



Superintendencia del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

**INFORME TÉCNICO
CUMPLIMIENTO DE NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE POR
MP10, PLOMO Y SO₂**

**RED DE CALIDAD DEL AIRE
DE COPIAPÓ Y TIERRA AMARILLA**

DIVISIÓN DE FISCALIZACIÓN

SECCIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y EMISIONES ATMOSFÉRICAS

DFZ-2023-2617-III-NC

DICIEMBRE 2023

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



TABLA DE CONTENIDOS

<i>Tema</i>	<i>Página</i>
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
4. ALCANCE.....	7
5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS.....	8
5.1. Estaciones declaradas como EMRP-MP10, EMRPG y EMRRN.....	9
5.2. Descripción de equipos de medición utilizados en la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.....	11
5.3. Auditoría de datos.....	13
6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA NORMA.....	17
6.1. Evaluación de la norma para MP10.....	17
6.1.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP10.....	17
6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP10.....	18
6.2. Evaluación de la norma plomo (Pb).....	20
6.2.1. Evaluación de la norma anual para Plomo (Pb).....	20
6.3. Evaluación de la norma primaria SO ₂	22
6.3.1. Evaluación de la norma primaria de 1 hora SO ₂	22
6.3.2. Evaluación de la norma primaria de 24 horas SO ₂	24
6.3.3. Evaluación de la norma primaria anual de SO ₂	26
6.4. Evaluación de la norma secundaria para SO ₂	28
6.4.1. Evaluación de la norma secundaria de 1 hora para SO ₂	28
6.4.2. Evaluación de la norma secundaria 24 horas SO ₂	30
6.4.3. Evaluación de la norma secundaria anual de SO ₂	32
7. CONCLUSIONES.....	35
8. ANEXOS.....	38



1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento da cuenta de la evaluación del cumplimiento de las normas de calidad del aire para: MP10, contenida en el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República; norma primaria para SO₂, contenida en el D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente; norma secundaria para SO₂, contenida en el D.S. N° 22/2009 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia y norma de plomo (Pb) contenida en D.S. 136/2001 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia. Lo anterior de acuerdo a 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 las normas de calidad del aire corresponde a un examen de información para MP10, plomo (Pb) y SO₂, donde se consideró los datos auditados en los informes DFZ-2021-379-III-NC y DFZ-2022-701-III-NC, los cuales incluyen el análisis de las normas de calidad del aire para dichos contaminantes para los años 2020 y 2021, respectivamente. Para el año 2022 se realizó una auditoría y validación de los datos proporcionados por los titulares, correspondientes a las estaciones declaradas con representatividad poblacional para MP10 (EMRP), representatividad poblacional para gases (EMRPG) y representatividad para recursos naturales (EMRRN). Las 10 estaciones declaradas como EMRP, EMRPG y/o EMRRN, corresponden a: Copiapó, San Fernando, Paipote, Tierra Amarilla (ENAMI), Pabellón, Los Volcanes, Candelaria, Luis Uribe, Tierra Amarilla (Candelaria) y Sociedad Punta del Cobre (Ojanco).

El análisis de datos de MP10 y SO₂ se realizó con las mediciones del periodo comprendido entre el 1° de enero de 2020 y 31 de diciembre de 2022, periodo en el cual se utilizaron instrumentos de medición con aprobación EPA.

Para la auditoría de los datos horarios se consideraron los criterios establecidos en las normas primaria y secundaria de calidad del aire, que indican que los datos deben ser reportados de acuerdo a lo establecido en el 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, 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. En el caso del SO₂ se utilizó como criterio, para el cálculo del promedio anual, las concentraciones mensuales y para el promedio de 24 horas los promedios horarios, de acuerdo a los criterios establecidos en la norma. Para el contaminante primario Plomo se utilizó como criterio lo descrito en la norma, que establece que se debe contar con al menos un 70% de los filtros de MP10 programados para el mes.



Norma de calidad del aire para MP10

La evaluación de la norma de MP10 de 24 horas, mediante el análisis del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 para los años 2020 y 2021, se determinó superación al límite normativo sólo en estación Paipote, esto referido al límite de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (D.S. 59/1998 de MINSEGPRES). Para el año 2022, también se observó superación al límite de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y al 80% del límite de 24 horas (D.S. N°12/2022 del MMA). Las concentraciones obtenidas en las estaciones, mediante el cálculo del percentil 98, y que superaron el límite normativo en el año 2022 correspondieron a: Paipote con 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (120%) y Tierra Amarilla (Candelaria) con 147 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (113%), por otra parte, se observa superación al 80% del límite normativo en estación Tierra Amarilla (ENAMI) con una concentración de 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (92%).

Para la evaluación de la norma anual, se calculó el promedio trianual de las concentraciones, considerando el valor límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. La evaluación de los datos para el periodo 2020 al 2022, determinó que la norma anual de MP10 fue superada en cinco (5) de las ocho (8) estaciones evaluadas, siendo la estación Tierra Amarilla (Candelaria) la que registró la concentración más alta con 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (120%), en Tierra Amarilla (ENAMI) presentó una concentración de 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (118%), en estación Paipote una concentración de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (114%), en estación Luis Uribe una concentración de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (108%), y por último, en estación Soc. Punta del Cobre con una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (100%). En relación a las estaciones de San Fernando y Kozan, las concentraciones obtenidas a través del promedio trianual superaron el 80% del valor límite de la norma anual, con una concentración de 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (96%) y 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (92%), respectivamente. Y solo la estación de Copiapó no supero el límite de la norma anual ni el 80% del valor límite de la norma anual.

Norma primaria de calidad del aire para Plomo (Pb)

En el análisis de la norma anual de plomo se verificó que, en las estaciones de Copiapó, Paipote, San Fernando y Tierra Amarilla (ENAMI), no superaron el límite normativo y los valores se encontraron muy por debajo del 80% del valor de la norma de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Norma primaria de calidad del aire para SO₂

La evaluación de la norma primaria de 1 hora de SO₂, concluyó que la norma 1 hora, que tiene como límite 134 ppbv no fue superada en ninguna de las estaciones para el período en evaluación (2020 al 2022), y tampoco se superó el 80% del límite de la norma. La concentración más alta como promedio trianual se presentó en Paipote con un valor de 44,35 ppbv, equivalente al 33% del valor límite de la norma de 1 hora.

La evaluación de la norma primaria de SO₂ de 24 horas concluyó que, el límite de 57 ppbv, no fue superado en las estaciones evaluadas para el período de 2020 al 2022, y solo se observó que en



estación Paipote el valor obtenido, mediante el promedio trianual del percentil 99, fue de 28,19 ppbv, equivalente al 49% del valor límite de la norma de 24 horas.

Respecto de la norma anual, se determinó que no fue superada en ninguna de las estaciones para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022, y los valores se encontraron por debajo del 80% y del valor límite de la norma anual de 23 ppbv. Cabe señalar que, la concentración más alta fue en estación Paipote con un valor de 4,83 ppbv, equivalente al 21% del valor límite de la norma anual.

Norma secundaria de calidad del aire para SO₂

La evaluación del cumplimiento de la norma secundaria 1 hora, que establece un límite de 382 ppbv, mediante el cálculo del promedio trianual del percentil 99,73, para el periodo comprendido entre el año 2020 y 2022; se constató que de las dos estaciones que cuentan con EMRRN, solo fue posible evaluar norma en la estación Tierra Amarilla (ENAMI). El resultado obtenido para la estación Tierra Amarilla (ENAMI) determinó que la concentración fue de 89,61 ppbv (23%), valor por debajo del 80% del límite de 382 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración mediante el percentil 99,73 para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del límite de 764 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria horaria no fue superada en la estación en estudio.

La evaluación de la norma secundaria de 24 horas (140 ppbv), mediante el promedio aritmético de tres años calendarios sucesivos, determinó que en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 22,63 ppbv (16%), valor por debajo del 80% del límite de 140 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración mediante el percentil 99,7 para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del valor límite de 280 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria 24 horas no fue superada en la estación en estudio.

