



Superintendencia del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

**INFORME TÉCNICO
CUMPLIMIENTO DE NORMA DE CALIDAD DEL AIRE POR
MP10 Y MP2,5**

**RED DE CALIDAD DEL AIRE DE CALAMA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

SECCIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y EMISIONES ATMOSFÉRICAS

DIVISIÓN DE FISCALIZACIÓN

**DFZ-2024-211-II-NC
MAYO 2024**

	Nombre	Firma
Aprobado	Juan Pablo Rodríguez	
Revisado	Isabel Leiva Campos	
Elaborado	Karin Salazar N.	



TABLA DE CONTENIDOS

<i>Tema</i>	<i>Página</i>
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. OBJETIVOS.....	6
4. ALCANCE.....	6
5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS.....	7
5.1. Estaciones declaradas como EMRP-MP10 y EMRP-MP2,5.....	7
5.2. Descripción de instrumentos de medición Red de Calama.....	9
5.3. Auditoría de datos.....	9
6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA NORMA.....	13
6.1. Evaluación de la norma para MP10.....	13
6.1.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP10.....	13
6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP10.....	14
6.2. Evaluación de la norma para MP2,5.....	16
6.2.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP2,5.....	16
6.2.2. Evaluación de la norma anual para MP2,5.....	17
7. CONCLUSIONES.....	19
8. ANEXOS.....	21



1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento da cuenta de la evaluación del cumplimiento de las normas de calidad del aire para material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5, contenidas en el D.S. N° 12/2022 y D.S. N° 12/2011, ambos del Ministerio del Medio Ambiente. Cabe señalar que, el presente informe de fiscalización incluye a nivel informativo la evaluación de los datos de MP2,5, a pesar de que la zona no presenta superaciones de la norma y tampoco el contaminante se encuentra incluido en el Decreto Supremo N° 57/2009, del MINSEGPRES.

Lo anterior de acuerdo con lo establecido en el Artículo 16° del párrafo II, de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente: “Corresponderá a la Superintendencia del Medio Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las normas de calidad y normas de emisión de cada región, incluida la Metropolitana.”

La actividad de fiscalización de la norma primaria de calidad del aire corresponde a un examen de información para MP10 y MP2,5, donde se consideró los datos auditados en los informes DFZ-2022-1307-II-NC y DFZ-2023-188-II-NC, los cuales incluyen el análisis de la norma de calidad del aire para el contaminante MP10 y MP2,5 para los años 2021 y 2022, respectivamente; utilizando los datos validados proporcionados por el titular CODELCO. A dichos datos se realizó una auditoría para la validación de los datos enviados por el titular, correspondientes a los datos registrados el año 2023 para MP10 y MP2,5, de las estaciones de monitoreo calificadas como de representatividad poblacional (EMRP) para MP10 y MP2,5. Las 4 estaciones declaradas como EMRP por MP10 y MP2,5, corresponden a: Hospital El Cobre, Colegio Pedro Vergara Keller (en adelante CPVK), Club Deportivo 23 de Marzo (en adelante CD 23 de Marzo) y Centro.

Cabe señalar que mediante Decreto Supremo N° 57, del 20 de abril de 2009, del Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia, la comuna de Calama fue declarada zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración anual.

Posteriormente, mediante Decreto Supremo N°5 de fecha 29 de enero de 2021, del Ministerio de Medio Ambiente, se estableció el Plan de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Calama y su zona circundante. Se debe señalar que, el 7 de junio de 2023 el tribunal ambiental ordeno al MMA anular el Plan Descontaminación Atmosférico para la Ciudad de Calama y su Área Circundante. El órgano jurisdiccional también estableció que se debe realizar un nuevo estudio con los datos de las estaciones de monitoreo que representen correctamente a la totalidad de la población de Calama y que se disponga de las medidas necesarias que atiendan a mejorar su realidad atmosférica.

El análisis de datos de MP10 y MP2,5, se realizó con las mediciones correspondientes al periodo comprendido entre el 1° de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2023, periodo durante el cual, las mediciones de las estaciones de monitoreo se realizaron utilizando instrumentos de medición con aprobación EPA.



Para la auditoría de los datos se consideraron los criterios establecidos en la norma primaria de calidad del aire para MP10 y MP2,5, y además se consideraron las pautas del Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos, D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, de Ministerio de Salud. Para el cálculo del promedio diario en equipos de tipo gravimétrico, en el caso del MP10 y MP2,5, se utilizó como criterio lo dispuesto en el decreto antes mencionado, que establece el cálculo diario sobre la base de 18 horas continuas de medición.

Norma de calidad del aire para MP10

La evaluación de la norma de 24 horas de MP10, y que fija como límite un valor de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (dicho límite rige desde el año 2022), se determinó mediante el análisis y el cálculo del percentil 98, que la norma de 24 horas no fue superada y las concentraciones obtenidas estuvieron por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas para los años 2022 y 2023. Cabe señalar que, para el año 2022 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CPVK, 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CD 23 de Marzo, 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Centro y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Hospital El Cobre. Por otra parte, para en el año 2023 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CPVK, 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CD 23 de Marzo, 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Centro y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Hospital El Cobre.

Respecto de la norma anual de MP10 que establece como límite una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, mediante el cálculo del promedio trianual (2021, 2022 y 2023), se determinó que la norma anual fue superada en la estación Club Deportivo 23 de Marzo con una concentración de 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, equivalente al 106% del límite de la norma anual. Por otra parte, se observa un porcentaje superior al 80% del límite de la norma anual en la estación CPVK, con una concentración como promedio trianual de 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, correspondiente a un 98%, del límite de la norma anual. En el resto de las estaciones las concentraciones obtenidas se encontraron por debajo del 80% del límite de la norma anual.

