMI antes de la campaña de muestreo para el proceso de prepesaje del análisis gravimétrico. El laboratorio del FMI es un laboratorio de calibración con acreditación K043 y cumple los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017. El laboratorio está acreditado desde el año 2001 por el organismo nacional de

acreditación FINAS de Finlandia. El método de masa MP está incluido en el ámbito de acreditación del laboratorio (<https://www.finas.fi/sites/en/operators/Pages/default.aspx#k=k043#l=1033>).

Se incluye una descripción detallada del sistema y del procedimiento de pesaje en el Procedimiento Normalizados de Trabajo (PNT K11) del laboratorio (Informe N° 4., Anexo 1). El PNT K11 se basa en los requisitos dados en la norma EN 12341:2014 que es el método de referencia para MP₁₀ y MP_{2.5} determinado en la Directiva 2008/50/CE de la Unión Europea sobre la calidad del aire y en la Directiva 2015/1480/UE de la Comisión.

La norma EN 12341:2014 describe las condiciones ambientales para el acondicionamiento del filtro durante el proceso de pesaje del mismo: temperatura de 20 ± 1 °C, humedad relativa del 45 al 50 %. La instalación de pesaje de los filtros en el FMI es de fabricación propia y se compone de la cabina de pesaje y del sistema de acondicionamiento y control. El esquema de funcionamiento se muestra en la figura 2. Las condiciones ambientales dentro de la instalación de pesaje se obtienen inyectando aire seco obtenido del sistema de aire comprimido del laboratorio a través del sistema de humidificación en la cámara de pesaje. El caudal de aire seco se controla mediante dos controladores de caudal másico y se inyecta a través de los humidificadores Perma-pure a temperaturas controladas por baños de agua. Los primeros baño de agua (VH1) y humidificador (PPK1) son para alcanzar las condiciones en temperatura y contenido de agua cercanas a las requeridas por la norma, y los segundos (VH2 y PPK2) se utilizan más para ajustes. Las condiciones son registradas por la sonda de medición del punto de rocío (transmisor de punto de rocío y temperatura, DMP 248) de Vaisala. Los datos se almacenan en el ordenador del laboratorio. Los filtros se pesan con una ultra microbalanza (XP2U) de marca Mettler-Toledo. La calibración de la balanza de laboratorio la realiza una vez al año un laboratorio de calibración acreditado a través del cual la trazabilidad de los resultados de pesaje está vinculada a la norma nacional. Además, la tara de la balanza se comprueba diariamente mediante una función automatizada de la misma. Las bandejas de filtros del interior de la cámara pueden transportar más de 30 filtros en su interior. La instalación de pesaje de filtros se muestra en las fotos de la Figura 3.

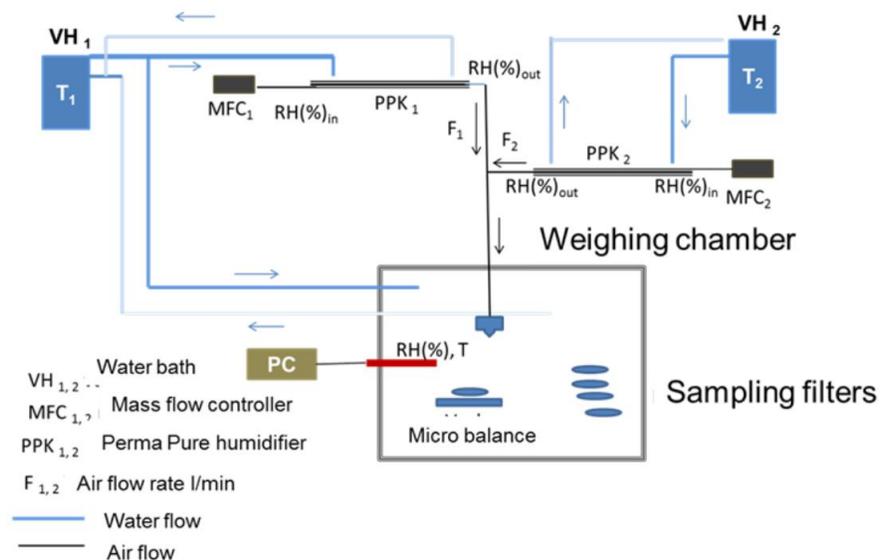


Figura 2: Disposición esquemática del sistema de control de pesaje de los filtros para el método de referencia (Walden et al, 2017)



Figura 3: La caja de pesaje de los filtros y las unidades de control para el acondicionamiento de la temperatura y la humedad (a la izquierda) con la balanza (en la parte central) y la bandeja de filtros (a la derecha) (Walden et al, 2017).

Antes del muestreo, el filtro se acondiciona en la sala de pesaje a una temperatura de entre 19 °C y 21 °C y una humedad relativa del 45 % al 50 % durante ≥ 48 h, seguido de un primer pesaje y de un segundo pesaje tras un acondicionamiento adicional durante ≥ 12 h. La media de estos dos pesajes se utiliza para determinar la masa del filtro no muestreado. La diferencia entre los dos resultados de los pesajes debe ser inferior o igual a 40 μg , lo que equivale a 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un caudal nominal de 38,3 l/min y un tiempo de muestreo de 24 horas.

Tras los pesajes iniciales, los filtros se enviaron en subconjuntos a Chile para la recolección de muestras. Las muestras de los filtros fueron colectadas por los dos muestreadores de referencia (uno para MP_{10} y otro para $\text{MP}_{2.5}$) en Quintero, y después del muestreo, los filtros se enviaron de vuelta al FMI en subconjuntos para volver a pesarlos de acuerdo al PNT K11.

Los filtros muestreados se acondicionaron en la sala de pesaje durante ≥ 48 h, seguido de un primer pesaje y un segundo pesaje después de un acondicionamiento adicional de 24 h a 72 h. La diferencia entre los dos resultados de pesaje debe ser inferior a 60 μg . Si la diferencia es superior a 60 μg puede haber un tercer pesaje después de un acondicionamiento durante otras 24 h a 72 h. Si la diferencia de dos pesajes consecutivos sigue siendo superior a 60 μg , el filtro se desechará.

Los resultados del pesaje se guardan en una plantilla de hoja de Excel que tiene los cálculos necesarios.

El uso de filtros blancos es una parte importante del concepto de control de calidad continuo descrito en la norma EN 12341:2014. El filtro de campo blanco es un filtro que se somete a los mismos procedimientos de acondicionamiento y pesaje que un filtro de muestra, incluyendo el transporte hacia y desde, y el almacenamiento en el campo, pero que no se utiliza para el muestreo de aire. Como mínimo, habrá un filtro que no se muestreará, sino que permanecerá en el cassette de filtros para utilizarse como filtro de campo blanco. La diferencia de masa del filtro de campo blanco después y antes del período de muestreo es la masa del filtro de campo blanco. El valor absoluto del filtro de campo blanco deberá ser inferior o igual a 60 μg . Los efectos adicionales sobre la masa del filtro, como la manipulación de los filtros, la carga y descarga del muestreador, el transporte, la pérdida de material o la des/absorción de agua en el material del filtro, se tienen en cuenta al investigar la masa de filtros de campo blancos.

El filtro blanco de la sala de pesaje es un filtro que se somete a los mismos procedimientos de acondicionamiento y pesaje que un filtro de muestra, pero que se almacena en la sala de pesaje. En la sala de pesaje se mantendrán como mínimo dos filtros blancos del mismo tamaño y mismo material que los utilizados en el muestreo para que sirvan de filtros blancos de sala de pesaje. Las masas de los filtros blancos de la sala

de pesaje se registrarán en cada sesión de pesaje, para comprobar y garantizar unas condiciones constantes en la sala de pesaje y para estimar cualquier efecto que afecte a la masa de los filtros. Si las masas de los filtros blancos han variado en menos o igual a $40 \mu\text{g}$ desde la última sesión de pesaje, se registrará la masa de cada filtro blanco de la sala de pesaje y se podrá proceder al pesaje de los filtros. En caso contrario, se investigará el motivo de la desviación y se resolverá antes de proceder.

En total, el FMI se encargó del pesaje de 64 muestras de filtros de MP_{10} y 64 de $\text{MP}_{2.5}$ antes y después del muestreo en Chile. Durante el proceso de pesaje en el FMI, se cayó un filtro de $\text{MP}_{2.5}$ y se sospechó que estaba contaminado, por lo que se rechazó.

3.2.3 Comparación de los resultados de los análisis gravimétricos

Después de los pesajes exitosos de filtros en el FMI y en Chile, se obtuvo un conjunto de 60 pares de muestras de filtros de MP_{10} recogidos paralelamente en 24 horas y un conjunto de 61 pares de muestras de filtros de $\text{MP}_{2.5}$ recogidos paralelamente en 24 horas para su comparación. En la figura 4 se presenta un resumen visual de los resultados de masa de las muestras de filtros de MP_{10} y en la Tabla 2 se presentan los resultados numéricos. Del mismo modo, en la figura 5 se presenta un resumen visual de los resultados de $\text{MP}_{2.5}$ y en la tabla 3 se presentan los resultados numéricos.

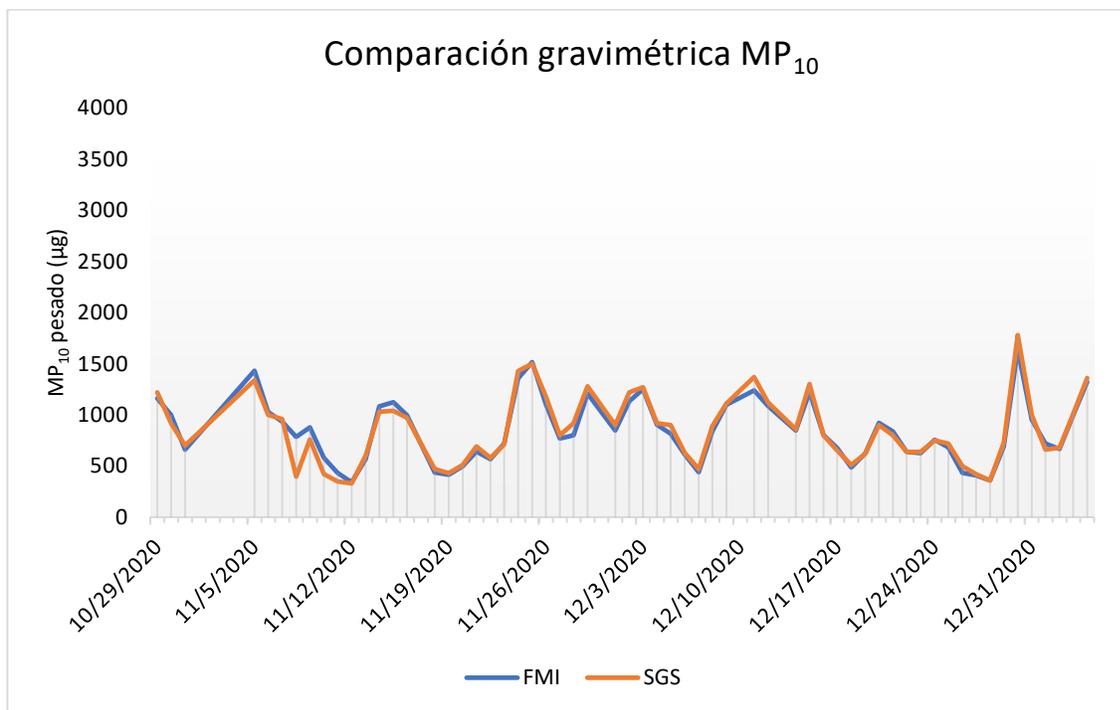


Figura 4: Series de datos de masa de MP_{10} colectados basados en el pesaje de filtros en el FMI y en Chile. Las fechas en el eje x se presentan en mes-día-año.

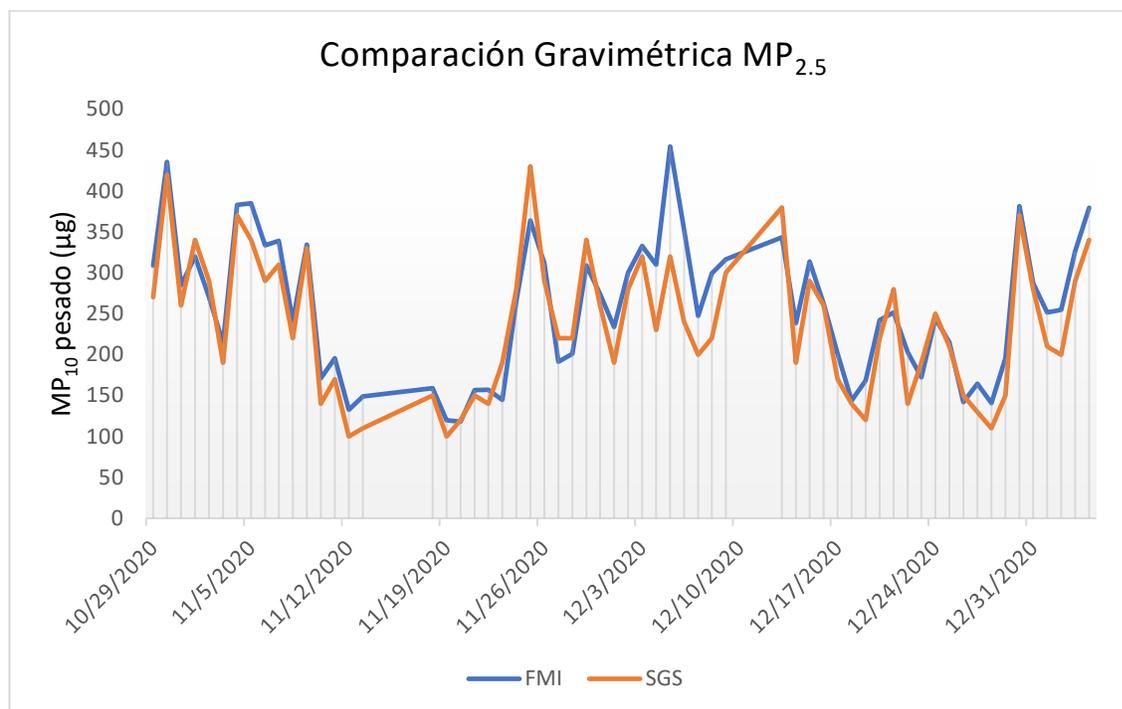


Figura 5: Series de datos de masa de MP_{2.5} colectados basados en el pesaje de filtros en el FMI y en Chile. Las fechas en el eje x se presentan en mes-día-año.