Por último, para la norma anual secundaria (31 ppbv), determinó mediante el cálculo del promedio trianual, que en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 4,47 ppbv (14%), valor por debajo del 80% del límite de 31 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración anual para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del límite de 62 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria anual no fue superada en la estación en estudio.



2. INTRODUCCIÓN

A través del D.S. N° 185 de 1991 del Ministerio de Minería, se comenzó la vigilancia de contaminantes atmosféricos en el entorno de la Fundición Hernán Videla Lira, perteneciente a ENAMI. Mediante la vigilancia de calidad del aire se constataron altos niveles de contaminación por anhídrido sulfuroso debido al impacto de sus emisiones.

En septiembre del año 1993, mediante el D.S. N° 255 del Ministerio de Agricultura, se declara Zona Saturada por Anhídrido Sulfuroso (SO₂) a la zona circundante a la Fundición Hernán Videla Lira, zona comprendida por las localidades de Tierra Amarilla, Pabellón, San Fernando y Paipote.

Posteriormente en el año 1995, mediante el D.S. N° 180 se aprueba el Plan de Descontaminación de la Fundición Hernán Videla Lira de ENAMI, de acuerdo a los procedimientos establecidos tanto en el Título VI del D.S. N° 185/1991, como en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. La finalidad del Plan fue cumplir con un programa de reducción de emisiones de azufre por parte de la Fundición Hernán Videla Lira, de manera que en un plazo de cinco años se cumpliera cabalmente con las normas de calidad del aire en la zona declarada saturada. Además, se obligaba a la empresa a reducir en un 40% como mínimo, las emisiones de azufre a la atmósfera durante los meses de invierno a partir del año 1995 y mientras no se cumpliera con la norma de calidad del aire por anhídrido sulfuroso. Por otro lado, se restringieron las emisiones de material particulado y de arsénico de la Fundición, y a partir del año 1995, en un plazo de cinco años ambos contaminantes debían reducirse en un 67%.

Cabe señalar que, el día 18 de octubre de 2021 se publicó en el diario oficial la declaración de zona saturada por material particulado respirable MP10 como concentración de 24 horas y anual, a la zona de Copiapó y Tierra Amarilla.

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 SMA realizó una auditoría y análisis de los datos para el año 2022, con el fin de obtener información válida que permita evaluar las normas de calidad del aire. Cabe señalar que los informes DFZ-2021-379-III-NC y DFZ-2022-701-III-NC, emitidos por la Superintendencia del Medio Ambiente, contienen la auditoría y validación de los datos generados durante los años 2020 y 2021, respectivamente.

Los datos fueron solicitados por esta Superintendencia mediante la Resolución Exenta N° 410/2015 a ENAMI, Resolución Exenta N° 40/2019 a Sociedad Punta del Cobre, Resolución Exenta N° 41/2019 a Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan y Resolución Exenta N° 42/2019 a Compañía Contractual Minera Candelaria. La información remitida por los titulares mencionados corresponde



a los datos crudos, datos validados y códigos de invalidación, en promedios horarios para SO₂, diario para material particulado (MP10) y el resultado del análisis químico de plomo correspondiente a cada filtro de MP10. El proceso de auditoría y análisis de los datos consideró la verificación del cumplimiento normativo de las normas primarias y secundaria de calidad del aire para cada contaminante y el 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 exenta N°302, de 2011, y N°1121, de 2020, ambas del Ministerio del Medio Ambiente.

3. OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire primaria para MP10, Plomo (Pb), SO₂ y norma secundaria para SO₂; en su nivel horario, diario y anual, según corresponda, considerando el período de información comprendido entre el 1° de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2022, en las estaciones que cuentan con representatividad poblacional para material particulado MP10 y gases (específicamente SO₂), y además, cuenten con representatividad para recursos naturales.

Para lo anterior se determinó la validez de las mediciones de MP10, plomo (Pb) y SO₂ realizadas por la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla para el año 2022, en base a una auditoría de los datos. Para los años 2020 y 2021 se utilizaron los datos validados por esta Superintendencia y publicados en los informes DFZ-2021-379-III-NC y DFZ-2022-701-III-NC, respectivamente.

4. ALCANCE

Los datos validados en el presente informe corresponden a los registros de MP10, plomo (Pb) y SO₂ de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla, para el periodo comprendido entre el 1° de enero 2020 y el 31 de diciembre de 2022.

Para la evaluación de datos de MP10, plomo (Pb) y SO₂, se utilizaron las estaciones indicadas en la Tabla 2.

El presente documento evaluó el estado de cumplimiento de las normas primaria y secundaria de calidad vigentes para el periodo evaluado entre el 1° de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2022.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran los valores límites por contaminante y cuerpo normativo:



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

Norma	Descripción	Contaminante	Límite Concentración Horaria	Límite Concentración 24 horas	Límite Concentración Anual
Primaria	D.S. N° 104/2018 del Ministerio de Medio Ambiente	SO ₂	134 ppbv (350 µg/m ³ N)	57 ppbv (150 µg/m ³ N)	23 ppbv (60 µg/m ³ N)
	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° 136/2000, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República.	Pb	No Aplica	No Aplica	0,5 µg/m ³ N
Secundaria	D.S. N° 22/2009, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República.	SO ₂	382 ppbv (promedio del percentil 99,73 de 3 años) o 764 ppbv (percentil 99,73 durante un año)	140 ppbv (promedio del percentil 99,7 de 3 años) o 280 ppbv (percentil 99,7 durante un año)	31 ppbv (promedio trianual) o 62 ppbv (promedio anual)

5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS

Los datos para los años 2020, 2021 y 2022 fueron solicitados a los titulares de las estaciones ubicadas en Copiapó y Tierra Amarilla, mediante las Resoluciones Exenta N° 410/2015 a ENAMI, N° 40/2019 a Sociedad Punta del Cobre, N° 41/2019 a Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan y N° 42/2019 a Compañía Contractual Minera Candelaria. La información de calidad del aire, remitida por los titulares de acuerdo a los requerimientos mencionados, contiene los datos crudos, datos validados y códigos de invalidación, en promedios horarios para SO₂, diario para material particulado (MP10) y concentraciones de plomo correspondiente a cada filtro de MP10. Los datos se reportaron de acuerdo al formato establecido por la SMA, el cual incluye los códigos de invalidación definidos en el D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, del MINSAL.

Los datos evaluados de MP10, plomo (Pb) y dióxido de azufre (SO₂), corresponde a las mediciones realizadas en las estaciones declaradas con representatividad poblacional para material particulado, gases y recursos naturales, indicadas en el punto 5.1 de este documento.



5.1. Estaciones declaradas como EMRP-MP10, EMRPG y EMRRN

En la Tabla 2 se describen las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla, y sus respectivas resoluciones que las califican como estación de monitoreo con representatividad poblacional para material particulado (MP10), representatividad poblacional para gases (SO₂) y/o representatividad para recursos naturales.

Tabla 2 Estaciones declaradas como EMRP-MP10, EMRPG y EMRRN.