Norma primaria de calidad del aire para MP2,5

El análisis de la norma de MP2,5 de 24 horas, que establece como límite una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concluyó que los valores correspondientes al percentil 98 de las concentraciones 24 horas en todas las estaciones no superaron el límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los años 2021, 2022 y 2023. Cabe señalar que, para el año 2023 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Hospital El Cobre, 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación CPVK, 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación CD 23 de Marzo y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación Centro, las concentraciones obtenidas en todas las estaciones se encontraron por debajo del 32% del límite de la norma de 24 horas.

En relación con la evaluación de la norma anual para MP2,5, mediante el cálculo del promedio trianual de las concentraciones, entre el año 2021 y el año 2023, se concluyó que la norma no fue



superada en las estaciones de la Red de Calama, respecto del límite establecido de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones obtenidas como promedio anual fueron de: $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación Hospital El Cobre y estación Centro, y $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las estaciones de CPVK y CD 23 de Marzo.



2. INTRODUCCIÓN

Considerando lo establecido en el artículo 16°, del Título II de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, corresponderá a esta Superintendencia fiscalizar el cumplimiento de las normas de calidad. Para lo anterior, la Superintendencia realizó una auditoría y análisis de los datos remitidos para los años 2021, 2022 y 2023, con el fin de obtener información válida que permita evaluar la norma primaria de calidad del aire de MP10 y MP2,5. Cabe señalar que los informes DFZ-2022-1307-II-NC y DFZ-2023-188-II-NC, incluyen el análisis de la norma de calidad del aire para MP10 y MP2,5 para los años 2021 y 2022 respectivamente, emitidos por la Superintendencia del Medio Ambiente, conteniendo la auditoría y validación de los datos generados durante esos años para dichos contaminantes.

La actividad de fiscalización de la norma primaria de calidad del aire para MP10 y MP2,5 se enmarca en el programa de fiscalización de normas de calidad ambiental de la SMA para el año 2024.

Cabe señalar que, la Superintendencia del Medio Ambiente durante el mes de mayo de 2018 realizó inspecciones a las estaciones de monitoreo de la Red de Calama, con el objeto de evaluar o reevaluar la representatividad poblacional de dichas estaciones para los contaminantes MP10 y MP2,5. La evaluación de la red concluyó que cuatro de las seis estaciones evaluadas cumplían con los criterios establecidos en las normas primarias de MP10 y MP2,5; D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y el D.S. N° 12/2011 del MMA, respectivamente y con los criterios establecidos en la R.E. N° 744/2017 SMA para MP10 y con aquellos establecidos en la R.E. N° 106/2013 SMA para MP2,5. Las estaciones que fueron calificadas como EMRP por MP10 y EMRP por MP2,5 corresponden a: Hospital El Cobre, Colegio Pedro Vergara Keller (CPVK en adelante), Club Deportivo 23 de Marzo y Centro.

Por lo expuesto anteriormente, se realizó un análisis de la validez de las mediciones de MP10 y MP2,5 para el periodo comprendido entre el año 2021 y el año 2023, y cuyos antecedentes fueron solicitados mediante las Resoluciones Exenta N°925/2015 y N°819/2017, ambas de la SMA. La información solicitada fue remitida por el titular para estaciones de: Hospital El Cobre, CPVK, CD 23 de Marzo y Centro, las que cuentan con calificación de representatividad poblacional (EMRP en adelante) por MP10 y MP2,5.

Para el proceso de auditoría y análisis de los datos se consideró la verificación del cumplimiento normativo de las normas primarias de MP10 y MP2,5 y el cumplimiento de las exigencias del D.S. N° 61/2008, modificado por D.S. N°30/2009, del Ministerio de Salud.

Estos antecedentes permitirán al Ministerio del Medio Ambiente activar los instrumentos de política pública que correspondan, de acuerdo con lo establecido en la Resolución Exenta N°503 de 2 de junio de 2021, del Subsecretario del Medio Ambiente, complementa circular N°0001, de 2005, de la comisión nacional del medio ambiente, que instruye sobre procedimiento para la declaración,



modificación y derogación de zonas saturadas o latentes de carácter atmosférico, y deja sin efecto la resolución exento N°302, de 2011, y N°1121, de 2020, ambas del Ministerio del Medio Ambiente.

3. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente actividad consistió en evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire primaria para MP10 y MP2,5, en su nivel diario y anual, según corresponda, considerando el período de información comprendido entre el 1° de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2023, en las estaciones que cuentan con representatividad poblacional para material particulado por MP10 y MP2,5.

Por lo anterior, se determinó la validez de las mediciones de MP10 y MP2,5 realizadas por la Red de vigilancia de calidad del aire de Calama, en base a una auditoría de los datos del año 2023, para los años 2021 y 2022 se utilizaron los datos validos de los informes DFZ-2022-1307-II-NC y DFZ-2023-188-II-NC.

4. ALCANCE

Los datos validados por esta Superintendencia en el presente informe corresponden a los registros de MP10 y MP2,5 de la Red de monitoreo de Calama, para el periodo comprendido entre el 1° de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2023.

Las estaciones utilizadas para la evaluación de datos de MP10 y MP2,5, que cumplen con ser estaciones con EMRP para MP10 y MP2,5 son: Hospital El Cobre, CPVK, CD 23 de Marzo y Centro.