Tabla 2: Resultados de masa de las muestras de filtros de MP₁₀ a partir de los análisis gravimétricos en el FMI y en Chile. La fecha equivale a la fecha de inicio de la colección de muestras. Un par de datos atípicos está marcado con color rojo.

| Fecha | FMI masa (µg) | SGS masa (µg) | Diferencia | Fecha | FMI masa (µg) | SGS masa (µg) | Diferencia |
|------------------|---------------------|---------------------|--------------|------------|---------------------|---------------------|------------|
| 29.10.2020 | 1160,3 | 1220 | 5 % | 4.12.2020 | 904,0 | 920 | 2 % |
| 30.10.2020 | 999,3 | 920 | -8 % | 5.12.2020 | 815,8 | 900 | 10 % |
| 31.10.2020 | 661,8 | 700 | 6 % | 6.12.2020 | 614,4 | 630 | 3 % |
| 5.11.2020 | 1430,9 | 1340 | -6 % | 7.12.2020 | 439,9 | 470 | 7 % |
| 6.11.2020 | 1028,6 | 1000 | -3 % | 8.12.2020 | 839,8 | 890 | 6 % |
| 7.11.2020 | 934,2 | 960 | 3 % | 9.12.2020 | 1100,5 | 1110 | 1 % |
| 8.11.2020 | 784,0 | 3970 | 406 % | 11.12.2020 | 1238,0 | 1370 | 11 % |
| 9.11.2020 | 877,2 | 760 | -13 % | 12.12.2020 | 1086,8 | 1120 | 3 % |
| 10.11.2020 | 578,3 | 420 | -27 % | 14.12.2020 | 847,8 | 860 | 1 % |
| 11.11.2020 | 433,4 | 350 | -19 % | 15.12.2020 | 1223,9 | 1300 | 6 % |
| 12.11.2020 | 341,1 | 330 | -3 % | 16.12.2020 | 803,4 | 800 | 0 % |
| 13.11.2020 | 567,9 | 600 | 6 % | 17.12.2020 | 675,6 | 650 | -4 % |

| | | | | | | | |
|------------|--------|------|------|------------|--------|------|------|
| 14.11.2020 | 1084,0 | 1030 | -5 % | 18.12.2020 | 487,3 | 510 | 5 % |
| 15.11.2020 | 1125,0 | 1040 | -8 % | 19.12.2020 | 624,2 | 620 | -1 % |
| 16.11.2020 | 997,2 | 970 | -3 % | 20.12.2020 | 920,3 | 900 | -2 % |
| 18.11.2020 | 437,5 | 470 | 7 % | 21.12.2020 | 837,0 | 800 | -4 % |
| 19.11.2020 | 413,8 | 430 | 4 % | 22.12.2020 | 637,3 | 640 | 0 % |
| 20.11.2020 | 499,7 | 510 | 2 % | 23.12.2020 | 624,7 | 640 | 2 % |
| 21.11.2020 | 641,2 | 690 | 8 % | 24.12.2020 | 757,9 | 750 | -1 % |
| 22.11.2020 | 566,5 | 580 | 2 % | 25.12.2020 | 683,8 | 720 | 5 % |
| 23.11.2020 | 719,9 | 710 | -1 % | 26.12.2020 | 434,0 | 500 | 15 % |
| 24.11.2020 | 1356,2 | 1430 | 5 % | 27.12.2020 | 407,7 | 420 | 3 % |
| 25.11.2020 | 1515,8 | 1500 | -1 % | 28.12.2020 | 359,5 | 360 | 0 % |
| 26.11.2020 | 1103,7 | 1180 | 7 % | 29.12.2020 | 692,7 | 730 | 5 % |
| 27.11.2020 | 768,7 | 800 | 4 % | 30.12.2020 | 1636,9 | 1780 | 9 % |
| 28.11.2020 | 799,8 | 920 | 15 % | 31.12.2020 | 952,4 | 1000 | 5 % |
| 29.11.2020 | 1207,5 | 1280 | 6 % | 1.1.2021 | 720,9 | 660 | -8 % |
| 1.12.2020 | 847,2 | 900 | 6 % | 2.1.2021 | 667,8 | 680 | 2 % |
| 2.12.2020 | 1131,9 | 1220 | 8 % | 3.1.2021 | 996,0 | 1010 | 1 % |
| 3.12.2020 | 1251,6 | 1270 | 1 % | 4.1.2021 | 1322,4 | 1360 | 3 % |

Tabla 3. Resultados de masa de las muestras de filtros de MP_{2,5} a partir de los análisis gravimétricos en el FMI y en Chile. La fecha equivale a la fecha de inicio de la recogida de muestras.

| Fecha de inicio | FMI masa (µg) | SGS masa (µg) | Diferencia | Fecha de inicio | FMI masa (µg) | SGS masa (µg) | Diferencia |
|-----------------|---------------|---------------|------------|-----------------|---------------|---------------|------------|
| 29.10.2020 | 308,8 | 270 | -13 % | 3.12.2020 | 332,7 | 320 | -4 % |
| 30.10.2020 | 435,4 | 420 | -4 % | 4.12.2020 | 309,7 | 230 | -26 % |
| 31.10.2020 | 284,7 | 260 | -9 % | 5.12.2020 | 454,3 | 320 | -30 % |
| 1.11.2020 | 319,9 | 340 | 6 % | 6.12.2020 | 352,2 | 240 | -32 % |
| 2.11.2020 | 270,0 | 290 | 7 % | 7.12.2020 | 247,4 | 200 | -19 % |
| 3.11.2020 | 213,8 | 190 | -11 % | 8.12.2020 | 299,2 | 220 | -26 % |
| 4.11.2020 | 383,0 | 370 | -3 % | 9.12.2020 | 316,4 | 300 | -5 % |
| 5.11.2020 | 385,0 | 340 | -12 % | 13.12.2020 | 343,3 | 380 | 11 % |
| 6.11.2020 | 333,7 | 290 | -13 % | 14.12.2020 | 238,3 | 190 | -20 % |
| 7.11.2020 | 339,1 | 310 | -9 % | 15.12.2020 | 313,8 | 290 | -8 % |
| 8.11.2020 | 240,5 | 220 | -9 % | 16.12.2020 | 262,2 | 260 | -1 % |
| 9.11.2020 | 334,3 | 330 | -1 % | 17.12.2020 | 201,0 | 170 | -15 % |
| 10.11.2020 | 171,0 | 140 | -18 % | 18.12.2020 | 144,0 | 140 | -3 % |
| 11.11.2020 | 195,6 | 170 | -13 % | 19.12.2020 | 168,5 | 120 | -29 % |
| 12.11.2020 | 132,7 | 100 | -25 % | 20.12.2020 | 242,1 | 220 | -9 % |
| 13.11.2020 | 149,0 | 110 | -26 % | 21.12.2020 | 251,4 | 280 | 11 % |
| 18.11.2020 | 159,1 | 150 | -6 % | 22.12.2020 | 203,0 | 140 | -31 % |
| 19.11.2020 | 119,9 | 100 | -17 % | 23.12.2020 | 172,1 | 190 | 10 % |
| 20.11.2020 | 118,1 | 120 | 2 % | 24.12.2020 | 244,0 | 250 | 2 % |

| | | | | | | | |
|------------|-------|-----|-------|------------|-------|-----|-------|
| 21.11.2020 | 156,5 | 150 | -4 % | 25.12.2020 | 214,8 | 210 | -2 % |
| 22.11.2020 | 157,0 | 140 | -11 % | 26.12.2020 | 141,9 | 150 | 6 % |
| 23.11.2020 | 144,5 | 190 | 31 % | 27.12.2020 | 164,5 | 130 | -21 % |
| 24.11.2020 | 265,5 | 280 | 5 % | 28.12.2020 | 140,7 | 110 | -22 % |
| 25.11.2020 | 363,8 | 430 | 18 % | 29.12.2020 | 195,4 | 150 | -23 % |
| 26.11.2020 | 311,9 | 290 | -7 % | 30.12.2020 | 381,2 | 370 | -3 % |
| 27.11.2020 | 191,2 | 220 | 15 % | 31.12.2020 | 287,2 | 280 | -3 % |
| 28.11.2020 | 201,2 | 220 | 9 % | 1.1.2021 | 251,5 | 210 | -16 % |
| 29.11.2020 | 308,9 | 340 | 10 % | 2.1.2021 | 254,7 | 200 | -21 % |
| 30.11.2020 | 273,9 | 260 | -5 % | 3.1.2021 | 326,5 | 290 | -11 % |
| 1.12.2020 | 233,6 | 190 | -19 % | 4.1.2021 | 379,4 | 340 | -10 % |
| 2.12.2020 | 299,9 | 280 | -7 % | | | | |

Los resultados de masa basados en los pesajes realizados en Chile fueron, de promedio, un 8 % superiores al resultado de masa medio basado en los pesajes del FMI. Hubo una muestra sospechosa, el 8 de noviembre, que tuvo una diferencia del 400 %. Probablemente, la muestra estaba contaminada por lo que se puede justificar el rechazo del resultado de este par de filtros. Tras rechazar este par de muestras atípicas, la diferencia relativa entre los resultados del SGS y los del FMI es sólo del 2 %. Las diferencias relativas entre los demás pares de muestras oscilan entre el -27 % y el 15 %. La correlación entre los dos conjuntos de datos gravimétricos sin el valor atípico es $R_2=0,97$.

En un examen similar de los resultados de pesaje de $MP_{2,5}$, se observó que los resultados de SGS eran, por término medio, un 8 % menores que los del FMI. Las diferencias relativas entre los pares de muestras individuales oscilan entre el -32 % y el 31 %. La correlación entre los dos conjuntos de datos gravimétricos es $R_2=0,84$.

Las diferencias entre los dos conjuntos de datos gravimétricos pueden deberse a los diferentes sistemas y procedimientos de pesaje, pero también a que los filtros se muestrearon con dos muestreadores diferentes y, además, los filtros pesados en el FMI habían viajado entre Chile y Finlandia. El FMI utilizó una ultra microbalanza con una precisión de 0,1 μg para el pesaje y los datos gravimétricos recibidos de Chile tenían una precisión de 10 μg : sin embargo, la diferencia en la precisión de la balanza no causa las diferencias observadas en los resultados de masa.

Las masas pesadas (μg) se combinaron con la información del volumen de la muestra recibida de Chile (m^3) para analizar los resultados gravimétricos como concentraciones de masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). La correlación entre los dos conjuntos de datos como concentraciones de masa sin el valor atípico es $R_2=0,97$ para MP_{10} y $R_2=0,83$ para $MP_{2,5}$. En el capítulo 3.4.7 se ofrece una comparación detallada basada en los resultados de la concentración en masa.

El Anexo I de este informe describe los resultados del análisis de pesajes pre y post muestreo en formato Excel.

3.3 Resultados del análisis químico

SGS en Chile y el FMI en Finlandia analizaron conjuntos de veinte (20) muestras de filtros de teflón recogidas en los mismos días utilizando muestreadores paralelos de MP₁₀. En Chile, las muestras paralelas de MP₁₀ colectadas con un muestreador PQ-100 se analizaron mediante espectrometría de absorción atómica.

Las muestras paralelas de FMI se colectaron con un muestreador E-SEQ-FRM (Met One) y el volumen de aire de las muestras de 24 horas fue de 24 m³. Fueron los mismos filtros que pasaron primero por el análisis gravimétrico y los filtros seleccionados se remitieron al análisis elemental. Las muestras fueron digeridas con ácido nítrico (HNO₃) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en un horno microondas según la norma EN 14902:2005. El volumen final de la muestra fue de 50 ml. Los elementos químicos se analizaron a partir de la solución de la muestra con un ICP-MS (Thermo iCAPQ) en el laboratorio del Instituto Finlandés de Medio Ambiente. El laboratorio es un laboratorio de pruebas con acreditación T003 y cumple los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017. El laboratorio ha sido acreditado por el organismo nacional de acreditación FINAS y el método de análisis elemental está incluido en el ámbito de acreditación del laboratorio (<https://www.finas.fi/sites/en/operators/Pages/default.aspx#k=t003#l=1033>).