Estación	Resolución que otorga EMRP para MP10	Resolución que otorga EMRPG para SO ₂	Resolución que otorga EMRRN para SO ₂
Copiapó	Res. N° 545 del 23 de Abril 2003, de SEREMI de Salud de Atacama	Res. N° 1729, del 14 de Septiembre de 2004, de SEREMI de Salud de Atacama	No posee
Los Volcanes	No posee	Res. N° 1729, del 14 de Septiembre de 2004 de SEREMI de Salud de Atacama	No posee
San Fernando	Res. N° 545 del 23 de Abril 2003, de SEREMI de Salud de Atacama	Res. N° 1729, del 14 de Septiembre de 2004 de SEREMI de Salud de Atacama	No posee
Paipote	Res. N° 880 del 7 de Agosto 1992, de SEREMI de Salud de Atacama y Res. N° 104, del 7 de Agosto 1992 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Atacama.	Res. N° 1729, del 14 de Septiembre de 2004, de Servicio de Salud Atacama.	No posee
Pabellón	No posee	Res. N° 1729, del 14 de Septiembre de 2004, de SEREMI de Salud de Atacama	Res. Exenta N° 523, del 12 de mayo de 2011, del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Atacama.
Tierra Amarilla (ENAMI)	Res. N° 545, del 23 de Abril 2003, de SEREMI de Salud de Atacama	Res. N° 1729, del 14 de Septiembre de 2004, de SEREMI de Salud de Atacama	Res. Exenta N° 523, del 12 de mayo de 2011, del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Atacama.
Tierra Amarilla (Candelaria)	Res. N° 546 del 23 de Abril 2003, de SEREMI de Salud de Atacama	No posee	No posee
Kozan	Res. N° 6417 del 8 de noviembre 2007, de SEREMI de Salud de Atacama	No posee	No posee
Luis Uribe	Res. N° 294 del 2 de febrero 2010, de SEREMI de Salud de Atacama	No posee	No posee
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	Res. N° 1916 del 1° de agosto 2008, de SEREMI de Salud de Atacama	No posee	No posee

Por su parte, en la Tabla 3 se describe la ubicación de las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla, cuya representación gráfica se ilustra en la Figura 1.



Tabla 3 Georreferenciación de las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

Estación	Coordenadas UTM (m)*	
Copiapó	368.534 E	6.972.643 N
Los Volcanes	370.767 E	6.971.457 N
San Fernando	371.369 E	6.968.993 N
Paipote	374.340 E	6.967.108 N
Pabellón	378.151 E	6.940.115 N
Tierra Amarilla (ENAMI)	375.128 E	6.960.567 N
Tierra Amarilla (Candelaria)	374.932 E	6.960.235 N
Kozan	375.070 E	6.956.281 N
Luis Uribe	374.942 E	6.961.596 N
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	374.782 E	6.958.899 N

* Ref. Google Earth





Ref. Google Earth

Figura 1 Ubicación de estaciones de calidad del aire de la Red de calidad del aire de Coperío y Tierra Amarilla.

5.2. Descripción de equipos de medición utilizados en la Red de calidad del aire de Coperío y Tierra Amarilla

De acuerdo a los antecedentes entregados por los titulares para los años 2020, 2021 y 2022, los instrumentos de medición utilizados para medir MP10 y SO₂ en las estaciones evaluadas, cumplen con el requisito de contar con aprobación USEPA, establecido en las normas primaria y secundaria de calidad del aire. En la Tabla 4 se describen los instrumentos y métodos de medición de MP10 y SO₂, utilizados en las estaciones de calidad del aire analizadas, durante el año 2022.



Tabla 4 Listado de estaciones, instrumento y método de medición.

Estación	Parámetro	Método de Medición	Marca/Modelo	Método de Referencia o Equivalente EPA
Copiapó	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	SO ₂	Fluorescencia ultravioleta	Thermo / 43i	EQSA -0486-060
Los Volcanes	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	SO ₂	Fluorescencia ultravioleta	Thermo / 43i	EQSA -0486-060
San Fernando	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	SO ₂	Fluorescencia ultravioleta	Thermo / 43i	EQSA -0486-060
Paipote	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	SO ₂	Fluorescencia ultravioleta	Thermo / 43i	EQSA -0486-060
Tierra Amarilla (ENAMI)	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	SO ₂	Fluorescencia ultravioleta	Thermo / 43i	EQSA -0486-060
Tierra Amarilla (Candelaria)	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Tisch/TE-6070	RFPS-0202-141
Kozan	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	W&A o Thermo Electron/ Model 600 HVL	RFPS-1087-062
Luis Uribe	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Tisch/TE-6070	RFPS-0202-141
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063



5.3. Auditoría de datos

Los datos de MP10, plomo (Pb) y SO₂ para los años 2020, 2021 y 2022, validados previamente por los titulares, fueron sometidos a una revisión usando como criterio lo establecido en las normas primarias y secundarias de calidad del aire, para cada contaminante. 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 horarios reportados para el contaminante SO₂ de cada estación y su correspondiente registro de calibración de cero y span o multipunto. Para el caso de los datos diarios de MP10, medidos con equipos de tipo discreto, se evaluó el número de días sin dato o dato inválido. De este análisis se obtuvo el siguiente porcentaje de datos inválidos (Tabla 5):

Tabla 5 Porcentaje de datos inválidos horarios y diarios por contaminante para los años 2020, 2021 y 2022.

Estación	2020		2021		2022	
	MP10 % Diario	SO ₂ % Horario	MP10 % Diario	SO ₂ % Horario	MP10 % Diario	SO ₂ % Horario
Copiapó	0	0,6	0	0,6	1,7	2,2
Los Volcanes	No Aplica	1,2	No Aplica	1,2	No Aplica	1,0
San Fernando	1,6	0,8	1,6	2,2	1,7	0,8
Paipote	2,5	0,7	0	1,8	2,5	2,3
Pabellón	No Aplica	Sin Dato	No Aplica	Sin Dato	No Aplica	Sin Dato
Tierra Amarilla (ENAMI)	0	0,8	0	2,5	1,7	0,9
Tierra Amarilla (Candelaria)	0,8	No Aplica	0	No Aplica	0,8	No Aplica
Kozan	0,8	No Aplica	2,5	No Aplica	0,8	No Aplica
Luis Uribe	3,3	No Aplica	4,1	No Aplica	7	No Aplica
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	2,5	No Aplica	7,4	No Aplica	7	No Aplica

De la Tabla 5, se puede observar que el porcentaje de datos inválidos para MP10 y SO₂ no superaron el 7%. En relación a la invalidación de datos en las estaciones que miden MP10, éstos correspondieron principalmente a: tiempo mínimo de muestreo, exceso de tiempo de muestreo, falla del equipo y falla de energía. En las estaciones que miden SO₂ la invalidación de datos horarios se debió principalmente a fallas en el equipo, mantenciones en terreno y fallas de energía.

Para la evaluación de las normas de calidad, se determinó estadísticamente la cantidad de datos horarios disponibles para el cálculo de los promedios diarios de SO₂ y de días disponibles para MP10. 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 a lo descrito en el D.S. N° 61/2008, modificado por D.S N° 30/2009 de MINSAL. En los casos de días con un porcentaje menor al 75% de datos horarios, éstos se invalidaron de acuerdo a lo descrito en el decreto mencionado, sin perjuicio de lo dispuesto en cada una de las normas primarias y



secundarias de calidad del aire correspondiente a cada contaminante en evaluación. Para los datos obtenidos de equipos gravimétricos se consideró la cantidad de horas de funcionamiento del equipo de alto volumen, MP10, respectivamente, con un mínimo de 18 horas continuas de medición.

En las Tabla 6 y Tabla 7, se resumen los días válidos por año y estación para cada contaminante. Se observa que para el período analizado existe un porcentaje de datos válidos superior al 75% para el contaminante de MP10 y SO₂. Cabe señalar, que la estación Pabellón no reporta mediciones desde el año 2015 a la fecha, lo anterior ya que, de acuerdo a lo informado por el titular, mediante la carta N° 260 del 24 de noviembre de 2015, la estación fue desconectada por problemas en el suministro eléctrico y a la fecha no existen antecedentes de una nueva ubicación o restablecimiento de la misma.

El resumen de datos disponibles permite concluir que se dispone de la información suficiente para realizar un análisis estadístico, aplicando los criterios especificados en las normas primaria y secundaria de calidad del aire correspondientes a los distintos contaminantes evaluados.

Tabla 6 Resumen de datos disponibles de MP10 por estación para los años 2020, 2021 y 2022.

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos (%)
Copiapó	2020	122	100
	2021	122	100
	2022	119	98,3
Paipote	2020	119	98
	2021	122	100
	2022	118	97,5
San Fernando	2020	120	98
	2021	120	98,4
	2022	119	98,3
Tierra Amarilla (ENAMI)	2020	122	100
	2021	122	100
	2022	119	98,3
Tierra Amarilla (Candelaria)	2020	121	99
	2021	122	100
	2022	121	99,2
Kozan	2020	121	99
	2021	119	97,5
	2022	123	99,2
Luis Uribe	2020	118	97
	2021	116	95,9
	2022	113	92,6
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	2020	119	98
	2021	112	92,6
	2022	113	92,6

Tabla 7 Resumen de datos disponibles de SO₂ por estación para los años 2020, 2021 y 2022.