El presente informe técnico evaluó el cumplimiento de las normas primarias de calidad vigentes para el periodo evaluado entre el 1° de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2023. A continuación, en la Tabla 1 se muestran los valores límite a nivel diario y anual, por contaminante y cuerpo normativo:

Tabla 1 Normas de calidad del aire vigente a nivel horario, diario y anual

Norma	Contaminante	Límite Concentración Horaria	Límite Concentración 24 horas	Límite Concentración Anual
D.S. N° 12/2022, del Ministerio del Medio Ambiente.	MP10	No aplica	130 µg/m ³ N	50 µg/m ³ N
D.S. N° 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.	MP2,5	No aplica	50 µg/m ³	20 µg/m ³



5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS

La información de las mediciones para los años 2021, 2022 y 2023, fue remitida por el titular responsable de la Red de Calama, los antecedentes fueron solicitados mediante las Resoluciones Exenta N°925/2015 y N° 819/2017 de la SMA. La información de calidad del aire recepcionada corresponde a los datos crudos (diario), datos validados (diario) y sus respectivos códigos de invalidación. Adicionalmente, el titular remitió las calibraciones y mantenciones realizadas a los instrumentos de medición durante el periodo de evaluación del presente informe. Cabe señalar que, la información enviada se reportó de acuerdo con el formato establecido por la SMA, el cual incluye los códigos de invalidación establecidos en el D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, del MINSAL.

Los datos evaluados de MP10 y MP2,5, corresponden a las mediciones realizadas en las estaciones declaradas con representatividad poblacional para material particulado, indicadas a continuación en el punto 5.1 de este documento.

5.1. Estaciones declaradas como EMRP-MP10 y EMRP-MP2,5

En la Tabla 2 se describen las estaciones de la Red de Calama, y sus respectivas resoluciones que las califican como estación de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP) para material particulado MP10 y MP2,5.

Tabla 2 Estaciones declaradas como EMRP-MP10 y EMRP-MP2,5

Estación de Monitoreo	Resolución que otorga EMRP para MP10	Resolución que otorga EMRP para MP2,5
Hospital El Cobre	R.E. N° 969 del 8 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 968 del 8 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente
CPVK	R.E. N° 915 del 1 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 914 del 1 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente
CD 23 de Marzo	R.E. N° 930 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 928 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente
Centro	R.E. N° 929 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 931 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente

Por su parte, en la Tabla 3 se describe la ubicación de las estaciones de la Red de Calama, cuya representación gráfica se ilustra en la Figura 1.



Tabla 3 Ubicación de las estaciones de la Red de Calama

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (m)	
	Datum WGS84, Huso 19 S*	
Hospital El Cobre	509.239 E	7.516.917 N
Colegio Pedro Vergara Keller	506.893 E	7.518.227 N
Club Deportivo 23 de Marzo	506.399 E	7.516.241 N
Centro	507.389 E	7.516.053 N

*Referencia de las resoluciones EMRP.