Se analizaron tres muestras de filtros de campo blancos junto con las muestras colectadas y los resultados se presentan en la Tabla 4. Los valores medios de tres filtros blancos se restaron de los resultados de las muestras. El filtro blanco para análisis de cromo fue bastante alto y la concentración varió entre los filtros. El límite de detección de cada elemento suele determinarse por el triple de la desviación estándar de varios filtros blancos. En este caso se contó con tres filtros blancos, pero si se hubiese utilizado el valor 3 x SD 2,4 ng/m³ como límite de detección para el cromo, sólo tres de los 20 resultados de las muestras de los filtros habrían estado por encima del límite de detección.

Tabla 4: La media y 3 veces la desviación estándar calculada a partir de tres muestras de campo blanco.

| | As | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | V |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ng/m ³ |
| Media | 0,012 | 0,002 | 12,4 | 0,70 | 0,10 | 0,03 | 0,02 |
| 3xSD | 0,003 | 0,001 | 2,4 | 0,92 | 0,09 | 0,04 | 0,01 |

Los resultados de MP₁₀ de SGS y del FMI medidos en las muestras paralelas se presentan en la Tabla 5. Los límites de detección (LD) de SGS para Cd, Ni y V fueron tan altos que todos los resultados se presentaron por debajo del límite de detección. Para el Cr uno de los resultados del FMI (20 ng/m³) estaba por encima del límite de detección de SGS, sin embargo el resultado de SGS correspondiente era < 12 ng/m³. Para el As un resultado de SGS, 83 ng/m³, estaba por encima del límite de detección (1 ng/m³) y todos los demás resultados de SGS estaban por debajo del DL (1 ng/m³). Sin embargo, sólo tres resultados del FMI estaban por debajo de 1 ng/m³ y dos resultados estaban incluso por encima de 20 ng/m³. Así, 16 de los resultados de SGS (< 1 ng/m³), deberían haber estado por encima del límite de detección. Tres de los 20 resultados de Cu de SGS fueron satisfactorios, con una diferencia de alrededor del 20-30% con los resultados del FMI. Sin embargo, aunque los otros 17 resultados del FMI fueron de 2-171 ng/m³, no se encontró Cu con el método de SGS y los resultados se marcaron como inferiores al LD (1 ng/m³). Cinco de los resultados de Pb del FMI fueron inferiores a 1 ng/m³ y el resultado más alto fue de 27 ng/m³. Sin embargo, todos los resultados de Pb de SGS se marcaron como inferiores a 1 ng/m³. Esto demuestra que los límites de detección de SGS presentados no son realistas y que el método debería mejorarse o cambiarse.

Los mismos resultados del FMI para MP₁₀ también se compararon con los resultados de SGS Hi-vol (volumen alto), ver Tabla 6. Todos los resultados de Cd, Cr y Ni de SGS estaban por debajo del LD, pero los resultados de As y Cu de los filtros muestreados en Hi-vol estaban por encima del LD. Los resultados de As de Hi-vol eran totalmente diferentes de los resultados del FMI y todos los resultados de Cu y dos de Pb de SGS eran superiores a los del FMI. Sin embargo, no hubo ninguna diferencia sistemática.

Tabla 5: Resultados de intercomparación del análisis químico de elementos medidos en las muestras de PQ-100. Resultados del FMI con un ICP-MS, resultados de SGS con un AAS. Si ambos resultados están por encima del LD, se calcula la diferencia entre el resultado de SGS y del FMI, si ambos resultados están por debajo del LD de SGS, se marcan como ok. Si el resultado del FMI está por encima del LD de SGS, aunque el resultado de SGS sea < LD, los resultados se marcan como "*".

| Muestreo | As ng/m ³ | | | Cd ng/m ³ | | | Cr ng/m ³ | | | Cu ng/m ³ | | | Ni ng/m ³ | | | Pb ng/m ³ | | | V ng/m ³ | | |
|------------|----------------------|-----|-----|----------------------|-----|----|----------------------|-----|----|----------------------|-----|-------|----------------------|-----|----|----------------------|-----|----|---------------------|-----|----|
| | fecha | FMI | SGS | FMI | SGS | Ok | FMI | SGS | Ok | FMI | SGS | Ok | FMI | SGS | Ok | FMI | SGS | Ok | FMI | SGS | Ok |
| 30.10.2020 | 8,3 | <1 | * | 0,04 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 27,0 | <1 | * | 0,30 | <12 | Ok | 5,5 | <1 | * | 1,4 | <12 | Ok |
| 5.11.2020 | 7,7 | <1 | * | 0,07 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 23,7 | <1 | * | 0,41 | <12 | Ok | 4,5 | <1 | * | 1,8 | <12 | Ok |
| 6.11.2020 | 11,4 | <1 | * | 0,06 | <1 | Ok | 0,23 | <12 | Ok | 23,2 | <1 | * | 0,39 | <12 | Ok | 6,1 | <1 | * | 1,4 | <12 | Ok |
| 8.11.2020 | 0,7 | <1 | Ok | 0,02 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 5,3 | <1 | * | 0,28 | <12 | Ok | 0,6 | <1 | Ok | 1,2 | <12 | Ok |
| 10.11.2020 | 1,7 | <1 | * | 0,01 | <1 | Ok | 0,25 | <12 | Ok | 8,0 | <1 | * | 0,41 | <12 | Ok | 1,0 | <1 | Ok | 1,5 | <12 | Ok |
| 11.11.2020 | 6,1 | <1 | * | 0,03 | <1 | Ok | 0,16 | <12 | Ok | 17,8 | <1 | * | 0,45 | <12 | Ok | 3,1 | <1 | * | 1,5 | <12 | Ok |
| 14.11.2020 | 14,2 | <1 | * | 0,17 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 61,3 | 81 | 32 % | 1,36 | <12 | Ok | 10,9 | <1 | * | 4,9 | <12 | Ok |
| 15.11.2020 | 7,4 | <1 | * | 0,05 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 26,7 | <1 | * | 0,49 | <12 | Ok | 4,5 | <1 | * | 1,6 | <12 | Ok |
| 20.11.2020 | 9,1 | <1 | * | 0,03 | <1 | Ok | 0,63 | <12 | Ok | 28,7 | <1 | * | 0,65 | <12 | Ok | 2,6 | <1 | * | 2,1 | <12 | Ok |
| 23.11.2020 | 3,7 | <1 | * | 0,02 | <1 | Ok | 2,27 | <12 | Ok | 28,7 | <1 | * | 2,26 | <12 | Ok | 1,7 | <1 | * | 1,3 | <12 | Ok |
| 26.11.2020 | 7,2 | <1 | * | 0,02 | <1 | Ok | 0,61 | <12 | Ok | 30,0 | <1 | * | 0,44 | <12 | Ok | 3,1 | <1 | * | 2,1 | <12 | Ok |
| 29.11.2020 | 4,0 | <1 | * | 0,03 | <1 | Ok | 1,17 | <12 | Ok | 45,0 | <1 | * | 0,49 | <12 | Ok | 2,1 | <1 | * | 1,7 | <12 | Ok |
| 2.12.2020 | 9,1 | <1 | * | 0,04 | <1 | Ok | 2,53 | <12 | Ok | 51,2 | 41 | -20 % | 0,96 | <12 | Ok | 5,3 | <1 | * | 2,9 | <12 | Ok |
| 5.12.2020 | 1,3 | <1 | * | 0,03 | <1 | Ok | 0,84 | <12 | Ok | 8,3 | <1 | * | 0,54 | <12 | Ok | 0,9 | <1 | Ok | 2,3 | <12 | Ok |
| 7.12.2020 | 16,2 | <1 | * | 0,03 | <1 | Ok | 1,05 | <12 | Ok | 26,0 | <1 | * | 0,38 | <12 | Ok | 3,7 | <1 | * | 1,3 | <12 | Ok |
| 8.12.2020 | 90,9 | 83 | Ok | 0,06 | <1 | Ok | 5,38 | <12 | Ok | 171,7 | <1 | * | 0,88 | <12 | Ok | 15,8 | <1 | * | 1,5 | <12 | Ok |
| 11.12.2020 | 20,8 | <1 | * | 0,02 | <1 | Ok | 19,98 | <12 | * | 32,1 | 41 | 28 % | 0,71 | <12 | Ok | 3,5 | <1 | * | 2,0 | <12 | Ok |
| 14.12.2020 | 0,6 | <1 | Ok | 0,01 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 2,1 | <1 | * | 0,33 | <12 | Ok | 0,4 | <1 | Ok | 1,4 | <12 | Ok |
| 17.12.2020 | 0,8 | <1 | Ok | 0,01 | <1 | Ok | 0,33 | <12 | Ok | 5,7 | <1 | * | 0,22 | <12 | Ok | 0,3 | <1 | Ok | 1,2 | <12 | Ok |
| 19.12.2020 | 21,0 | <1 | * | 0,10 | <1 | Ok | <DL | <12 | Ok | 34,9 | <1 | * | 0,58 | <12 | Ok | 27,1 | <1 | * | 1,7 | <12 | Ok |

Tabla 6: Resultados de intercomparación del análisis químico de oligoelementos. Resultados del FMI de muestras PQ-100 analizadas con un ICP-MS y resultados de muestreadores de alto volumen de SGS analizados con un AAS. Si ambos resultados están por encima del LD, se calcula la diferencia entre el resultado de SGS y del FMI, si ambos resultados están por debajo del LD de SGS, se marcan como ok. Si el resultado del FMI está por encima del LD de SGS, aunque el resultado de SGS sea < LD, los resultados se marcan como "*".

| Muestreo fecha | As ng/m ³ | | | Cd ng/m ³ | | | Cr ng/m ³ | | | Cu ng/m ³ | | | Ni ng/m ³ | | | Pb ng/m ³ | | | V ng/m ³ | | |
|-------------------|----------------------|--------|-------|----------------------|--------|----|----------------------|--------|----|----------------------|--------|---------|----------------------|--------|----|----------------------|--------|-------|---------------------|--------|----|
| | FMI | Hi-Vol | % | FMI | Hi-Vol | Ok | FMI | Hi-Vol | Ok | FMI | Hi-Vol | % | FMI | Hi-Vol | Ok | FMI | Hi-Vol | % | FMI | Hi-Vol | Ok |
| 30.10.2020 | 8,3 | 14,5 | 75 % | 0,04 | < 1 | Ok | <DL | < 12 | Ok | 27,0 | 159 | 491 % | 0,30 | < 12 | Ok | 5,5 | 14 | 153 % | 1,4 | < 12 | Ok |
| 5.11.2020 | 7,7 | 47,9 | 525 % | 0,07 | < 1 | Ok | <DL | < 12 | Ok | 23,7 | 263 | 1012 % | 0,41 | < 12 | Ok | 4,5 | 36 | 702 % | 1,8 | < 12 | Ok |
| 8.11.2020 | 0,7 | 1,2 | 74 % | 0,02 | < 1 | Ok | <DL | < 12 | Ok | 5,3 | 392 | 7347 % | 0,28 | < 12 | Ok | 0,6 | < 1 | Ok | 1,2 | < 12 | Ok |
| 11.11.2020 | 6,1 | 0,6 | -90 % | 0,03 | < 1 | Ok | 0,16 | < 12 | Ok | 17,8 | 245 | 1278 % | 0,45 | < 12 | Ok | 3,1 | < 1 | * | 1,5 | < 12 | Ok |
| 14.11.2020 | 14,2 | 1,0 | -93 % | 0,17 | < 1 | Ok | <DL | < 12 | Ok | 61,3 | 200 | 226 % | 1,36 | < 12 | Ok | 10,9 | < 1 | * | 4,9 | < 12 | Ok |
| 20.11.2020 | 9,1 | 1,2 | -87 % | 0,03 | < 1 | Ok | 0,63 | < 12 | Ok | 28,7 | 529 | 1744 % | 0,65 | < 12 | Ok | 2,6 | < 1 | * | 2,1 | < 12 | Ok |
| 23.11.2020 | 3,7 | 11,5 | 212 % | 0,02 | < 1 | Ok | 2,27 | < 12 | Ok | 28,7 | 549 | 1813 % | 2,26 | < 12 | Ok | 1,7 | < 1 | * | 1,3 | < 12 | Ok |
| 26.11.2020 | 7,2 | 3,0 | -58 % | 0,02 | < 1 | Ok | 0,61 | < 12 | Ok | 30,0 | 615 | 1950 % | 0,44 | < 12 | Ok | 3,1 | < 1 | * | 2,1 | < 12 | Ok |
| 29.11.2020 | 4,0 | 3,6 | -10 % | 0,03 | < 1 | Ok | 1,17 | < 12 | Ok | 45,0 | 328 | 630 % | 0,49 | < 12 | Ok | 2,1 | < 1 | * | 1,7 | < 12 | Ok |
| 2.12.2020 | 9,1 | 1,0 | -89 % | 0,04 | < 1 | Ok | 2,53 | < 12 | Ok | 51,2 | 67 | 32 % | 0,96 | < 12 | Ok | 5,3 | < 1 | * | 2,9 | < 12 | Ok |
| 5.12.2020 | 1,3 | 1,0 | -22 % | 0,03 | < 1 | Ok | 0,84 | < 12 | Ok | 8,3 | 305 | 3571 % | 0,54 | < 12 | Ok | 0,9 | < 1 | Ok | 2,3 | < 12 | Ok |
| 8.12.2020 | 90,9 | 14,0 | -85 % | 0,06 | < 1 | Ok | 5,38 | < 12 | Ok | 171,7 | 339 | 98 % | 0,88 | < 12 | Ok | 15,8 | < 1 | * | 1,5 | < 12 | Ok |
| 11.12.2020 | 20,8 | 20,0 | -4 % | 0,02 | < 1 | Ok | 19,98 | < 12 | * | 32,1 | 332 | 936 % | 0,71 | < 12 | Ok | 3,5 | < 1 | * | 2,0 | < 12 | Ok |
| 14.12.2020 | 0,6 | 4,8 | 649 % | 0,01 | < 1 | Ok | <DL | < 12 | Ok | 2,1 | 275 | 12891 % | 0,33 | < 12 | Ok | 0,4 | < 1 | Ok | 1,4 | < 12 | Ok |
| 17.12.2020 | 0,8 | 0,6 | -22 % | 0,01 | < 1 | Ok | 0,33 | < 12 | Ok | 5,7 | 398 | 6894 % | 0,22 | < 12 | Ok | 0,3 | < 1 | * | 1,2 | < 12 | Ok |

Los resultados del análisis químico de filtros de MP₁₀ para Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe, Zn, V se presentan en el Anexo II de este informe.