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) SO ₂	Porcentaje de datos (%)
Copiapó	2020	366	100
	2021	365	100
	2022	358	98,1
Los Volcanes	2020	363	99,2



	2021	360	98,6
	2022	363	99,5
Pabellón	2020	Sin Dato	--
	2021	Sin Dato	--
	2022	Sin Dato	--
Paipote	2020	366	100
	2021	358	98,1
	2022	364	99,7
San Fernando	2020	365	99,7
	2021	357	97,8
	2022	355	97,3
Tierra Amarilla (ENAMI)	2020	366	100
	2021	357	97,8
	2022	361	98,9

Para efectos de la evaluación anual de las normas para los contaminantes MP10 y SO₂, en la Tabla 8 y en la Tabla 9, se resumen los porcentajes de datos disponibles a nivel mensual de las estaciones de la Red de Copiapó y Tierra Amarilla. En el caso del contaminante MP10, Tabla 8, se observa un porcentaje de datos válidos superior al 75% para la mayoría de los meses del período analizado.

Tabla 8 Porcentaje de datos válidos de MP10 mensuales por estación para los años 2020, 2021 y 2022.

		MESES (%)											
		Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla											
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Copiapó	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	90
Paipote	2020	100	100	100	100	100	100	90	100	90	100	90	100
	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	100	100
San Fernando	2020	100	90	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100	90	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100
Tierra Amarilla (ENAMI)	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90
Tierra Amarilla (Candelaria)	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100
Kozan	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90
	2021	100	100	100	100	100	100	90	80	100	100	100	100
	2022	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Luis Uribe	2020	90,9	100	90,9	90	90	100	100	100	100	100	90	100
	2021	90	100	100	100	100	100	100	82	100	100	90	90
	2022	82	89	100	100	100	80	100	100	90	82	90	100
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	2020	100	100	90,9	100	100	90	100	100	90	100	90	100
	2021	100	89	91	90	100	90	90	100	100	100	80	80
	2022	82	100	100	90	82	80	100	100	80	100	100	100

De la Tabla 9, se observa que en la estación Pabellón no se realizan mediciones de SO₂ a la fecha emisión del presente informe, lo cual fue informado por el titular mediante la carta N° 260 del 24 de noviembre de 2015. El resto de las estaciones presenta porcentajes superiores al 75% para los datos de SO₂, en todo el periodo en estudio.



Tabla 9 Porcentaje de datos válidos de SO₂ mensuales por estación para los años 2020, 2021 y 2022.

MESES (%)													
Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Copiapó	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	94	97	100	87
Los Volcanes	2020	100	100	100	100	100	100	90,3	100	100	100	100	100
	2021	100	100	97	100	100	96,7	93,5	96,8	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	97	100
Pabellón	2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paipote	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	96,8	100	87,1	100	93,3	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100	100
San Fernando	2020	100	100	100	96,7	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	96,8	100	100	93,3	100	96,8	96,7	100	100	90
	2022	94	100	100	90	100	100	97	97	100	90	100	100
Tierra Amarilla (ENAMI)	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	100	93,5	100	100	90,3	90,0	100
	2022	100	100	100	100	97	100	100	94	100	100	100	97

En el caso de las concentraciones de plomo (Pb), los datos válidos tienen directa relación con el número de filtros de MP10 analizados y deben cumplir, de acuerdo a la norma de plomo, con el 70% de los valores programados para el mes.

En la Tabla 10, se presenta el porcentaje mensual de filtros analizados químicamente para plomo, por año y estación. De la Tabla 10, se puede observar que para los años 2021 y 2022 se presentaron porcentajes de muestreo para análisis de Plomo superior al 70%, por lo tanto, se concluye que se dispone con la información suficiente para la evaluación de la norma de plomo.

Tabla 10 Porcentaje de filtros analizados químicamente para Pb por estación para los años 2021 y 2022.

MESES (%)													
Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Copiapó	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	90
Paipote	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	100	100
San Fernando	2021	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100	90	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100
Tierra Amarilla (ENAMI)	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90



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 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 11, se presenta un resumen de los valores calculados del percentil 98 de la concentración 24 horas de la norma de MP10, para los años 2020, 2021 y 2022, de las estaciones de monitoreo de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

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:

- Quando 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 $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.
- 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. N°59/1998, del MINSEGPRES.

De acuerdo al análisis efectuado y la determinación del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 para los años 2020 y 2021, se determinó superación al límite normativo sólo en estación Paipote, esto referido al límite de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Para el año 2022, también se observó superación al límite de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y al 80% del límite de 24 horas (D.S. N°12/2022). Las concentraciones obtenidas en las estaciones, mediante el cálculo del percentil 98, y que superaron el límite normativo en el año 2022 correspondieron a: Paipote con $156 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (120%) y Tierra Amarilla (Candelaria) con $147 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (113%), por otra parte, se observa superación al 80% del límite normativo en estación Tierra Amarilla (ENAMI) con una concentración de $119 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (92%).

Tabla 11 Evaluación de la norma 24 horas para MP10 durante el período 2020 al 2022.

Estación	Percentil 98 Año 2020 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas 2020 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	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 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Copiapó	72	48	100	67	100	77
Paipote	153	102	172	115	156	120
San Fernando	84	56	90	60	83	64



Tierra Amarilla (ENAMI)	94	63	117	78	119	92
Tierra Amarilla (Candelaria)	109	73	116	77	147	113
Kozan	88	59	85	57	91	70
Luis Uribe	99	66	122	81	95	73
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	97	65	99	66	100	77

A continuación, el Gráfico 1 muestra la concentración anual, obtenida mediante el cálculo del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10.

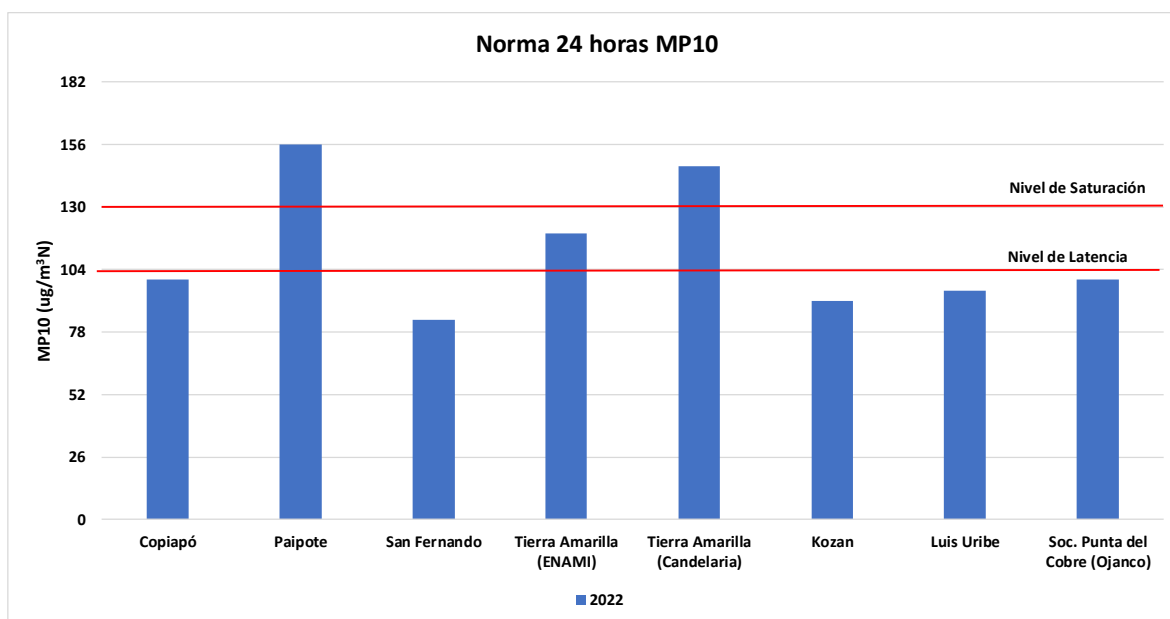


Gráfico 1 Norma 24 horas para MP10, en el año 2022.