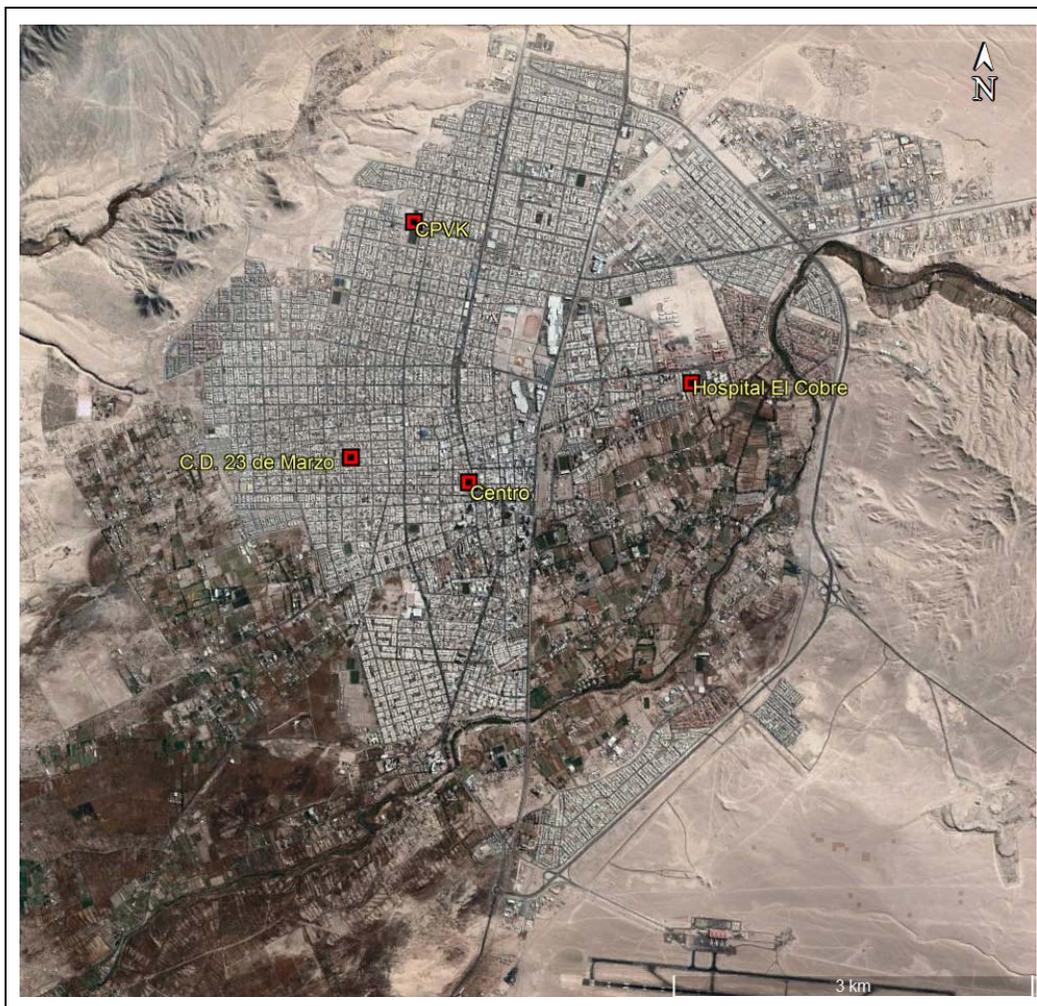


Figura 1 Ubicación de estaciones de calidad del aire de la Red de Calama



5.2. Descripción de instrumentos de medición Red de Calama

De acuerdo con los antecedentes entregados por el titular de la Red de Calama para los años 2021, 2022 y 2023, los instrumentos de medición utilizados para el monitoreo de MP10 y MP2,5 en las estaciones evaluadas, cumplen con el requisito de emplear equipos con aprobación USEPA, establecido en la norma primaria. A continuación, en la Tabla 4 se describen los instrumentos y métodos de medición de MP10 y MP2,5, utilizados en las estaciones de calidad del aire analizadas, durante el año 2023.

Tabla 4 Listado de estaciones, instrumento y método de medición

Estación de Monitoreo	Parámetro	Método de Medición	Marca/Modelo	Método de Referencia o Equivalente EPA
Hospital El Cobre	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
Hospital El Cobre	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	BGI / PQ200	EQPM-0202-142
Colegio Pedro Vergara Keller	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Thermo Scientific / HIVOL GUY15H1	RFPS-1287-063
Colegio Pedro Vergara Keller	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	BGI / PQ200	RFPS-0498-116
Club Deportivo 23 de Marzo	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Thermo Scientific / HIVOL GUY15H1	RFPS-1287-063
Club Deportivo 23 de Marzo	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	BGI / PQ200	RFPS-0498-116
Centro	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Thermo Scientific / HIVOL GUY15H1	RFPS-1287-063
Centro	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	Thermo Scientific / Partisol 2000i	RFPS-0694-098

5.3. Auditoría de datos

Los datos de MP10 y MP2,5 para los años 2021, 2022 y 2023, validados previamente por el titular, fueron sometidos a una revisión usando como criterio lo establecido en la norma primaria de ambos contaminantes. Además, se evaluó el comportamiento de los datos para el periodo en estudio, a través de gráficas de series de tiempo para cada una de las estaciones.

La auditoría de los datos consideró una revisión de los códigos de invalidación de datos reportados para el contaminante MP10 y MP2,5, de las estaciones correspondientes a: Hospital El Cobre, CPVK, CD 23 de Marzo y Centro. Para el caso de los datos diarios de MP10 y MP2,5, medidos con equipos de tipo discreto, se evaluó el número de días sin datos o datos inválidos. De este análisis se presentó el siguiente porcentaje de datos inválidos (ver Tabla 5)



Tabla 5. Porcentaje de datos inválidos diarios por contaminante, para el periodo de 2021 al 2023

Estación	2021		2022		2023	
	MP10 % Diario	MP2,5 % Diario	MP10 % Diario	MP2,5 % Diario	MP10 % Diario	MP2,5 % Diario
Hospital El Cobre	2	3	1	2	2	1
Colegio Pedro Vergara Keller	1	0	20	11	2	6
Club Deportivo 23 de Marzo	6	2	19	1	2	2
Centro	1	4	2	0	1	1

En relación con el alto porcentaje de datos inválidos para MP10 en las estaciones CPVK y CD 23 de Marzo, el titular responsable de las estaciones, mediante la carta GS-DN N°249¹, del 20 de julio de 2022, indico que los meses de mayo y junio se invalidaron los datos debido a las bajas concentraciones observadas, las cuales no tienen relación con las concentraciones históricas de las estaciones CPVK y CD 23 de marzo. Con respecto al contaminante MP2,5 (discreto) presento un alto porcentaje de datos inválidos en la estación CPVK para el mes de mayo del año 2022, esto de acuerdo con lo informado por el titular, a través de la carta GS-DN N°208², del 15 de junio de 2022, el cual indica que el muestreador partisol (Modelo 2025i-D/serie 202DI2_01101209) instalado en la estación CPVK presentó problemas de funcionamiento y debió ser reemplazado por dos muestreadores correspondiente a: un muestreador para MP10; marca TISCH, modelo TE-Wilbur y número de serie 517; y un muestreador para MP 2.5, marca TISCH, modelo TE-Wilbur y número de serie 520.

Mediante el análisis estadístico se determinó la cantidad de datos disponible para el cálculo de los promedios diarios respecto de los contaminantes. La construcción de los promedios diarios (24 horas) se realizó en base a la disponibilidad de datos horarios por día, considerando como mínimo el 75% de datos efectivamente medidos de acuerdo con lo descrito en el D.S. N° 61/2008, modificado por D.S N° 30/2009 de MINSAL. Para los datos obtenidos de equipos gravimétricos se consideró la cantidad de horas de funcionamiento del equipo de MP2,5 y del equipo de alto volumen, MP10, con un mínimo de 18 horas continuas de medición.

En las tablas siguientes, se resumen los días y porcentaje de datos válidos por año de cada estación para los contaminantes MP10 y MP2,5. Se puede observar un porcentaje de datos válidos superior al 75% para los contaminantes de MP10 y MP2,5, en las estaciones de la Red en análisis para los años 2021, 2022 y 2023.

^{1 y 2} Ver expediente DFZ-2023-188-II-NC



El resumen de datos disponibles permite concluir que se dispone de la información suficiente para realizar un análisis estadístico, aplicando los criterios especificados en la norma primaria de calidad del aire.