3.4 Inter-comparación del análisis gravimétrico y químicos ejecutados por el FMI y por el operador a cargo de la estación utilizada en la intercomparación

3.4.1 Demostración de equivalencia (DoE) en la Unión Europea

La Directiva de la Unión Europea sobre la calidad del aire, AQD, (2008/50/CE), establece las normas relativas a los métodos de referencia (MR) para las mediciones de, por ejemplo, la concentración en masa de material particulado en el aire. Los Estados miembros de la UE (EM) pueden utilizar cualquier otro método, si se puede demostrar que presenta una relación coherente con el método de referencia. Para ello, se lleva a cabo la demostración de equivalencia (DoE). Por ejemplo, en la supervisión de material particulado, el método de referencia es el método gravimétrico que se basa en el muestreo y el pesaje de filtros. Sin embargo, en Europa está generalizado el uso de analizadores automáticos que proporcionan información en línea de las concentraciones de MP. Por lo tanto, es necesario organizar la demostración de equivalencia para definir la equivalencia entre los analizadores automáticos y el método de referencia.

En 2002, la CE puso en marcha un grupo de trabajo sobre directrices para la Demostración de la equivalencia. El grupo de trabajo finalizó su labor en 2005 con el documento *Guide to the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods* (Guía para la demostración de equivalencia de los métodos de supervisión del aire ambiente), GDE. Para facilitar el uso de la GDE para la demostración de la equivalencia de los métodos candidatos (MC) frente al método de referencia (MR) para la supervisión de MP, se puso a disposición una macro de Excel en la página web de la Comisión (<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/assessment.htm>). La macro permite al usuario probar la equivalencia para los pares de datos de entrada de los MC y los MR.

El informe *Guide to the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods* describe los principios y las metodologías que deben utilizarse para demostrar la equivalencia de métodos distintos de los métodos de referencia de la UE. Se trata de un documento orientativo destinado a los laboratorios designados por las autoridades nacionales competentes para realizar las pruebas pertinentes para la demostración de equivalencia de los métodos de medición del aire ambiente.

3.4.2 Métodos de referencia para la medición de material particulado

El método de medición de referencia para el muestreo y la medición de la concentración en masa de MP₁₀, así como de MP_{2.5}, es gravimétrico y se indica en la norma europea EN 12341:2014 elaborada por el Comité Europeo de Normalización (CEN). La norma define que por MP₁₀ y MP_{2.5} se entiende el material particulado que pasa a través de una entrada de tamaño selectivo con una eficiencia del 50 % a un tamaño de corte de 10 μm y 2,5 μm como diámetro aerodinámico, respectivamente. La norma prescribe el método de medición, incluidos los criterios de diseño de la entrada para ambas clases de tamaño, así como los procedimientos de almacenamiento y pesaje de los filtros. También se definen los materiales de filtrado autorizados para la recolección de la fracción de MP. Además de los métodos de referencia, la AQD establece que la concentración de masa para los resultados de MP se referirá a las condiciones ambientales imperantes en términos de temperatura y presión atmosférica. (Walden et al., 2017)

Los objetivos comunes de calidad de los datos (DQO) para las mediciones de MP realizadas en Europa se presentan en la sección A del anexo I de la Directiva 2008/50/CE y en la norma EN12341:2014. Se resumen en la Tabla 7 que figura a continuación.

Tabla 7: Objetivos de calidad para la incertidumbre de medición admisible de las mediciones continuas y las evaluaciones de la calidad del aire, la cobertura temporal de las mediciones y la cobertura mínima de los datos de medición (Directiva 2008/50/CE sobre la calidad del aire de la UE).

| | Sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen and carbon monoxide | Benzene | Particulate matter (PM ₁₀ /PM _{2.5}) and lead | Ozone and related NO and NO ₂ |
|-----------------------------------|--|---------------------|--|--|
| Fixed measurements ⁽¹⁾ | | | | |
| Uncertainty | 15 % | 25 % | 25 % | 15 % |
| Minimum data capture | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % during summer 75 % during winter |
| Minimum time coverage: | | | | |
| — urban background and traffic | — | 35 % ⁽²⁾ | — | — |
| — industrial sites | — | 90 % | — | — |
| Indicative measurements | | | | |
| Uncertainty | 25 % | 30 % | 50 % | 30 % |
| Minimum data capture | 90 % | 90 % | 90 % | 90 % |
| Minimum time coverage | 14 % ⁽⁴⁾ | 14 % ⁽³⁾ | 14 % ⁽⁴⁾ | > 10 % during summer |
| Modelling uncertainty: | | | | |
| Hourly | 50 % | — | — | 50 % |
| Eight-hour averages | 50 % | — | — | 50 % |
| Daily averages | 50 % | — | not yet defined | — |
| Annual averages | 30 % | 50 % | 50 % | — |
| Objective estimation | | | | |
| Uncertainty | 75 % | 100 % | 100 % | 75 % |

⁽¹⁾ Member States may apply random measurements instead of continuous measurements for benzene, lead and particulate matter if they can demonstrate to the Commission that the uncertainty, including the uncertainty due to random sampling, meets the quality objective of 25 % and the time coverage is still larger than the minimum time coverage for indicative measurements. Random sampling must be evenly distributed over the year in order to avoid skewing of results. The uncertainty due to random sampling may be determined by the procedure laid down in ISO 11222 (2002) 'Air Quality — Determination of the Uncertainty of the Time Average of Air Quality Measurements'. If random measurements are used to assess the requirements of the PM₁₀ limit value, the 90,4 percentile (to be lower than or equal to 50 µg/m³) should be evaluated instead of the number of exceedances, which is highly influenced by data coverage.

⁽²⁾ Distributed over the year to be representative of various conditions for climate and traffic.

⁽³⁾ One day's measurement a week at random, evenly distributed over the year, or eight weeks evenly distributed over the year.

⁽⁴⁾ One measurement a week at random, evenly distributed over the year, or eight weeks evenly distributed over the year.

3.4.3 Procedimiento de trabajo en ensayos de intercomparación

El procedimiento de trabajo para las pruebas de intercomparación se basa en el documento *Guidance for the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods* (GDE), (Comisión Europea, enero de 2010) que está disponible gratuitamente en <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>.

3.4.4 Procedimientos de control de calidad

Durante los ensayos de equivalencia/verificación, los procedimientos de control de calidad (QA/QC) se llevarán a cabo de acuerdo con la cláusula 8.6 de la norma EN 16450:2017. En el caso de los muestreadores de referencia, el QA/QC incluye:

- Comprobación de la medición del caudal de forma regular (al principio y cada tres meses)
- Limpieza y engrase del cabezal de muestreo: cada mes cuando se utilice la entrada selectiva de tamaño según las instrucciones de la norma EN 12341:2014.

En el caso de AMS, los procedimientos de QA/QC se llevarán a cabo de acuerdo con los procedimientos normalizados de trabajo de la red, que incluyen:

- Medición del caudal
- Limpieza y engrase del cabezal de muestreo
- Comprobación del funcionamiento del sensor (temperatura, presión)
- Los caudales de los muestreadores de referencia deben medirse con un caudalímetro másico.

El caudalímetro másico debe calibrarse en el laboratorio de calibración que mantiene la trazabilidad de la instalación de calibración mediante la calibración periódica con respecto al método de calibración del caudal primario en el instituto nacional de metrología. En el caso del FMI, la incertidumbre de la instalación de calibración del caudal en el caudal de muestreo de las entradas selectivas de tamaño es del 0,7 % (<https://www.finas.fi/sites/en/operators/Pages/default.aspx#k=k043#l=1033>). La incertidumbre del caudalímetro másico de, por ejemplo, el modelo 4043 de TSI se estima, basándose en el certificado de calibración, en un 1,5 % como incertidumbre expandida.

La limpieza de las entradas selectivas por tamaño debe realizarse según la recomendación del fabricante de la entrada y de acuerdo con la norma EN 12341:2014. El intervalo de tiempo para la limpieza de las entradas depende del entorno de supervisión, en Finlandia una vez al mes suele ser suficiente. Las placas impactadoras se engrasan con una fina capa de grasa de silicona al vacío después de la limpieza de las entradas para evitar que el material particulado más grande que el tamaño de corte rebote en la placa impactadora. El uso de grasa está indicado para entradas de tamaño selectivo fabricadas según la norma EN. En el caso de las entradas de tipo US-EPA no se utiliza grasa, según las instrucciones del fabricante.

Filtros blanco para control de calidad

El uso de filtros blanco es una parte importante del concepto de control de calidad, como ya se ha comentado en el capítulo 3.2.2. Para la supervisión del proceso de pesaje, incluida la influencia del acondicionamiento del filtro, se utilizan filtros blanco de la sala de pesaje. Los filtros de campo blanco no se utilizarán para corregir las masas medidas de MP en los filtros, ya que la suposición de que los procesos que afectan al filtro de campo blanco y al filtro de la muestra son los mismos es poco probable que sea válida debido al flujo de aire que pasa por el filtro de la muestra.

3.4.5 Preparación de los filtros

1. Recoja o anote los datos del muestreo: Código del filtro (también en la PetriSlide), fecha de muestreo, tiempo de muestreo (h), volumen de muestreo ambiental (m^3), volumen de muestreo normalizado (Nm^3), temperatura ambiental (T_a , C), presión ambiental (Pa), comentarios (problemas, lluvias intensas, eventos de polvo, incendios, etc.).
2. En el laboratorio, abra el depósito de muestras (tubo de muestreo) y saque los portafiltros del tubo. A continuación, saque con cuidado cada uno de los filtros recogidos y póngalos en una PetriSlide específica. Utilice pinzas de plástico para ello. Las pinzas pueden lavarse con etanol o acetona. Evite tocar el filtro con las manos.
3. Marque las **fechas del muestreo** en el PetriSlide. Coloque las PetriSlides en su caja envase.
4. Tome los nuevos filtros pesados de las PetriSlides, colóquelos en soportes limpios y póngalos en el tubo de muestreo.
5. Limpie el cabezal de muestreo y limpie y engrase la placa de grasa cuando sea necesario (por ejemplo, una vez a la semana) o cuando se cambie el cargador de muestras.

3.4.6 DoE y verificación de los analizadores de MP, caso de ejemplo de Finlandia

El Instituto Meteorológico de Finlandia, como laboratorio nacional de referencia para las mediciones de la calidad del aire, ha organizado la demostración de equivalencia (DoE) de los sistemas automáticos de supervisión continua (AMS) para la determinación de la concentración másica de material particulado en suspensión $MP_{2.5}$ y MP_{10} en la ciudad de Kuopio (Finlandia) durante 2014-2015 (*Walden et al., 2017*). Después de la DoE se organizó la verificación de los analizadores de MP para MP_{10} y $MP_{2.5}$ con el método de referencia de MP en 2017-2018 para evaluar en qué medida las ecuaciones de equivalencia definidas en la DoE organizada en Kuopio (Finlandia central) se aplican a las demás zonas (sur de Finlandia y zonas costeras) (*Walden y Vestenius, 2018*). Figura 6.





Figura 6: Lugar de medición en Kuopio, DoE 2014-2015 (arriba a la izquierda, abajo a la izquierda) y mediciones de la campaña de verificación 2017 en Oulu (arriba a la derecha) e Imatra (abajo a la derecha).

En 2014-2015 se llevó a cabo en la ciudad de Kuopio (Finlandia) la demostración de que un método de no referencia es equivalente al método de referencia para las mediciones de la concentración de material particulado (MP) para las categorías de tamaño de $MP_{2.5}$ y MP_{10} , es decir, tamaños de material particulado inferiores a $2,5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$ de diámetro aerodinámico, respectivamente. En total, participaron en los estudios de equivalencia ocho métodos candidatos (MC), es decir, métodos de medición cuya equivalencia debía demostrarse: FH 62 I-R, Grimm modelo 180, MP101 CMP, Osiris, y SHARP modelo 5030, TEOM 1405, BAM 1020 y DustTrak 8535. El período de prueba fue de un año completo.