6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP10

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

El periodo de evaluación de superación de la norma para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 12, se presenta un resumen de los valores obtenidos a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2020, 2021 y 2022, para las estaciones de monitoreo de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.



El promedio trianual para el periodo entre el año 2020 al 2022, determinó que la norma anual de MP10 fue superada en cinco (5) de las ocho (8) estaciones evaluadas, siendo la estación Tierra Amarilla (Candelaria) la que registró la concentración más alta con 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (120%), en Tierra Amarilla (ENAMI) presentó una concentración de 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (118%), en estación Paipote una concentración de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (114%), en estación Luis Uribe una concentración de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (108%), y por último, en estación Soc. Punta del Cobre con una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (100%). En relación a las estaciones de San Fernando y Kozan, las concentraciones obtenidas a través del promedio trianual superaron el 80% del valor límite de la norma anual, con una concentración de 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (96%) y 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (92%), respectivamente. Y solo la estación de Copiapó no supero el límite de la norma anual ni el 80% del valor límite de la norma anual.

Tabla 12 Evaluación de la norma anual para MP10 durante el período 2020 al 2022.

Estación	Promedio Anual 2020 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio Anual 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio Anual 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio Trianual 2020-2021-2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma Anual (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Copiapó	30	37	38	35	70
Paipote	52	60	59	57	114
San Fernando	45	50	50	48	96
Tierra Amarilla (ENAMI)	52	63	62	59	118
Tierra Amarilla (Candelaria)	54	63	62	60	120
Kozan	46	46	45	46	92
Luis Uribe	50	57	55	54	108
Soc. Punta del Cobre (Ojanco)	54	50	45	50	100

Complementariamente, en el Gráfico 2, se pueden observar las concentraciones de la media trianual por año y estación, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022.



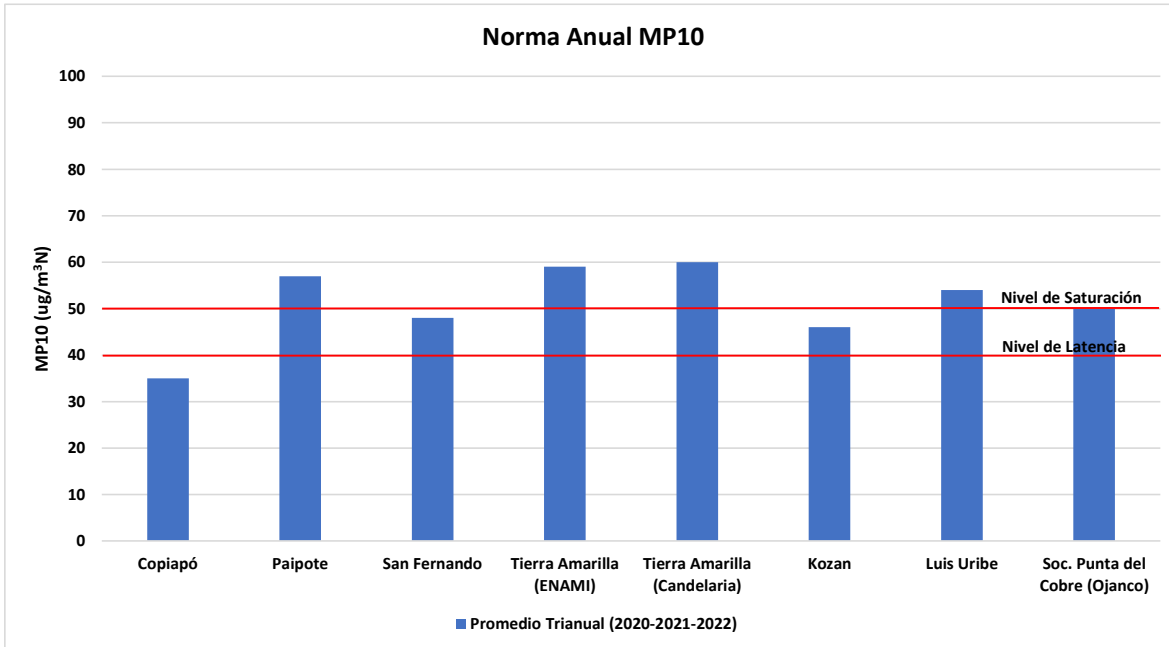


Gráfico 2 Norma anual para MP10, promedio trianual periodo 2020 al 2022.

6.2. Evaluación de la norma plomo (Pb)

6.2.1. Evaluación de la norma anual para Plomo (Pb)

La norma primaria de calidad del aire para el contaminante plomo, D.S. N° 136/2000 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República, es 0,5 microgramos por metro cúbico normal ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) como concentración anual.

Cabe señalar que se considerará sobrepasada la norma cuando el promedio aritmético de los valores de concentración anual de dos años sucesivos supera el nivel de la norma en cualquier estación con representatividad poblacional. Asimismo se considerará sobrepasada la norma si la concentración anual correspondiente al primer período anual contado desde la entrada en vigencia de la norma, sea superior en más de un 100% al nivel de la norma, en cualquier estación con representatividad poblacional.

Para la evaluación de la norma de plomo se utilizaron los resultados de los análisis químicos efectuados a los filtros de material particulado MP10. El periodo de evaluación de la norma anual de plomo (Pb), corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2021 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 13 se presenta un resumen con las concentraciones anuales para plomo en las estaciones de monitoreo de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.



El promedio bianual expresado en porcentaje muestra que la norma anual de plomo no fue superado en las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla, y los porcentajes obtenidos respecto de la norma se encontraron por debajo del 80% del límite normativo.

Tabla 13 Evaluación de la norma anual de Pb para el período 2021 al 2022.

Estación	Concentración Anual 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Concentración Anual 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Promedio bianual 2021-2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma Anual ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Copiapó	0,002	0,004	0,003	0,6
Paipote	0,023	0,013	0,018	3,6
San Fernando	0,010	0,005	0,008	1,6
Tierra Amarilla (ENAMI)	0,010	0,008	0,009	1,8

En el Gráfico 3, se observan las concentraciones de plomo (Pb) obtenidas del análisis de los filtros de MP10, para el promedio bianual (2021-2022).