Tabla 6. Estación Hospital El Cobre, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2021, 2022 y 2023)

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos (%)
Hospital El Cobre	2021	119	97	120	98
	2022	120	98	121	99
	2023	122	99	121	98

Tabla 7. Estación Colegio Pedro Vergara Keller, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2021, 2022 y 2023)

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos (%)
Colegio Pedro Vergara Keller	2021	122	100	121	99
	2022	110	89	99	80
	2023	116	94	120	98

Tabla 8. Estación Club Deportivo 23 de Marzo, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2021, 2022 y 2023)

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos MP10 (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos MP10 (%)
Club Deportivo 23 de Marzo	2021	120	98	116	94
	2022	123	99	100	81
	2023	121	98	121	98

Tabla 9. Estación Centro, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2021, 2022 y 2023)

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos MP10 (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos MP10 (%)
Centro	2021	117	96	121	99
	2022	122	100	120	98
	2023	121	99	121	99

Para efectos de la evaluación anual de las normas respectivas, a continuación, en la Tabla 10 se resume el porcentaje de datos disponibles a nivel mensual, de las estaciones de la red de Calama, observándose una disponibilidad superior al 75% en los datos mensuales el año 2023 para MP10. Respecto al año 2022 se observa una disponibilidad superior al 75% en la mayoría de los datos mensuales, exceptuándose la estación CPVK y la estación CD 23 de Marzo en los meses de mayo y junio de 2022, donde presentaron un 0% en ambos meses. En el año 2021, la estación CD 23 de



Marzo tiene un 40% de datos disponibles en el mes de diciembre de 2021. Dado que el porcentaje de dato es menor al requerido en la norma, estos meses no fueron considerados para el cálculo de la concentración anual.

Tabla 10 Porcentaje de datos válidos de MP10 mensuales por estación para los años 2021, 2022 y 2023

MESES (%)													
Red Calama													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Hospital El Cobre	2021	100	100	100	100	91	100	100	100	100	91	100	100
	2022	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	90	100	100	91	100	100	100	100
CPVK	2021	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	80	100	0	0	100	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82
CD 23 de Marzo	2021	100	100	100	100	100	100	91	100	100	100	100	40
	2022	100	89	100	100	0	0	100	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	100	100	91	100	100	100	83
Centro	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	90	82	90	90
	2022	91	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100

Para efectos de la evaluación anual de las normas respectivas, a continuación, en la Tabla 11 se resume el porcentaje de datos disponibles a nivel mensual, de las estaciones de la red de Calama, observándose una disponibilidad superior al 75% en la mayoría de los datos mensuales para el contaminante MP2,5, exceptuándose la estación CPVK en mayo de 2022, donde presentó un 0% por lo que este dato no fue considerado para el cálculo de la concentración anual. Respecto al año 2023 se observa una disponibilidad superior al 75% en los datos mensuales para el contaminante MP2,5.

Tabla 11 Porcentaje de datos válidos de MP2,5 mensuales por estación para los años 2021, 2022 y 2023

MESES (%)													
Red Calama													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Hospital El Cobre	2021	100	100	100	90	91	91	100	100	100	100	100	90
	2022	100	89	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	100	100	91	100	100	100	100
CPVK	2021	100	100	100	100	100	91	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	80	100	0	100	100	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	90	100	82	90	100	90	82
CD 23 de Marzo	2021	91	100	90	100	100	91	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	100	100	91	100	100	100	91
Centro	2021	91	100	100	100	100	91	90	100	80	100	100	90
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2023	100	100	100	100	100	100	100	91	100	90	100	91



6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA NORMA

6.1. Evaluación de la norma para MP10

6.1.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP10

El periodo de evaluación de la norma para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2023. En la Tabla 12, se presenta un resumen de los valores calculados del percentil 98 de la concentración 24 horas de la norma de MP10, para los años 2021, 2022 y 2023, de las estaciones de monitoreo de la Red.

Cabe señalar que, de acuerdo con los límites establecido en el D.S. N° 12/2022, del Ministerio del Medio Ambiente, la norma de calidad del aire para material particulado respirable (MP10), se considerará sobrepasada en las siguientes condiciones:

- a) Cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRPMP10, sea mayor o igual a $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.
- b) Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluya un año calendario, el número de días con mediciones sobre el valor de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, sea mayor que siete.

Cabe resaltar que el nuevo límite establecido en la norma es aplicable a partir del año 2022, y para el periodo anterior se encontraba vigente la norma de MP10, D.S. 59/1998, del MINSEGPRES.

Tabla 12 Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10, para los años 2021, 2022 y 2023

Estación	Percentil 98 Año 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas 2021 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Percentil 98 Año 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas 2022 130 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Percentil 98 Año 2023 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas 2023 130 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Hospital El Cobre	53	35	55	42	50	38
Colegio Pedro Vergara Keller	67	45	81	62	94	72
Club Deportivo 23 de Marzo	81	54	78	60	77	59
Centro	57	38	59	45	60	46

De acuerdo con el análisis efectuado y la determinación del percentil 98, se determinó que el valor de la norma diaria de MP10 al compararlo con el límite de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red de Calama para los años 2022 y 2023, y las concentraciones obtenidas estuvieron muy por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas. Cabe señalar que, las concentraciones obtenidas mediante el percentil 98 en el año 2022, correspondieron a: $81 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$



en la estación CPVK, 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CD 23 de Marzo, 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Centro y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Hospital El Cobre, correspondientes en porcentaje y respecto del límite de la norma de 24 horas a: 62%, 60%, 45% y 42%, respectivamente. Respecto a las concentraciones obtenidas mediante el percentil 98 en el año 2023, correspondieron a: 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CPVK, 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CD 23 de Marzo, 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Centro y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Hospital El Cobre, correspondientes en porcentaje y respecto del límite de la norma de 24 horas a: 72%, 59%, 46% y 38%, respectivamente.