El programa de pruebas se elaboró de acuerdo con la *Guide for Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods* (GDE) de la Comisión Europea. Sin embargo, la prueba de idoneidad, que presupone que más del 20% de los valores de concentración diarios durante todo el estudio de comparación superarán el umbral superior de evaluación (UAT) para el valor límite anual definido por la AQD, no se cumplió en el caso de las mediciones de $MP_{2.5}$ aunque el período de medición duró un año. Se trata de una situación muy típica en Finlandia, donde los niveles de concentración de $MP_{2.5}$ suelen ser muy bajos. En el caso de la comparación de MP_{10} , las concentraciones máxicas diarias superaron el UAT durante más del 20 % del período de medición para cumplir el requisito de la GDE. Se presentó la función de calibración frente al método de referencia para cada método candidato, así como los resultados si se ha producido un incumplimiento de los criterios en alguno de los métodos candidatos. Los resultados mostraron que DustTrak 8535 no cumplía los criterios de equivalencia para las mediciones fijas de $MP_{2.5}$ y MP_{10} . Osiris cumplía los criterios para las mediciones de MP_{10} pero no para las mediciones de $MP_{2.5}$. Todos los demás MC, FH 62 I-R, Grimm modelo 180, MP101 CPM, SHARP modelo 5030, TEOM 1405 y BAM 1020 cumplían los criterios para las mediciones de $MP_{2.5}$ y MP_{10} .

En 2017-2018 se organizó la verificación actual de los analizadores de MP. El objetivo del ejercicio de verificación era demostrar si los sistemas automáticos de supervisión continua (AMS) probados y autorizados durante el estudio de la DoE en Kuopio eran aplicables en otros lugares de Finlandia. La comparación de los AMS de la red local (sitio) con el MR se realizó en varias partes de Finlandia (sur y norte, este y oeste) para ver si el AMS, que fue aprobado como método de equivalencia, sigue cumpliendo los criterios de idoneidad en otros lugares de Finlandia. Se llevaron a cabo campañas de verificación de dos meses en ocho lugares de medición de diferentes redes locales de calidad del aire en Finlandia, tanto para mediciones de $PM_{2.5}$ como de PM_{10} . Los AMS cuya DoE fue aprobada fueron: FH62-IR, Grimm modelo 180, MP101 CPM, Osiris, SHARP modelo 5030 y TEOM 1405. Además, se probaron TEOM 1405D y APM-2 para su verificación, aunque no participaron en las pruebas de DoE en Kuopio pero se utilizan en algunas de las redes de Finlandia.

La estrategia de ensayo se modificó a partir de la norma EN pertinente para el uso del AMS en las mediciones de las concentraciones de $MP_{2,5}$ y MP_{10} en el aire ambiente. Esta estrategia permitió incluir en el estudio un mayor número de emplazamientos e instrumentos probados, pero con una falta de estacionalidad menor de la que habría sido necesaria siguiendo la guía con exactitud. Como resultado del estudio de verificación, los factores de calibración alcanzados en la DoE en Kuopio son aplicables para el mismo modelo de AMS probado en Kuopio en diferentes lugares de Finlandia con pocas limitaciones. El FH62-IR obtuvo un mejor rendimiento utilizando el factor de calibración obtenido en el estudio de verificación de Helsinki que el basado en la DoE de Kuopio. Osiris superó la prueba para las mediciones de MP_{10} pero no para las de $MP_{2,5}$, al igual que en Kuopio. El APM-2 ha sido probado por Rheinland Energie und Umwelt GmbH, TÜV, que es un laboratorio de pruebas acreditado, y ha resultado ser equivalente al método de referencia tanto para las mediciones de $PM_{2,5}$ como para las de MP_{10} . Basándose en los resultados de las pruebas realizadas por TÜV y en los resultados obtenidos en el estudio de verificación, el APM-2 puede utilizarse para medir $MP_{2,5}$ y MP_{10} en Finlandia, pero aplicando los factores de calibración obtenidos en este estudio. El TEOM 1405D no ha sido sometido a pruebas de DoE y no se puede afirmar que sea equivalente al método de referencia. Por lo tanto, los factores de calibración obtenidos en el estudio de verificación no pueden utilizarse para el TEOM 1405D.

3.4.7 [Intercomparación de la equivalencia de MP, caso de ejemplo de Chile](#)

3.4.7.1 [Antecedentes](#)

Se recogieron dos pares de 58 y 60 muestras de filtros de referencia de MP_{10} y $MP_{2,5}$, previamente pesadas, en filtros de teflón, utilizando dos muestreadores E-SEQ-FRM (Met One, EE.UU.) con un caudal de aproximadamente 1 m^3 por hora, de modo que los volúmenes de muestra de cada filtro eran de aproximadamente 24 m^3 . Estos filtros se pesaron en Finlandia y en Chile antes y después del muestreo según las normas chilenas y EN12341:2014 (Finlandia). Estos métodos de referencia aquí se denominan SGSref (método de referencia SGS, Chile) y FMIref (método de referencia FMI, Finlandia). Los datos continuos de MP_{10} y $MP_{2,5}$ con resolución de una hora se midieron al mismo tiempo utilizando dos monitores de atenuación beta (BAM 1020, Met One, EE.UU.).

3.4.7.2 [Metodología](#)

Utilizando los métodos SGSref y FMIref, se demostró el cálculo de equivalencia de los monitores BAM1020 para MP_{10} y $MP_{2,5}$. La demostración se realizó con la herramienta de equivalencia de MP V3.1 (Comisión Europea, <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/Equivalence%20Tool%20V3.1%20020720.xlsx>) utilizando la directriz: [Guidance for the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods](https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf) (GDE), (Comisión Europea, enero de 2010 <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>).

En total, se realizaron cinco pruebas de equivalencia para las fracciones de tamaño MP_{10} y $MP_{2,5}$. Las pruebas fueron:

- 1) Datos del muestreador de referencia SGSref frente a FMIref
- 2) SGSref frente a FMIref con ecuación de corrección
- 3) FMIref frente a SGS BAM 1020 con ecuación de corrección
- 4) SGSref frente a SGS BAM1020 con ecuación de corrección
- 5) Media de SGSref y FMIref frente a SGS BAM 1020 con ecuación de corrección

3.4.7.3 Resultados de la prueba de equivalencia para MP₁₀

SGSref MP₁₀ frente a FMIref MP₁₀

Las muestras de MP₁₀ recogidas por SGS fueron pesadas por SGS y por FMI y estos resultados de pesaje se compararon utilizando la hoja de cálculo de equivalencia. Se utilizó FMIref como método de referencia (MR) y SGSref se utilizó como método candidato (MC).

Los resultados se presentan en la Figura 7 Un par de datos (32,67;166,84) se trataron como un valor atípico y se sacaron del análisis. La figura 3.7.3.2 muestra los datos originales con el supuesto valor atípico. Básicamente, no hay que descartar ningún dato, a menos que haya una razón muy buena para ello. Ese tipo de razón podría ser un mal funcionamiento del equipo. Por lo tanto, el par de datos debe descartarse como un valor atípico sólo con una buena razón que debe explicarse mediante el análisis. Se puede descartar como valores atípicos un máximo del 2,5% de los datos (GDE). En este caso, se puede ver claramente que este par de datos atípicos destruye el análisis y, por tanto, puede extraerse. Sin embargo, se desconoce la razón de ello.

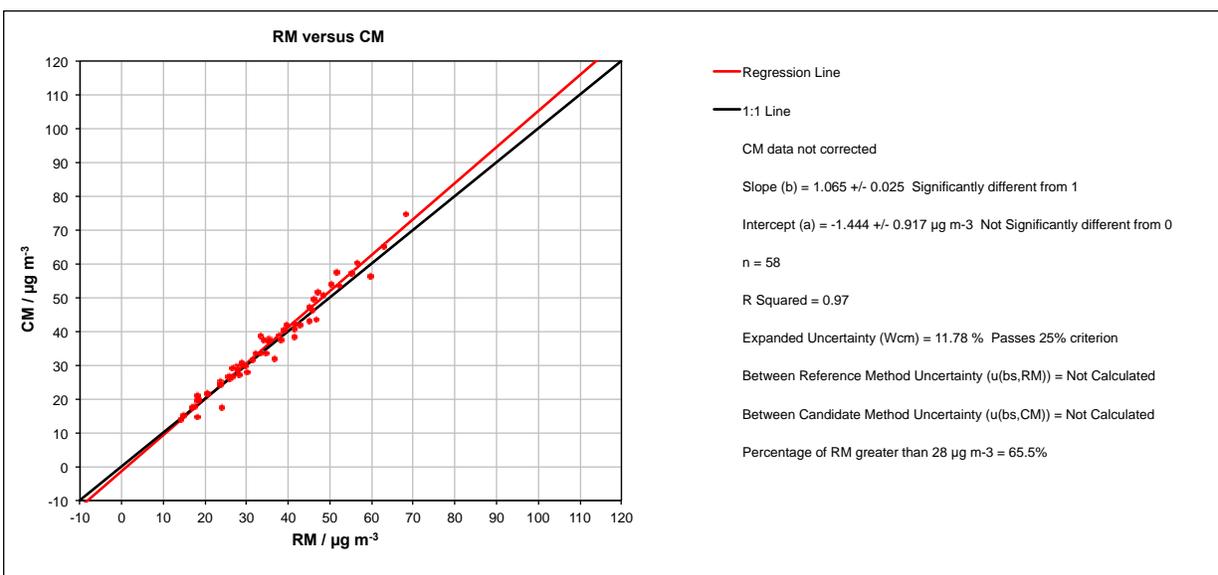


Figura 7: MP₁₀: SGSref frente a FMIref, se eliminó un valor atípico (32,67;166,84).

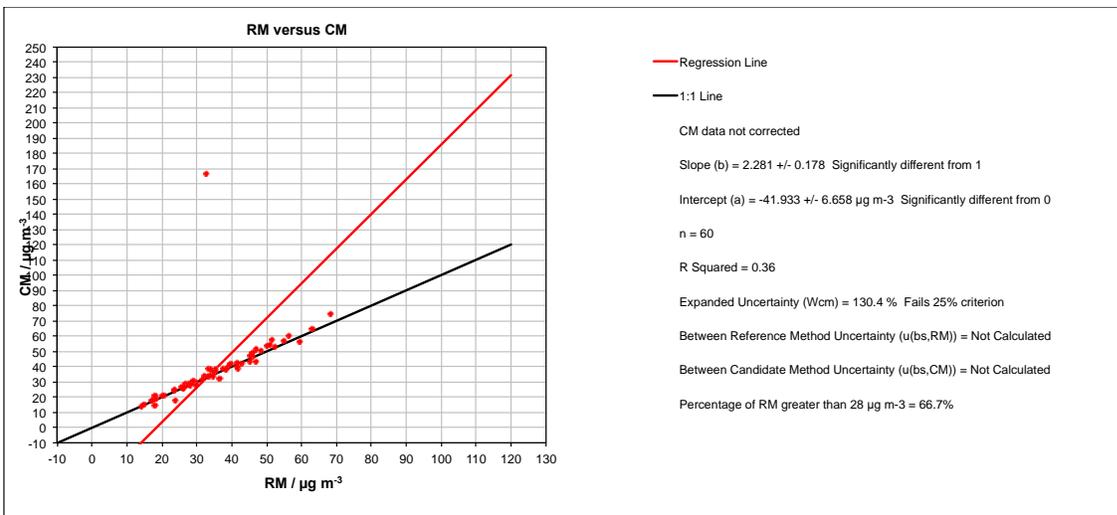


Figura 8: MP₁₀: SGSref frente a FMIref, todos los datos admitidos.

El resultado de la equivalencia cuando se comparó el método SGSref con el método FMIref para MP₁₀ mostró una incertidumbre expandida razonable del 11,78%. La pendiente para los datos de MC fue de 1,065. Las diferencias entre los resultados de SGSref y FMIref podrían deberse a las diferentes condiciones ambientales y de pesaje y al transporte, pero la razón específica es difícil de resolver. El resto de los análisis de este capítulo se realizaron sin este valor atípico.

SGSref MP₁₀ frente a FMIref MP₁₀, con ecuación de corrección

Como este análisis de equivalencia de demostración muestra que para los datos de SGSref no corregidos, la pendiente es significativamente diferente de 1, estos datos deben corregirse.

Cuando se corrige SGSref con la ecuación de corrección $SGSref = 0,972 * FMIref$, la incertidumbre expandida es del 10,6% (Fig. 9). Esto es algo mejor que los datos no corregidos, pero la diferencia no es grande.

Sin embargo, este tipo de comparación del método de referencia es teórico, ya que no sabemos exactamente qué ha ocurrido con los filtros entre los pesajes, por ejemplo, durante el transporte, especialmente en el caso de FMIref. También hay diferencias entre las normas de la USEPA y las de la UE. Básicamente, ambos métodos de referencia son válidos.