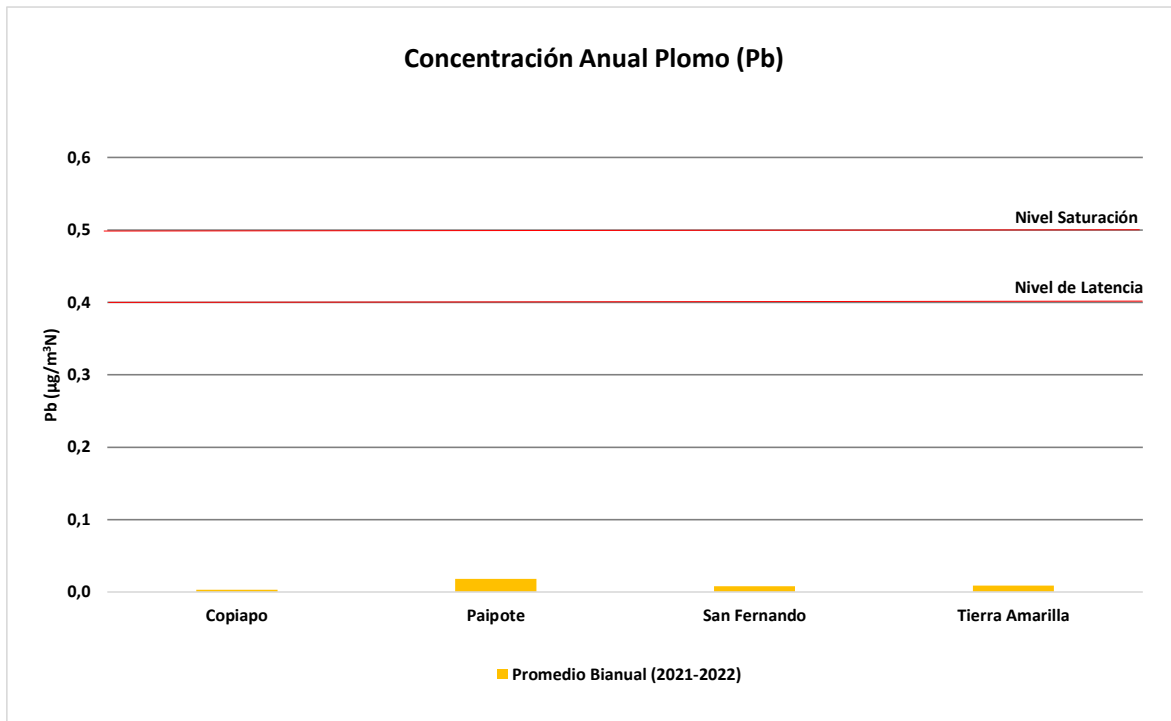


Gráfico 3 Norma Anual para Plomo.



6.3. Evaluación de la norma primaria SO₂

6.3.1. Evaluación de la norma primaria de 1 hora SO₂

El periodo de evaluación de la norma primaria de 1 hora para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 14, se presenta un resumen con los valores del percentil 98,5 de la norma de 1 hora para SO₂, en todas las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente, se establecen las siguientes condiciones:

- Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para SO₂ como concentración de 1 hora, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 98,5 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año, fuere mayor o igual a 134 ppbv (350 µg/m³N). A partir del cuarto año calendario de publicada la norma en el diario oficial, se considerara un percentil 99 para evaluar esta condición.
- Se considerara superada la norma de 1 hora, si en un año calendario, el valor correspondiente al percentil 98,5 de las concentraciones de 1 hora registradas, fuere mayor o igual al doble del valor de la norma que se establece. A partir del cuarto año calendario de publicada la norma en el Diario Oficial, se considera un percentil 99 para evaluar esta condición.

De acuerdo a lo calculado, Tabla 14, se determinó que la norma de 1 hora no fue superada en ninguna de las estaciones para el período en estudio y tampoco se superó el 80% del valor límite de la norma. La concentración más alta como promedio trianual se presentó en Paipote con 44,35 ppbv, equivalente al 33% del valor límite de la norma de 1 hora.

Tabla 14 Evaluación de la norma primaria de 1 hora de SO₂ para el período 2020 al 2022.

Estación	Percentil 98,5 Año 2020 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2020 (268 ppbv)	Percentil 98,5 Año 2021 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2021 (268 ppbv)	Percentil 98,5 Año 2022 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2022 (268 ppbv)	Percentil 98,5 Promedio Trianual 2020-2021-2022 (ppbv)	% de la Norma 1 hora (134 ppbv)
Copiapó	25,74	10	18,33	7	18,74	7	20,94	16
Los Volcanes	35,04	13	23,94	9	24,47	9	27,82	21
Pabellón	S/I	----	S/I	----	S/I	----	S/I	----
Paipote	65,53	24	33,42	13	34,09	13	44,35	33
San Fernando	10,21	4	9,72	4	14,60	5	11,51	9
Tierra Amarilla (ENAMI)	57,24	21	36,24	14	31,28	12	41,59	31

S/I: en la estación Pabellón entre los años 2016 y 2022 no realizaron mediciones de SO₂.



El Gráfico 4 muestra los valores obtenidos del análisis del percentil 98,5 del periodo como promedio trianual. Mientras que, el Gráfico 5 presenta los valores obtenidos del cálculo del percentil 98,5 de las concentraciones de 1 hora para cada uno de los años de periodo analizado.

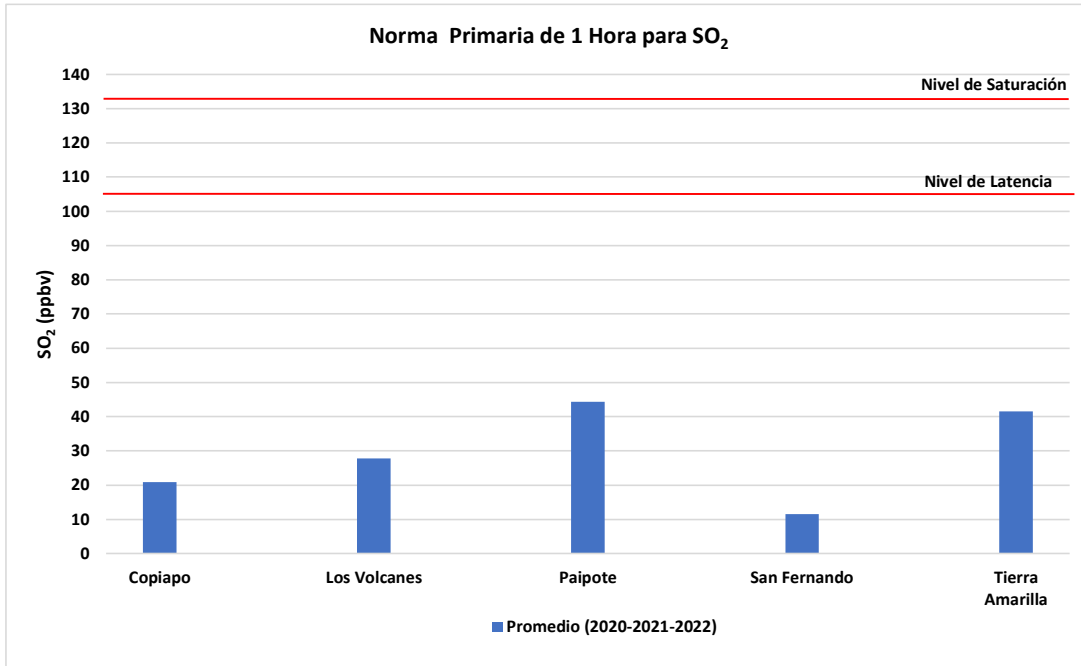


Gráfico 4 Norma primaria de 1 hora para SO₂, promedio trianual periodo 2020 al 2022 (condición a).

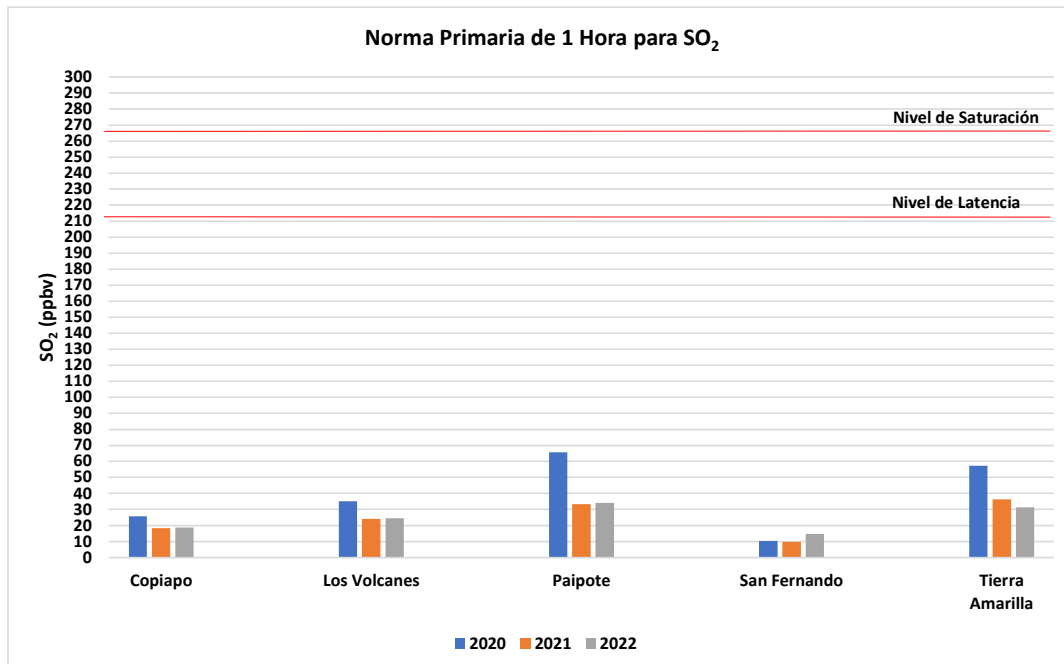


Gráfico 5 Norma primaria de 1 hora para SO₂, por año para el periodo 2020 al 2022 (condición b).