El Gráfico 1 muestra los valores obtenidos del cálculo del percentil 98 de las concentraciones diarias para el contaminante MP10, por estación para los años 2022 y 2023.

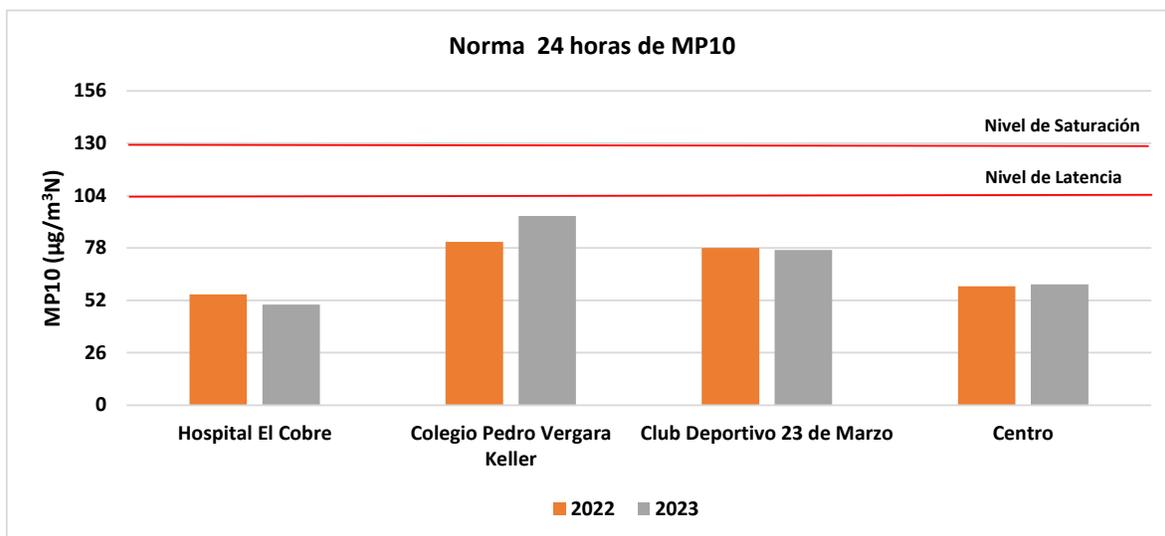


Gráfico 1 Norma 24 horas para MP10, para años 2022-2023

6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP10

El periodo de evaluación de la norma para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2023. En la Tabla 13, se presenta un resumen de los valores obtenidos, a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2021, 2022 y 2023, para las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo con los límites establecido en el D.S. N° 12/2022, del Ministerio del Medio Ambiente, la norma primaria anual de calidad del aire para material particulado respirable MP10, se considerará sobrepasada, cuando el promedio aritmético de tres años calendarios consecutivos, en cualquier estación monitorea calificada como EMRP, sea mayor o igual que 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.



Tabla 13 Concentración promedio trianual y porcentaje de la norma anual MP10

Estación	Promedio Anual 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio Anual 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio Anual 2023 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio Trianual (2021-2022-2023) ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma Anual 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Hospital El Cobre	30	30	33	31	62
Colegio Pedro Vergara Keller	42	49	55	49	98
Club Deportivo 23 de Marzo	49	56	55	53	106
Centro	35	37	41	38	76

El promedio trianual (2021, 2022 y 2023), expresado en porcentaje muestra que la estación Club Deportivo 23 de Marzo supera la norma de MP10 con un porcentaje de 106%, correspondiente a una concentración de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, por otra parte se observa un porcentaje superior al 80% del límite de la norma anual en la estación CPVK, con una concentración como promedio trianual de $49 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, correspondiente a un 98%, del límite de la norma anual. En el resto de las estaciones las concentraciones obtenidas se encontraron por debajo del 80% del límite de la norma anual.

Complementariamente, en el Gráfico 2, se pueden observar las concentraciones correspondientes al promedio aritmético de tres años calendario consecutivo, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2023.