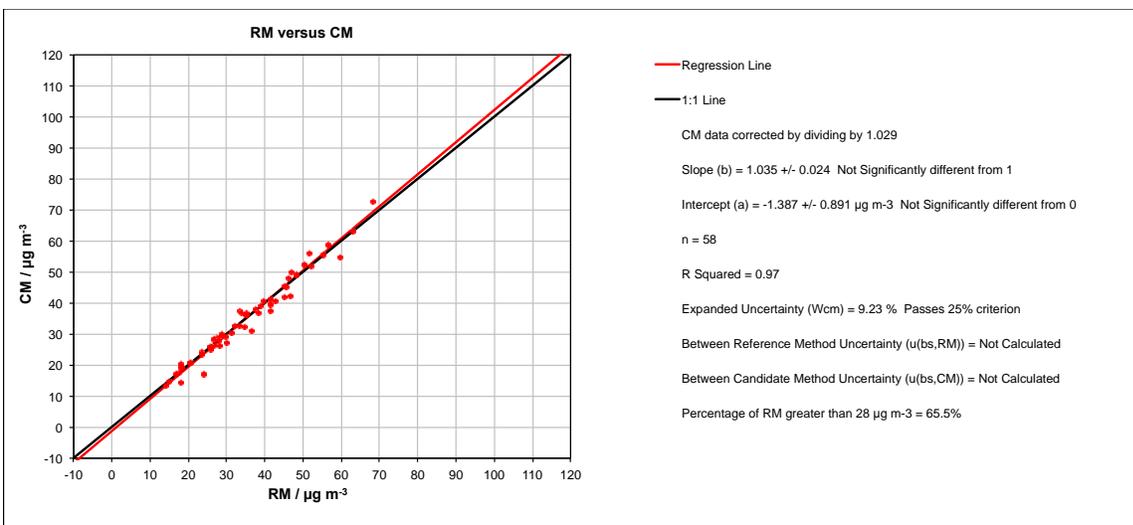


Figura 9: MP₁₀: SGSref frente a FMIref, los datos se corrigen con la ecuación de corrección.

BAM 1020 MP₁₀ frente a FMIref MP₁₀

Al comparar BAM 1020 con el método de referencia FMI, BAM pasa la prueba de equivalencia con un 9,78% de incertidumbre expandida, utilizando el factor de corrección de 1,09 (Figura 10). BAM 1030 subestima ligeramente las concentraciones de MP₁₀.

En este análisis, se sacaron un par de datos (51,00; 86,58) del análisis. En la figura 11, se incluye en el análisis y se modifica el factor de corrección en consecuencia: el factor de corrección es ahora de 1,05, pero el análisis falla porque la incertidumbre ampliada es 25,43 % > 25%.

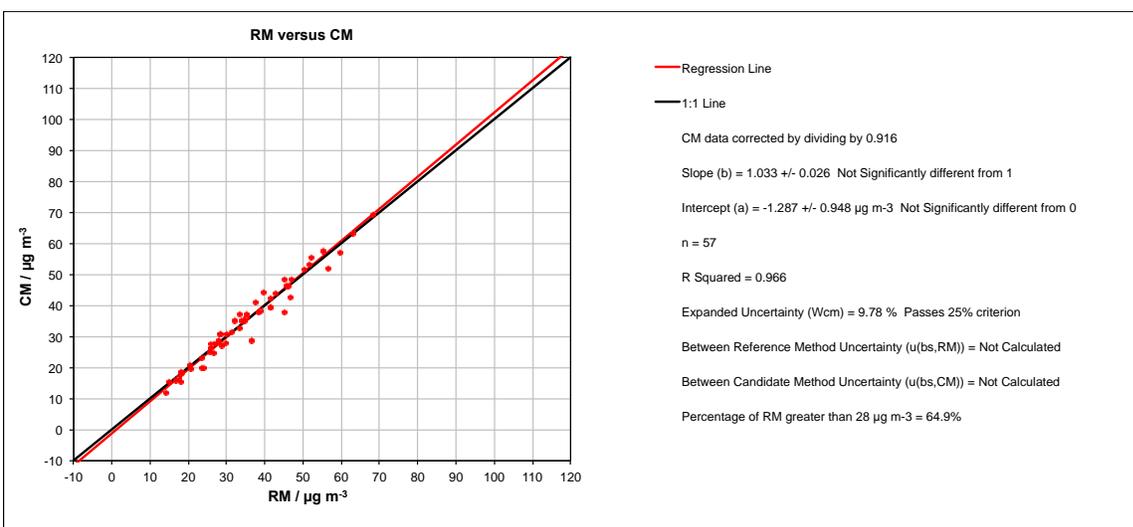


Figura 10: BAM 1020 MP₁₀ frente a FMIref MP₁₀, con un valor atípico (51,00, 86,58) extraído.

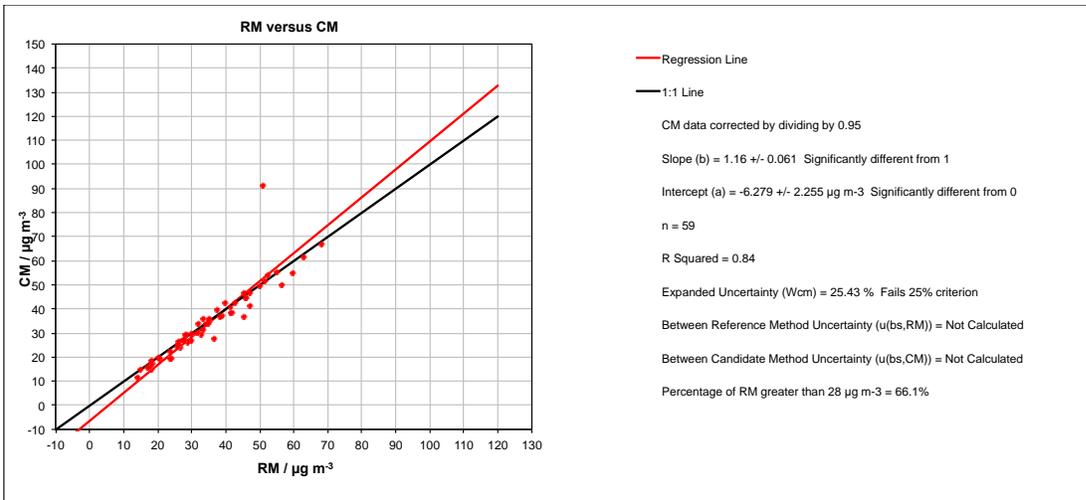


Figura 11: BAM 1020 MP₁₀ frente a FMlref MP₁₀, con todos los datos incluidos.

BAM 1020 MP₁₀ frente a SGSref MP₁₀

BAM 1020 pasa esta prueba de equivalencia de demostración frente al método de referencia de SGS para MP₁₀ con un factor de corrección de 1,12, con una incertidumbre expandida del 9,91%. (Figura 12). Es aconsejable utilizar el propio sistema de referencia de SGS cuando se tenga en cuenta la determinación del factor de corrección para las mediciones de MP. Sin embargo, estos resultados se basan en un periodo relativamente corto y, a la hora de determinar la equivalencia, es preferible un periodo de pruebas más amplio que abarque todas las estaciones.

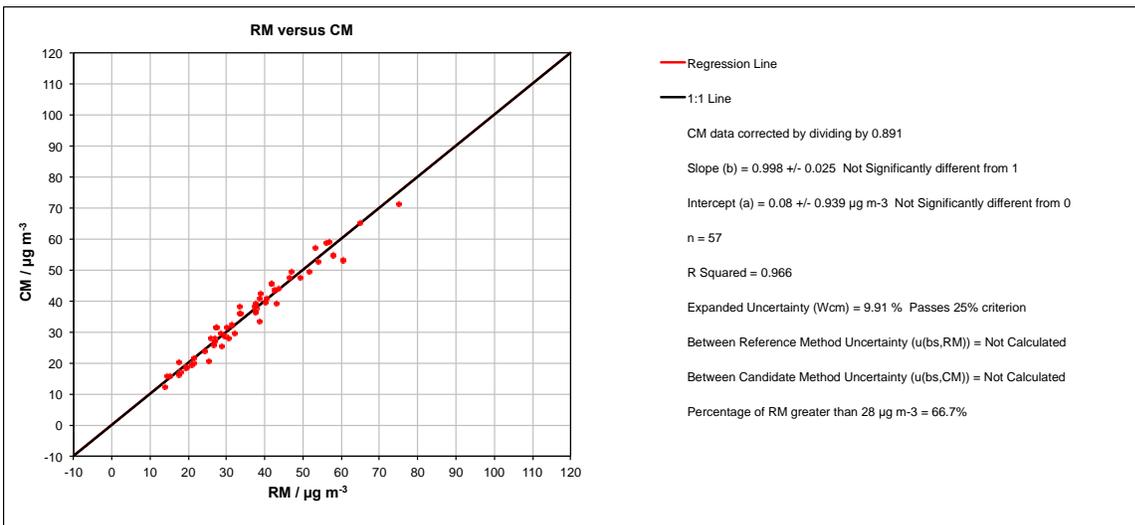


Figura 12: Corrección de BAM1020 MP₁₀ frente a SGSref para MP₁₀.

Se probaron los datos de BAM 1020 de MP₁₀ frente a SGSref también sin ecuación de corrección y también pasaron la prueba con una incertidumbre expandida del 23,59% con

una pendiente de 0,888. Sin embargo, como la pendiente era significativamente diferente de 1, el resultado del análisis fue fallido. (Fig.13). En este caso se ve claramente que BAM 1020 subestima el MP_{10} . Dado que SGS dispone de un método de referencia (muestreador de referencia e instalación de pesaje), es aconsejable utilizarlo para probar la equivalencia de los monitores de masa continuos y, a continuación, utilizar la ecuación de corrección de acuerdo con los resultados de la prueba.

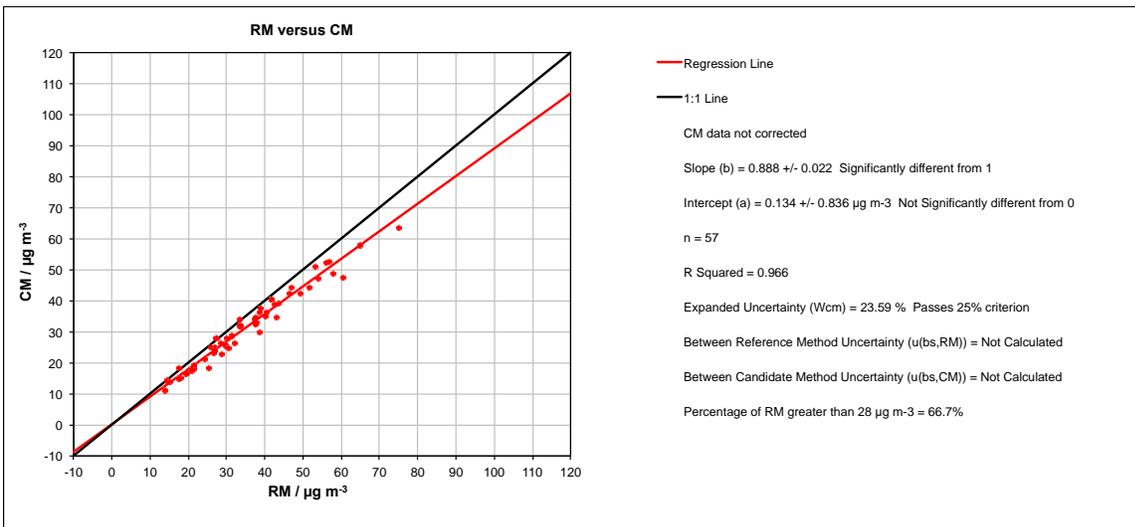


Figura 13: Análisis no corregido para BAM1020 MP_{10} frente a SGSref para MP_{10} .

BAM 1020 PM_{10} frente a la media de SGSref PM_{10} y FMlref PM_{10}

Los datos del monitor BAM 1020 para PM_{10} también se compararon con la media de ambos métodos de referencia SGSref y FMlref. Se obtuvieron buenos resultados en comparación con las comparaciones de un solo método de referencia, con un factor de corrección de 1,106 (Fig. 14). Esto se aproxima a los factores de corrección anteriores de BAM1020 cuando se compara con SGSref y FMlref, que fueron de 1,09 y 1,12, lo cual es razonable. Además, BAM para PM_{10} pasa la prueba con una incertidumbre expandida del 7,34%.

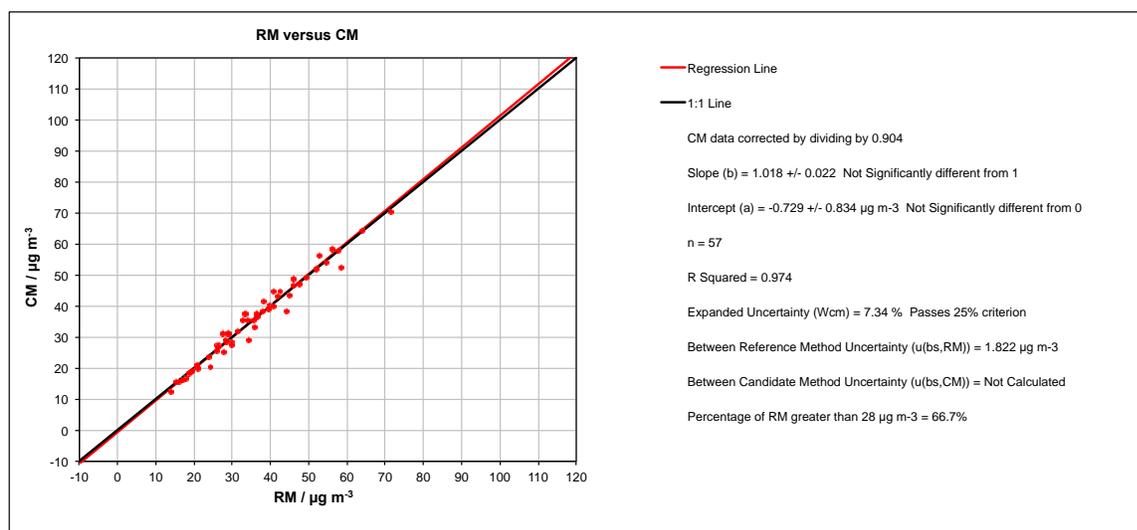


Figura 14: BAM 1020 MP₁₀ frente a la media de SGSref MP₁₀ y FMIref MP₁₀

3.4.7.4 Resultados de la prueba de equivalencia para MP_{2.5}

Al igual que en el caso de MP₁₀, ambos métodos de referencia se probaron entre sí y con BAM 1020 también en el caso de MP_{2.5}. Al igual que en el caso del MP₁₀, el valor límite de incertidumbre ampliado es del 25%, que el método candidato no debe superar. Sin embargo, en el caso del MP_{2.5}, las incertidumbres de las mediciones son mayores debido a las menores concentraciones. Además, la parte de masa de MP volátil suele ser mayor en MP_{2.5} en comparación con MP₁₀, lo que también provoca incertidumbre en las mediciones. En estas pruebas, se observó que en este conjunto de datos el BAM 5020 no superó el valor objetivo de equivalencia cuando se incluyeron todos los datos en el análisis. Además, no había ninguna razón para ello si algún par de datos debía ser descartado como valores atípicos. Sin embargo, a efectos de demostración, se utilizó el criterio de que si la diferencia entre el MR y el MC era superior a 5 µg/m³, el par de datos se consideraba un valor atípico y se sacaba del análisis. En este análisis se muestran las dos opciones, el análisis con todos los datos y con los datos sin los llamados valores atípicos.