6.3.2. Evaluación de la norma primaria de 24 horas SO₂

El periodo de evaluación de la norma primaria de 24 horas para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 15, se presenta un resumen con los valores del percentil 99 de la norma de 24 horas para SO₂, en todas las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente, se establecen las siguientes condiciones:

- Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para SO₂ como concentración de 24 horas, cuando el promedio aritmético de tres años calendarios sucesivos, de los valores del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas, fuere mayor o igual a 57 ppbv (150 µg/m³N).
- Se considerara superada la norma 24 horas también, si en un año calendario, el valor correspondiente al percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas, fuere mayor o igual al doble del valor de la norma que se establece.

De acuerdo a lo calculado, Tabla 15, se determinó que la norma 24 horas no fue superada en ninguna de las estaciones para el período en estudio y tampoco se superó el 80% del valor del límite de la norma. Cabe señalar que, la concentración más alta se observó en la estación Paipote y fue de 28,19 ppbv, equivalente al 49% del valor límite de la norma de 24 horas.

Tabla 15 Evaluación de la norma primaria 24 horas de SO₂ para el período 2020 al 2022.

Estación	Percentil 99 Año 2020 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2020 (114 ppbv)	Percentil 99 Año 2021 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2021 (114 ppbv)	Percentil 99 Año 2022 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2022 (114 ppbv)	Percentil 99 Promedio Trianual 2020-2021-2022 (ppbv)	% de la Norma 24 horas (57 ppbv)
Copiapó	13,12	12	10,42	9	12,84	11	12,13	21
Los Volcanes	17,75	16	14,76	13	12,58	11	15,03	26
Pabellón	S/I	-----	S/I	-----	S/I	-----	S/I	-----
Paipote	37,84	33	24,93	22	21,79	19	28,19	49
San Fernando	8,41	7	9,90	9	8,65	8	8,99	16
Tierra Amarilla (ENAMI)	21,6	19	14,77	13	14,07	12	16,81	29

S/I: en la estación Pabellón entre los años 2016 y 2022 no realizaron mediciones de SO₂.

El Gráfico 6 muestra los valores obtenidos del análisis del percentil 99 del periodo como promedio trianual. Mientras que, el Gráfico 7 presenta los valores obtenidos del cálculo del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas para cada uno de los años del periodo analizado.



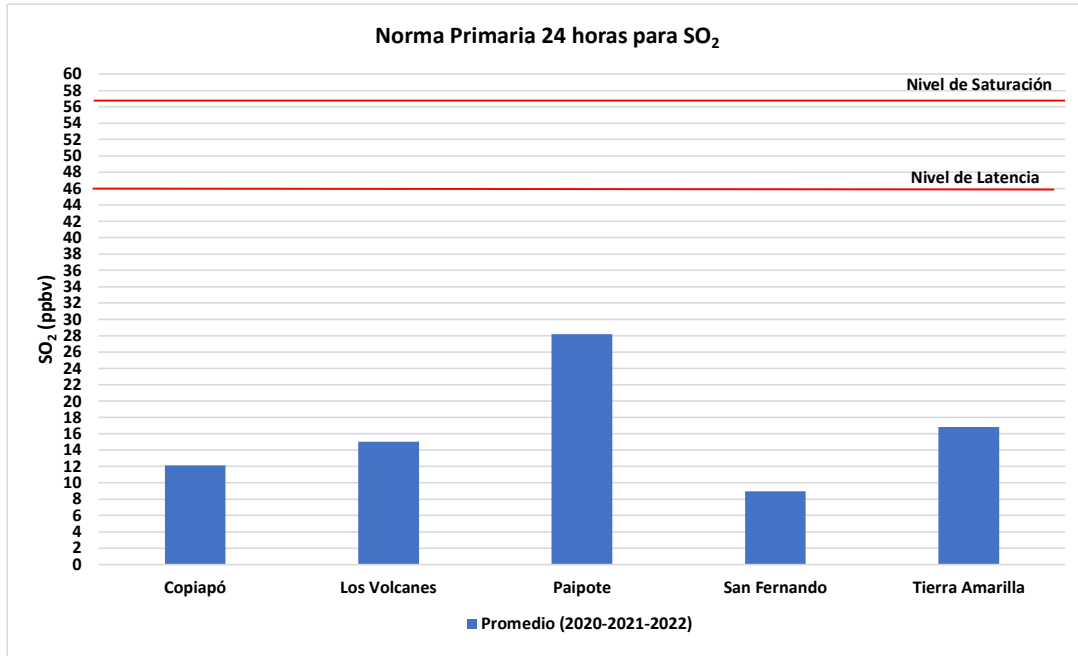


Gráfico 6 Norma primaria 24 horas para SO₂, promedio trianual periodo 2020 al 2022 (condición a).

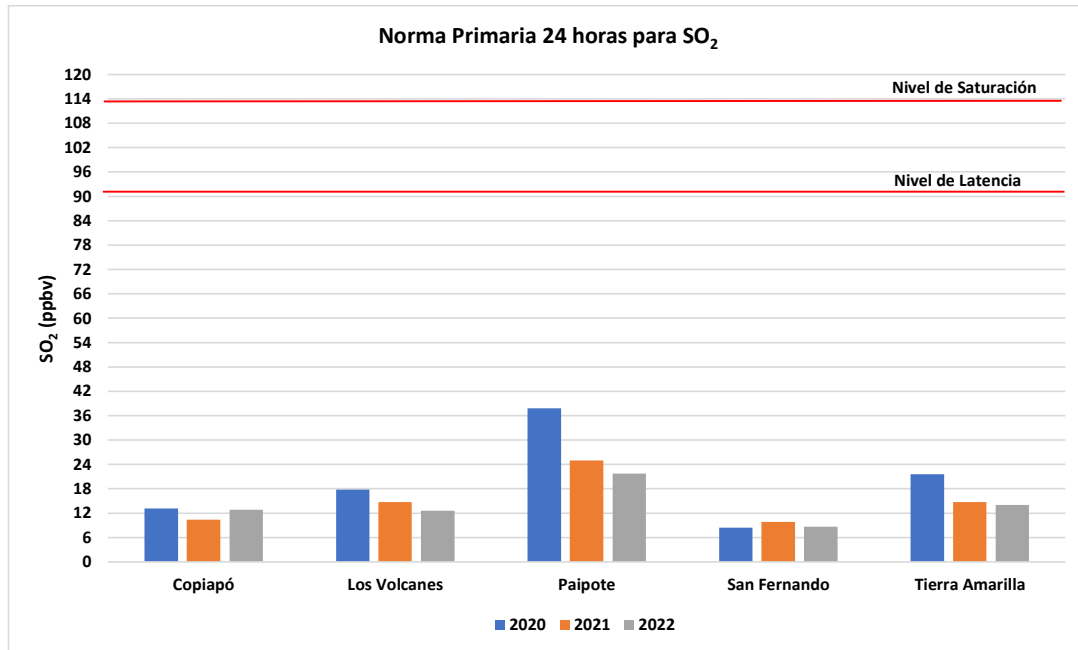


Gráfico 7 Norma primaria 24 horas para SO₂, por año para el periodo 2020 al 2022 (condición b).