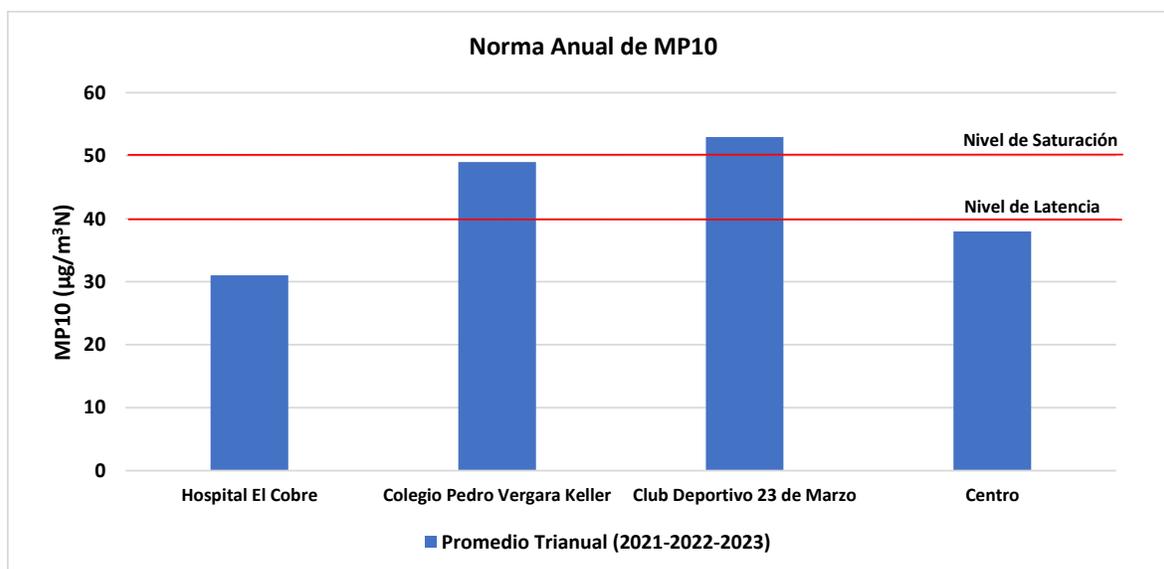


Gráfico 2 Norma Anual para MP10, Promedio trianual periodo 2021 al 2023



6.2. Evaluación de la norma para MP2,5

6.2.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP2,5

El periodo de evaluación la norma para MP2,5, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2023. En la Tabla 14, se presenta un resumen de los valores calculados del percentil 98 de la concentración 24 horas de la norma de MP2,5, para los años 2021, 2022 y 2023, de las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo con el límite establecido en el D.S. N° 12/2011 del MMA, se considerará sobrepasada la norma para MP2,5 cuando el percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año, sea mayor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cualquier estación monitora calificada como EMRPMP2,5.

Tabla 14 Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP2,5 para los años 2021, 2022 y 2023

Estación	Percentil 98 Año 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma 24 horas 2021 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentil 98 Año 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma 24 horas 2022 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentil 98 Año 2023 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma 24 horas 2023 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Hospital El Cobre	20	40	22	44	14	28
Colegio Pedro Vergara Keller	18	36	20	40	16	32
Club Deportivo 23 de Marzo	17	34	19	38	14	28
Centro	15	30	15	30	15	30

De acuerdo con el análisis efectuado y la determinación del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas para los años 2021, 2022 y 2023, se determinó que el valor de la norma de 24 horas para MP2,5 correspondiente a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red de Calama para el periodo en estudio y las concentraciones obtenidas estuvieron muy por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas. Cabe señalar que, para el año 2023 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Hospital El Cobre, 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación CPVK, 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación CD 23 de Marzo y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación Centro; por lo tanto las concentraciones obtenidas en todas las estaciones se encontraron por debajo del 32% del límite de la norma de 24 horas.

El Gráfico 3 muestra los valores obtenidos del cálculo del percentil 98 de las concentraciones diarias para el contaminante MP2,5, por estación, para los años 2021, 2022 y 2023.



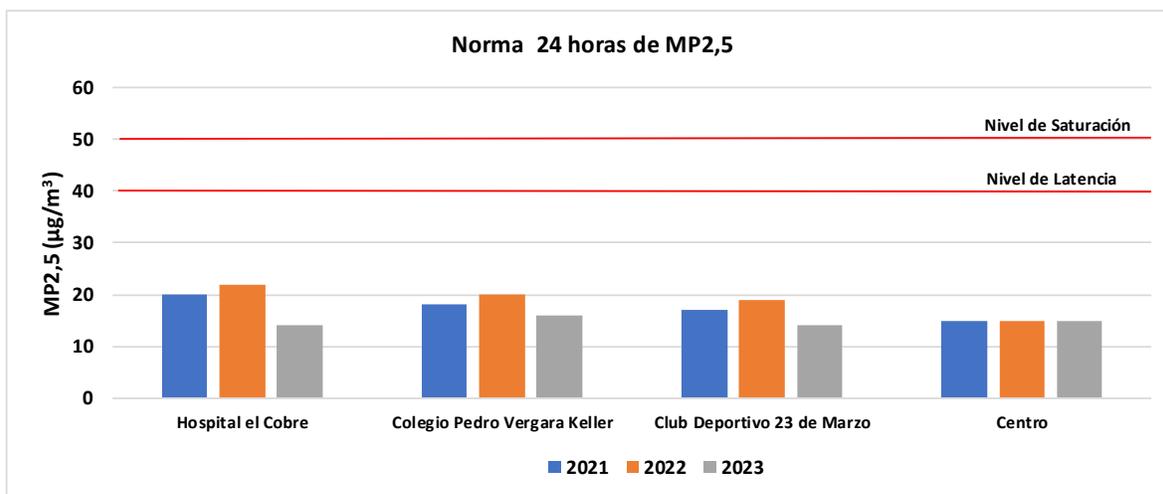


Gráfico 3 Norma 24 horas para MP2.5 por año

6.2.2. Evaluación de la norma anual para MP2,5

El periodo de evaluación de la norma para MP2,5, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2023. En la Tabla 15, se presenta un resumen de los valores obtenidos, a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2021, 2022 y 2023, para las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo con los límites establecidos en el D.S. N°12/2011 del MMA, la norma para MP2,5 se considerará sobrepasada cuando el promedio trianual de las concentraciones anuales sea mayor a 20 µg/m³, en cualquier estación monitorea calificada como EMRPMP2,5. Cabe señalar que la norma anual para MP2,5 requiere determinar el promedio aritmético de 3 años calendario consecutivos de las concentraciones anuales.

Tabla 15 Concentración promedio trianual y porcentaje de la norma anual MP2,5

Estación	Promedio Anual 2021 (µg/m ³)	Promedio Anual 2022 (µg/m ³)	Promedio Anual 2023 (µg/m ³)	Promedio Trianual (2021-2022-2023) (µg/m ³)	% de la Norma Anual 20 (µg/m ³)
Hospital El Cobre	10	9	9	9	45
Colegio Pedro Vergara Keller	10	12	12	11	55
Club Deportivo 23 de Marzo	10	11	11	11	55
Centro	9	9	10	9	45

El promedio trianual (2021, 2022 y 2023), expresado en porcentaje muestra que en las estaciones de la Red de Calama no superan el límite de la norma anual de MP2,5 establecido en 20 µg/m³, encontrándose por debajo del 80% del límite de la norma anual. Las concentraciones obtenidas



como promedio trianual fueron de: 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación Hospital El Cobre y estación Centro, y 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las estaciones de CPVK y CD 23 de Marzo.