SGSref MP_{2.5} frente a FMIref MP_{2.5}

Cuando ambos métodos de referencia se probaron entre sí con todos los datos, superaron la prueba con una incertidumbre expandida del 5,63% (Figura 15). Dado que para los datos no corregidos, tanto la pendiente como el intercepto no fueron estadísticamente significativos y diferentes de 1 y 0, respectivamente, los datos no necesitan corrección. Este es el caso óptimo que debería darse, ya que ambos son métodos de referencia.

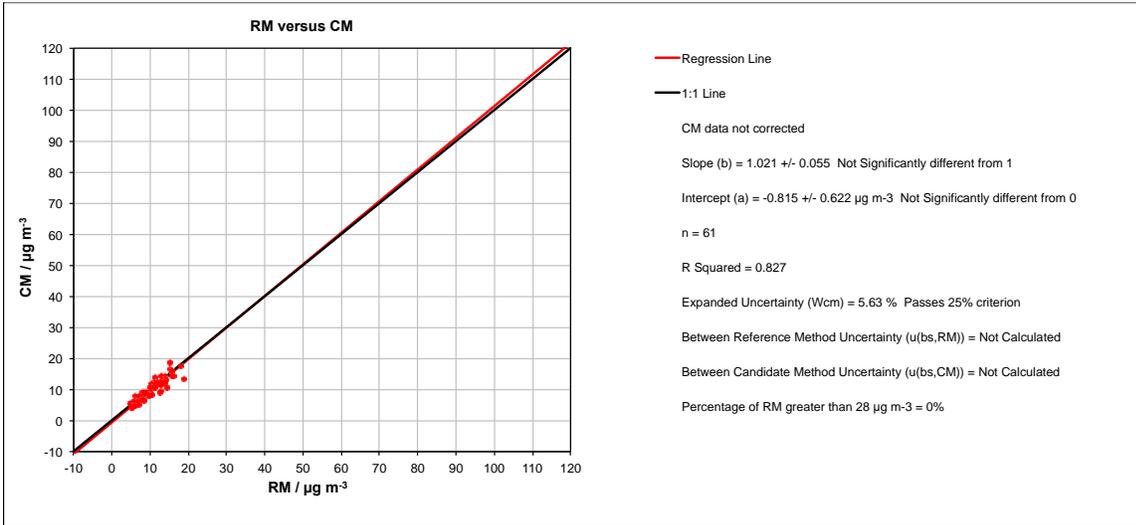


Figura 15: SGSref MP_{2,5} frente a FMIref MP_{2,5}

BAM 1020 MP_{2,5} frente a FMIref MP_{2,5}

Quando se comparan los datos de BAM con el método de referencia del FMI, el análisis falla con todos los datos incluidos, ya que la incertidumbre expandida es del 25,57% (Fig. 16). Cuando se sacan los posibles valores atípicos (en este caso, pares de datos con una diferencia >5 µg/m³), los datos superan la prueba con una incertidumbre expandida del 16,81% utilizando la ecuación de corrección $MR=0,862*MC+3,153$ (Figura 17).

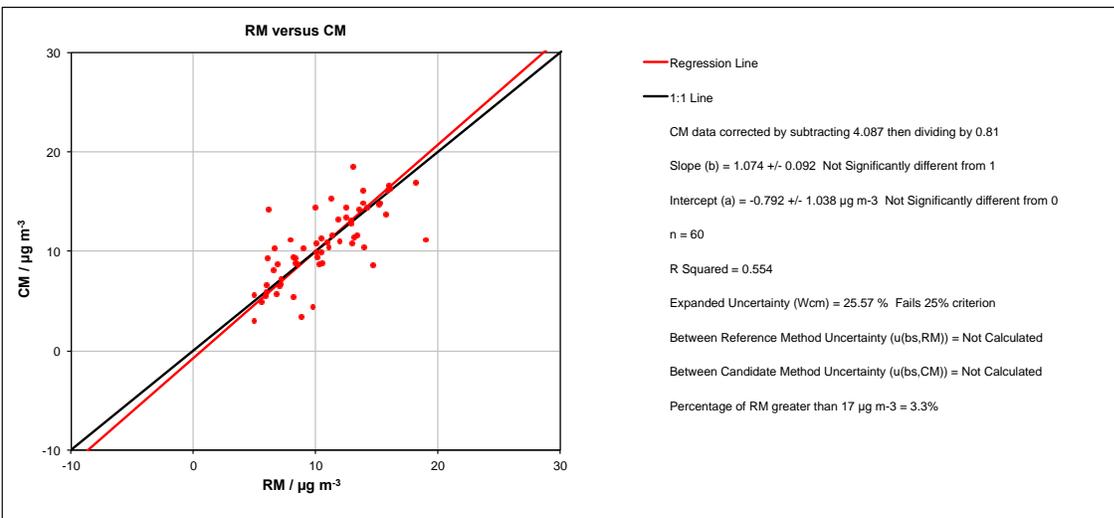


Figura 16: BAM 1020 MP_{2,5} frente a FMIref MP_{2,5}, los datos (n=60).

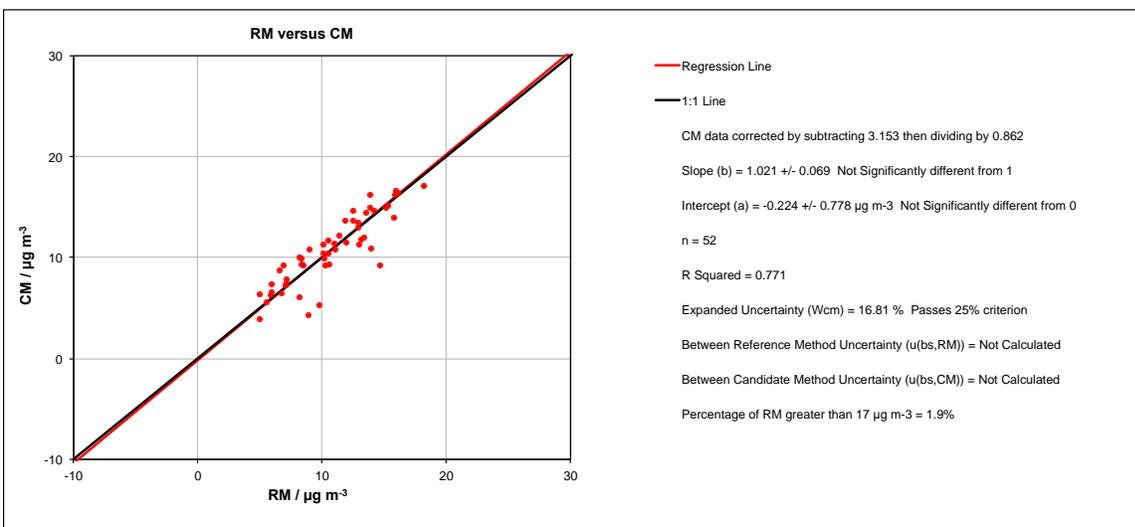


Figura 17: BAM 1020 MP_{2.5} frente a FMlref MP_{2.5}, sin valores atípicos (n = 52).

BAM 1020 MP_{2.5} frente a SGSref MP_{2.5}

Primero se probó BAM 1020 y FMlref con todos los datos. La prueba falló con Wcm 26,8% > 25% (Fig.18).

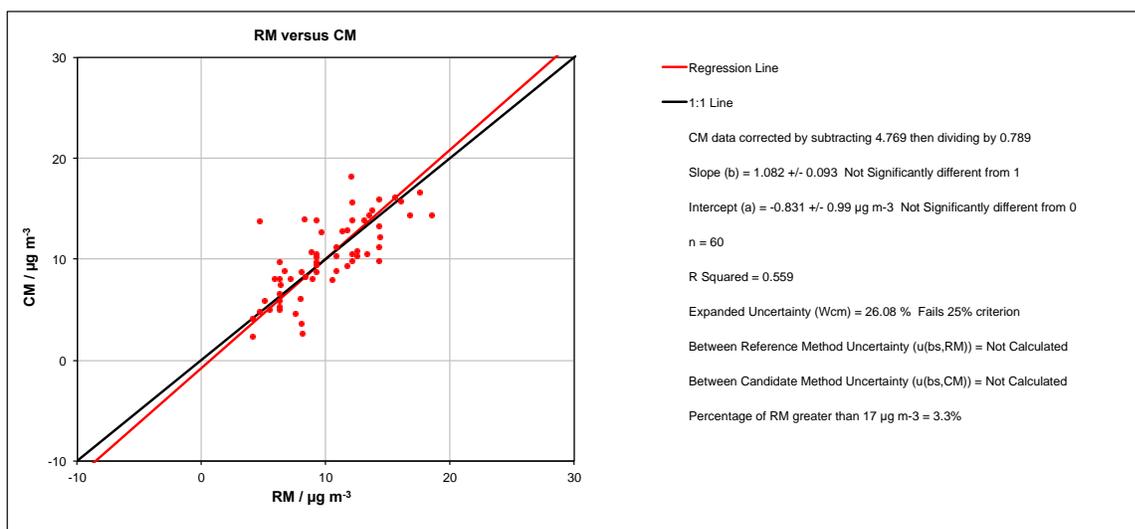


Figura 18: BAM 1020 MP_{2.5} frente a SGSref MP_{2.5}, los datos (n=60).

Cuando se eliminaron los posibles valores atípicos, la prueba superó el criterio del 25% con un 20,09% de incertidumbre expandida cuando se utilizó la ecuación de corrección $MR = 1,27CM^* + 4,414$ (Fig. 19).

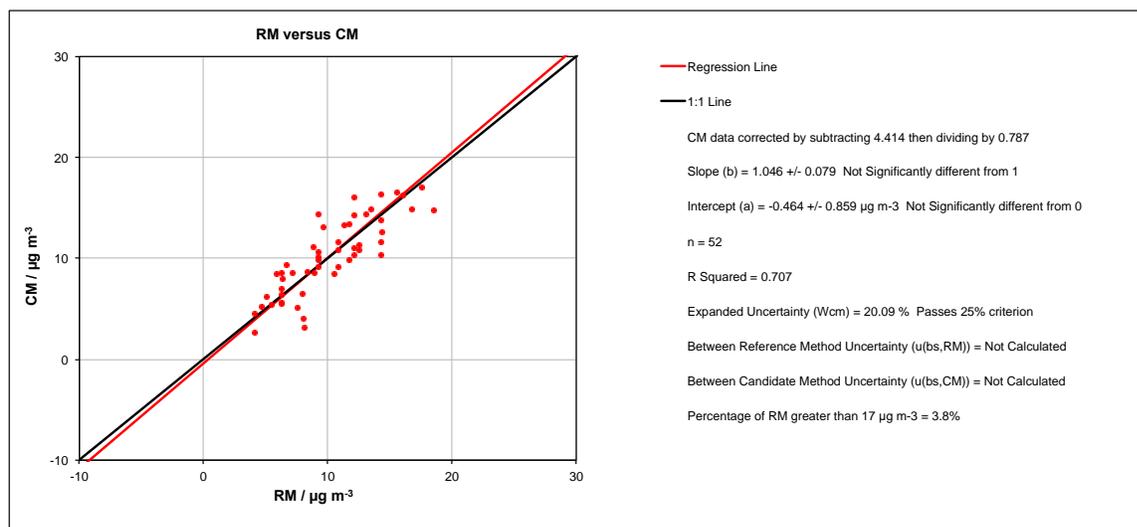


Figura 19: BAM 1020 MP_{2,5} frente a SGSref MP_{2,5}, eliminados los valores atípicos (N= 52).