Complementariamente, en el Gráfico 4, se pueden observar las concentraciones correspondientes al promedio aritmético de tres años calendario consecutivo, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2023.

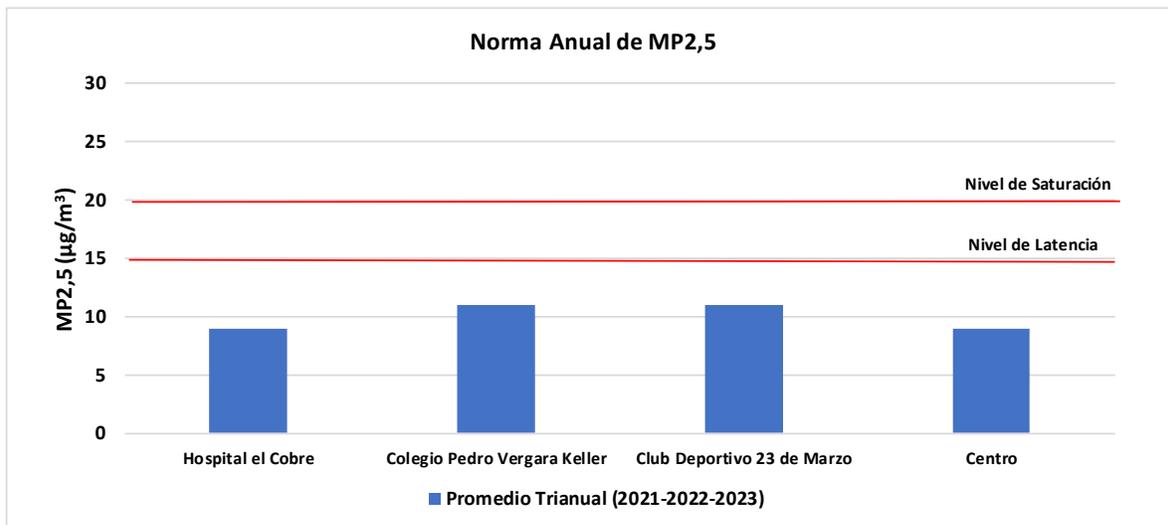


Gráfico 4 Norma Anual para MP2,5, Promedio trianual periodo 2021 al 2023



7. CONCLUSIONES

La revisión de la norma primaria de calidad del aire para el contaminante MP10 y MP2,5, se realizó en base al periodo comprendido entre el 1° de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2023, considerándose válida la información generada de las mediciones de MP10 y MP2,5, de las 4 estaciones de la Red Calama: Hospital El Cobre, Colegio Pedro Vergara Keller, Club Deportivo 23 de Marzo y Centro. Para verificar el cumplimiento de las normas se tomó en cuenta la representatividad poblacional para material particulado (MP10 y MP2,5), el empleo de instrumentos de medición de contaminantes atmosféricos con aprobación USEPA y la constatación por parte de la SMA de la correcta validación de los datos por parte del titular para los años 2021, 2022 y 2023.

Norma de calidad del aire para MP10

La evaluación de la norma de 24 horas de MP10, y que fija como límite un valor de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (dicho límite rige desde el año 2022), se determinó mediante el análisis y el cálculo del percentil 98, que la norma de 24 horas no fue superada y las concentraciones obtenidas estuvieron por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas para los años 2022 y 2023. Cabe señalar que, para el año 2022 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CPVK, 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CD 23 de Marzo, 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Centro y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Hospital El Cobre. Por otra parte, para en el año 2023 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CPVK, 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación CD 23 de Marzo, 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Centro y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Hospital El Cobre.

Respecto de la norma anual de MP10 que establece como límite una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, mediante el cálculo del promedio trianual (2021, 2022 y 2023), se determinó que la norma anual fue superada en la estación Club Deportivo 23 de Marzo con una concentración de 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, equivalente al 106% del límite de la norma anual. Por otra parte, se observa un porcentaje superior al 80% del límite de la norma anual en la estación CPVK, con una concentración como promedio trianual de 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, correspondiente a un 98%, del límite de la norma anual. En el resto de las estaciones las concentraciones obtenidas se encontraron por debajo del 80% del límite de la norma anual.

Norma primaria de calidad del aire para MP2,5

El análisis de la norma de MP2,5 de 24 horas, que establece como límite una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concluyó que los valores correspondientes al percentil 98 de las concentraciones diarias en todas las estaciones no superaron el límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los años 2021, 2022 y 2023. Cabe señalar que, para el año 2023 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Hospital El Cobre, 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación CPVK,



14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación CD 23 de Marzo y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación Centro, las concentraciones obtenidas en todas las estaciones se encontraron por debajo del 32% del límite de la norma de 24 horas.

En relación con la evaluación de la norma anual para MP2,5, mediante el cálculo del promedio trianual de las concentraciones, entre el año 2021 y el año 2023, se concluyó que la norma no fue superada en las estaciones de la Red de Calama, respecto del límite establecido de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones obtenidas como promedio anual fueron de: 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estación Hospital El Cobre y estación Centro, y 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las estaciones de CPVK y CD 23 de Marzo.



8. ANEXOS

N° Anexo	Nombre Anexo
1	- Resoluciones EMRP.
2	- Datos de calidad del aire para MP10 y MP2,5, para el año 2023.