BAM 1020 MP_{2,5} frente a la media de SGSref MP_{2,5} y FMIref MP_{2,5}

Cuando se utilizaron ambos métodos de referencia como promedio y se probó BAM contra ese promedio para todos los datos, la prueba se superó con una incertidumbre expandida del 23,74% (Fig. 20)

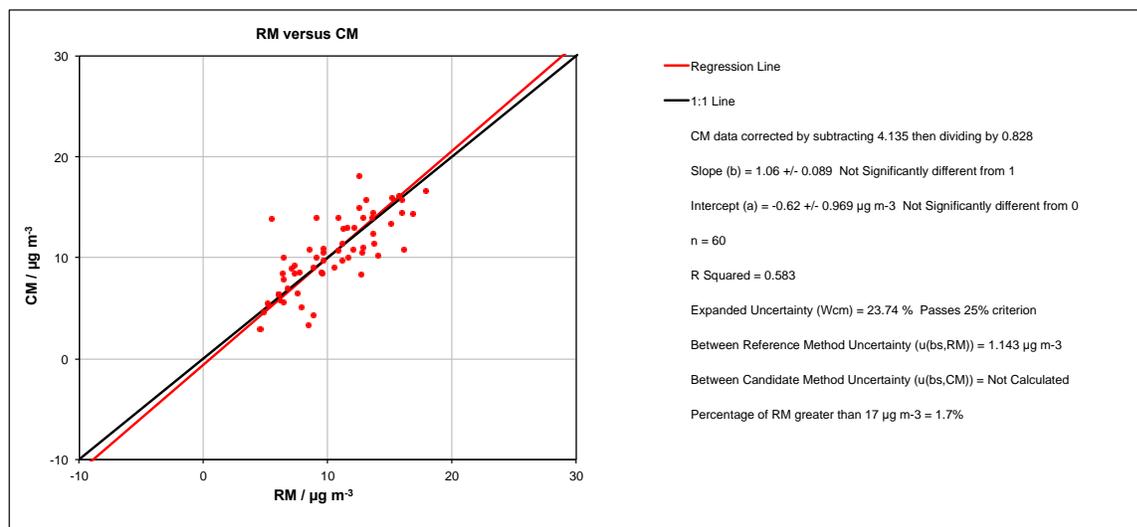


Figura 20: BAM 1020 MP_{2,5} frente a la media de SGSref MP_{2,5} y FMIref MP_{2,5}

Sin embargo, si se sacan los posibles valores atípicos con una diferencia de pares de datos superior a 5 µg/m³, los datos corregidos por la ecuación pasan la prueba con un mejor ajuste, con una incertidumbre ampliada del 17,1% (figura 21).

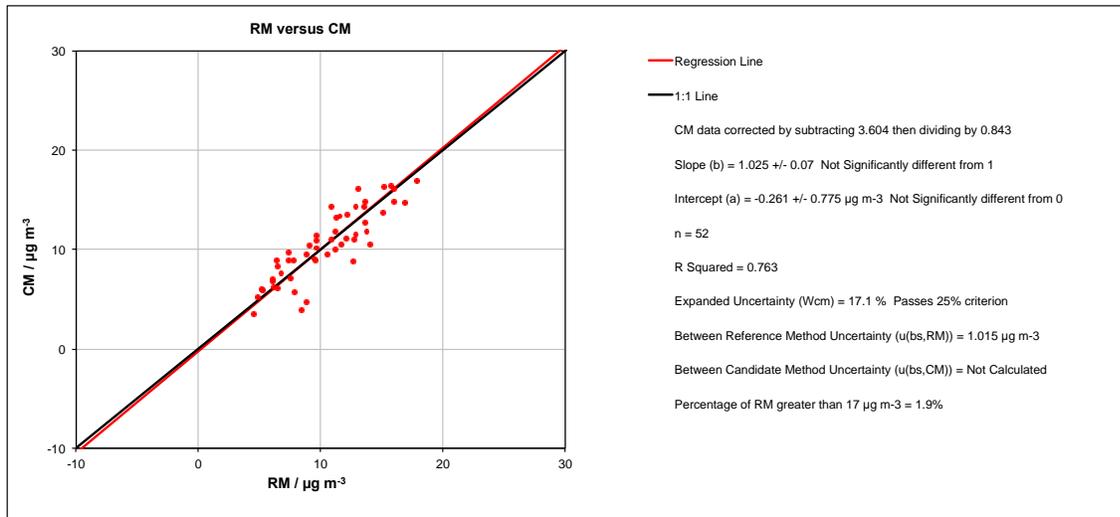


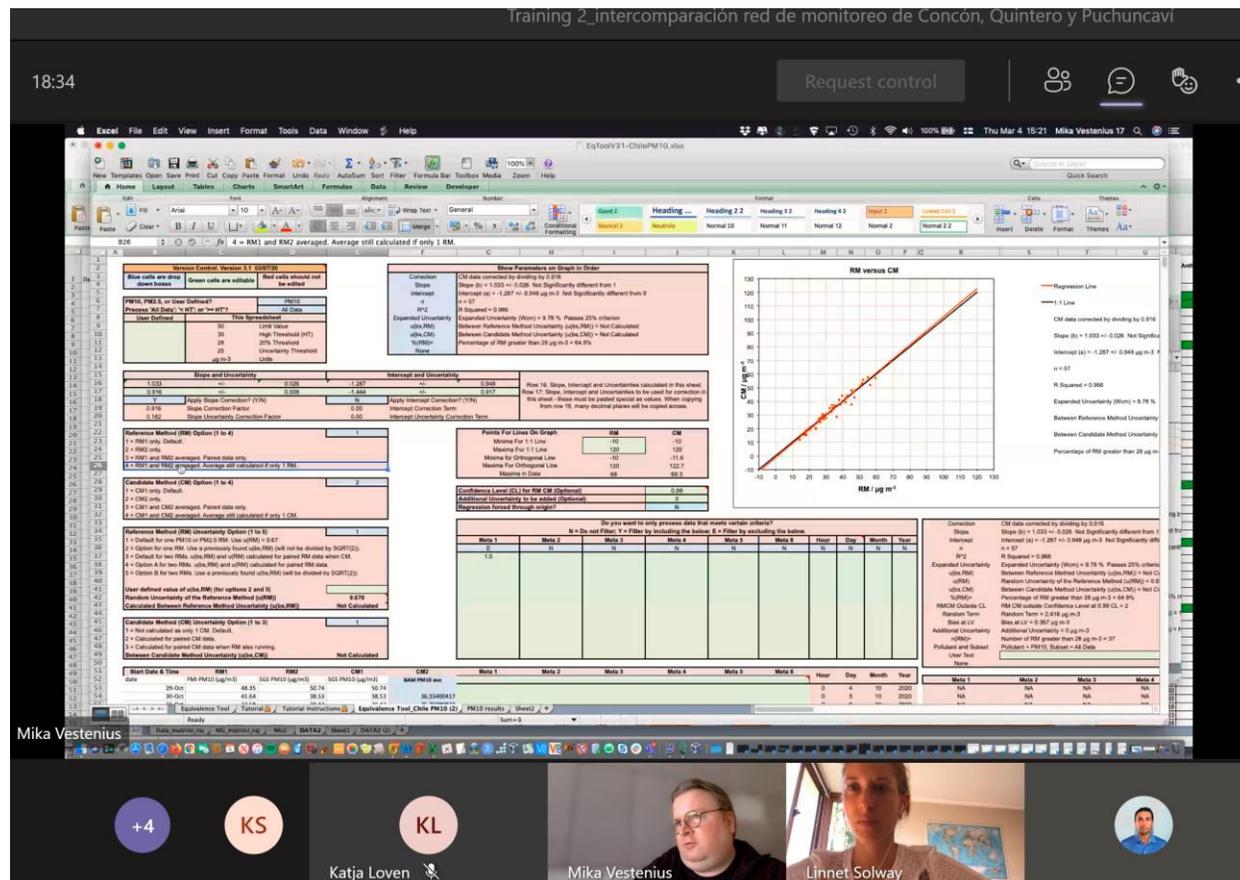
Figura 21: BAM2010 MP_{2.5} frente a la media de SGSref MP_{2.5} y FMIref MP_{2.5}, sin los posibles valores atípicos.

3.5 Análisis de resultados y recomendaciones a entregar en presentación.

Una sesión de entrenamiento sobre pruebas de intercomparación fue dado por investigadores especialistas del FMI, Karri Saarnio y Mika Vestenius, y Katja Loven, líder de grupo que desarrolla el proyecto en el FMI. La reunión fue desarrollada el 04 de marzo 2021, donde se analizó los resultados obtenidos durante el periodo de la actividad y se entregaron recomendaciones sobre protocolos y metodologías de trabajo (Figura 22). La presentación realizada se anexa en este informe (Anexo I).

Training 2_intercomparación red de monitoreo de Concón, Quintero y Puchuncavi

18:34 Request control



The screenshot shows a Zoom meeting window with a presentation of an Excel spreadsheet. The spreadsheet is titled "Equivalencia 3.1 - Chloride 10.xlsx" and displays statistical analysis results for RM versus CM. The main chart is a scatter plot with a regression line, showing a strong positive correlation. The regression equation is $CM = 1.037 \cdot RM - 0.026$. The R-squared value is 0.986, and the expanded uncertainty is 9.76%. The spreadsheet also includes various statistical parameters and tables for comparison results.

Participants in the meeting: +4, KS, KL, Katja Loven, Mika Vestenius, Linnet Solway.

Figura 22. Sesión de entrenamiento y presentación de resultados del FMI al MMA realizada via online el 4 de marzo 2021.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según los datos de esta corta campaña de dos meses, la correlación entre los métodos de referencia de SGS y FMI fue buena para las categorías de tamaño MP_{10} y $MP_{2,5}$, (0,97 y 0,83), respectivamente.

Los cálculos de equivalencia para BAM 1020 se demostraron utilizando los datos de la campaña de MP de la estación Quintero. Se eliminaron los valores atípicos claros de los datos de MP_{10} y se demostró el efecto de los valores atípicos. BAM 1020 pasó esta prueba de equivalencia de demostración de dos meses frente al propio método de referencia de SGS para MP_{10} con un factor de corrección de 1,12, con una incertidumbre expandida del 9,91%. BAM 1020 no superó la prueba en un primer momento, pero después de sacar algunos valores atípicos del análisis, superó la prueba. En el caso de BAM 1020, la demostración de equivalencia mostró resultados más problemáticos en el caso del $MP_{2,5}$ que en el del MP_{10} . Sin embargo, estos resultados se basan en un periodo de intercomparación relativamente corto y, a la hora de determinar la equivalencia, es preferible un periodo de pruebas más amplio que abarque todas las estaciones. Dado que SGS dispone de un método de referencia (muestreador de referencia e instalación de pesaje), es aconsejable utilizarlo para probar la equivalencia de los monitores de masa continuos y, a continuación, utilizar la ecuación de corrección de acuerdo con los resultados de la prueba, tal y como se propone en *Guide to the Demonstration of Equivalence of ambient air monitoring methods, report by an EC Working Group*.

Para concluir los resultados de los análisis elementales, el método de SGS utilizado para el análisis de metales pesados del material particulado no es razonable y debería cambiarse: los límites de detección son claramente demasiado altos y el método no es lo suficientemente preciso para este fin. El método de pretratamiento y análisis que se va a utilizar debería probarse utilizando un material de referencia certificado para demostrar la precisión y la exactitud. También es importante que el método sea adecuado para la determinación de bajas concentraciones medidas en el aire ambiente. Los elementos más importantes medidos son el As, el Cd, el Pb y el Ni, debido a sus posibles efectos adversos para la salud. Especialmente en el caso del As, hubo algunas concentraciones diarias más altas que no fueron reconocidas por el análisis de SGS.

5. REFERENCIAS

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> (SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, benceno, plomo en PM₁₀, COV, composición química de PM_{2.5})

Directiva 2015/1480/UE, de 28 de agosto de 2015, por la que se modifican varios anexos de las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por las que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj> D

EN 12341:2014 Calidad del aire – Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica PM₁₀ o PM_{2,5} del material particulado en suspensión.

EN 16450:2017 Aire ambiente – Sistemas automáticos de medida para la medición de la concentración de material particulado (PM₁₀; PM_{2.5})

EN 12341:1998 Calidad del aire. Determinación de la fracción de PM₁₀ del material particulado en suspensión. Método de referencia y procedimiento de prueba de campo para demostrar la equivalencia de referencia de los métodos de medición.

EN 14907:2005 Calidad del aire ambiente. Método de medición gravimétrica estándar para la determinación de la fracción de masa PM_{2.5} de materia particulada en suspensión.

Guide to the Demonstration of Equivalence of ambient air monitoring methods, report by an EC Working Group, January 2010 <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>, consultado el 8.12.2020.

Walden, J. et al., 2017. Demonstration of the Equivalence of PM_{2,5} and PM₁₀ Measurement Methods in Kuopio 2014-2015. Instituto Meteorológico de Finlandia, http://expo.fmi.fi/aqes/public/PM_Equivalence_report_Kuopio_2017.pdf, consultado del 8.12.2020.

Waldén, J. and Vestenius, M., 2018, Verification of PM-analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM reference method. Instituto Meteorológico de Finlandia, URI:<http://hdl.handle.net/10138/284196>, consultado el 8.12.2020.

6. Anexos

Anexo I: Resultados del análisis de pesajes pre y post muestreo en formato Excel.

Anexo II: Resultados del análisis químico efectuado a un set de filtros de MP₁₀ para Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe, Zn, V.

Anexo III: Presentación sesión entrenamiento y análisis de resultados y recomendaciones dada por el FMI al MMA en temáticas de intercomparación.