6.3.3. Evaluación de la norma primaria anual de SO₂

El periodo de evaluación de la norma primaria anual para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 16, se presenta un resumen con los promedios anuales de SO₂ en todas las estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente, se establecen las siguientes condiciones:

- a. Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para SO₂ como concentración anual, cuando el promedio aritmético de tres años calendarios sucesivos de los valores de concentración anual, fuere mayor o igual a 23 ppbv (60 µg/m³N).
- b. Si en un año calendario, el valor de la concentración anual, fuere mayor o igual al doble del valor de la norma que se establece.

De acuerdo a los resultados de la evaluación de la norma primaria anual, presentados en la Tabla 16, se determinó que las concentraciones obtenidas correspondientes al promedio trianual no superan el límite normativo y tampoco el 80% de la norma primaria anual, por lo tanto, en ninguna de ellas se superó el límite establecido en la norma primaria anual. Cabe señalar que, la concentración más alta fue en estación Paipote con 4,83 ppbv, equivalente al 21% del valor límite de la norma anual.

Tabla 16 Evaluación de la norma primaria anual de SO₂ para el período 2020 al 2022.

Estación	Concentración Anual 2020 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2020 (46 ppbv)	Concentración Anual 2021 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2021 (46 ppbv)	Concentración Anual 2022 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2022 (46 ppbv)	Promedio Trianual 2020-2021-2022 (ppbv)	% de la Norma Anual (23 ppbv)
Copiapó	3,11	7	3,39	5	3,02	7	3,17	14
Los Volcanes	3,76	8	3,21	5	2,51	5	3,16	14
Pabellón	S/I	----	S/I	----	S/I	----	S/I	----
Paipote	5,97	13	4,60	7	3,91	8	4,83	21
San Fernando	1,16	3	1,58	2	2,24	5	1,66	7
Tierra Amarilla (ENAMI)	5,58	12	4,09	6	3,73	8	4,47	19

S/I: en la estación Pabellón entre los años 2016 y 2022 no realizaron mediciones de SO₂.



El Gráfico 8, muestra el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios, y el Gráfico 9 presenta las concentraciones anuales para cada uno de los años de periodo analizado.

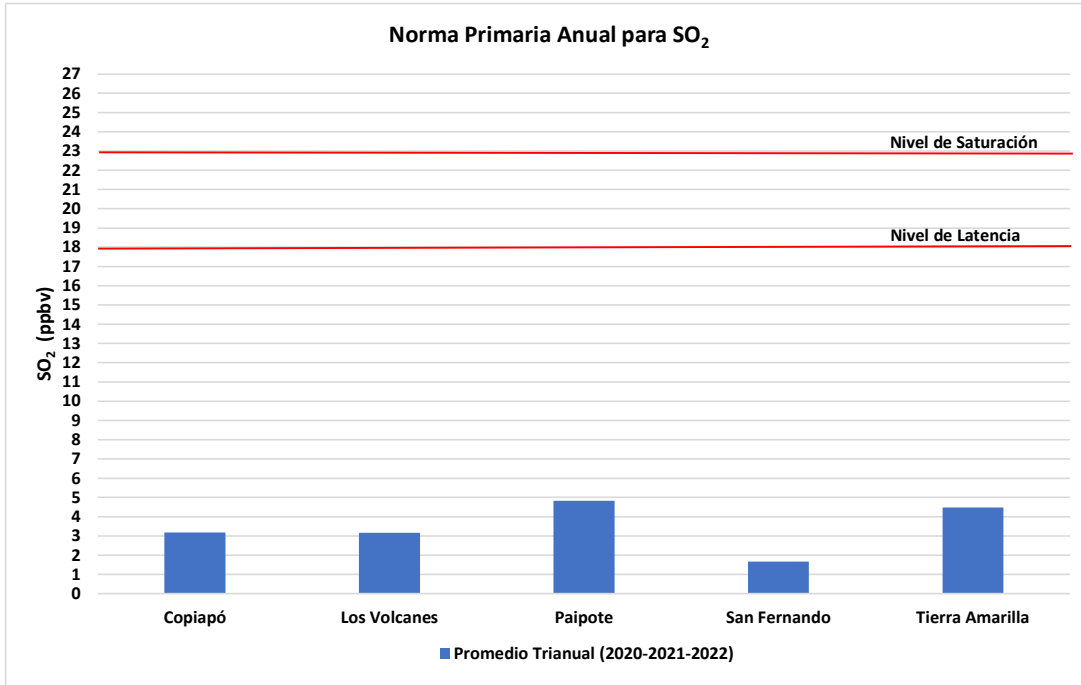


Gráfico 8 Norma primaria anual para SO₂, promedio trienal periodo 2020 al 2022 (condición a).



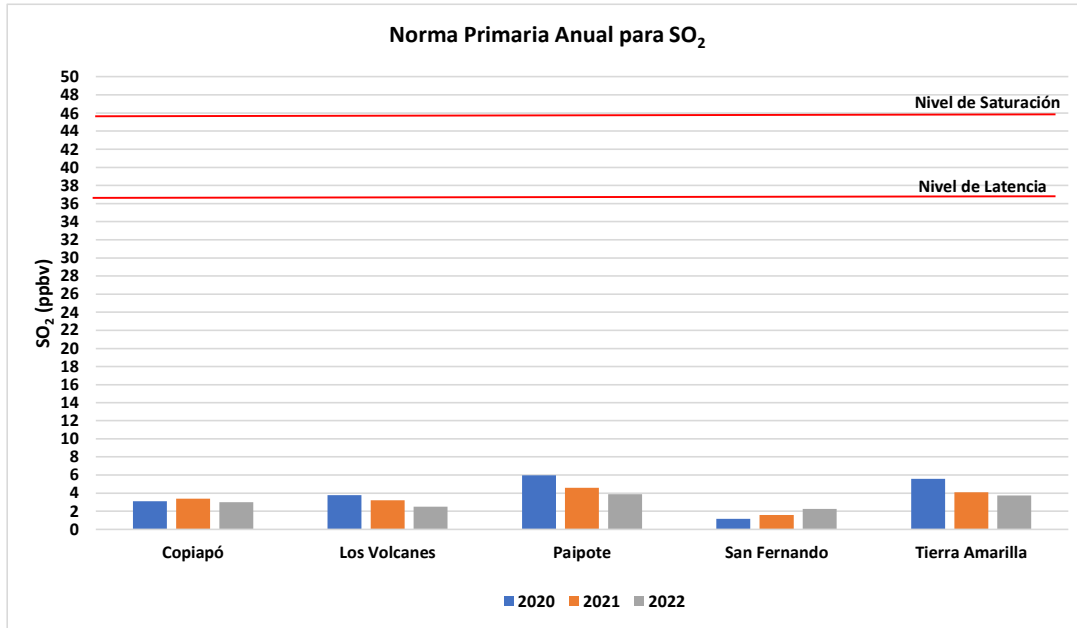


Gráfico 9 Norma primaria anual para SO₂, promedio anual por año para periodo 2020 al 2022 (condición b).

6.4. Evaluación de la norma secundaria para SO₂

6.4.1. Evaluación de la norma secundaria de 1 hora para SO₂

El periodo de evaluación de la norma secundaria 1 hora para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 17, se presenta un resumen con el cálculo del percentil 99,73 de la norma secundaria 1 hora para SO₂ en todas las estaciones de Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

Se debe señalar que se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para SO₂ como concentración de 1 hora, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año, en cualquier estación monitora clasificada como EMRRN, fuere mayor o igual a 382 ppbv. Además, se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 1 hora, si en un año calendario el percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas en cualquier estación monitora clasificada como EMRRN fuere mayor o igual a 764 ppbv.

En la Tabla 17, se muestran los valores obtenidos del cálculo del percentil 99,73 como promedio trianual (2020 al 2022) y el porcentaje respecto de la norma secundaria horaria, constatándose que en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 89,61 ppbv (23%), valor por debajo del 80% del límite de la norma de 382 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración mediante el percentil 99,73 para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del



límite de 764 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria horaria no fue superada en la estación en estudio.

Tabla 17 Evaluación de la norma secundaria 1 hora de SO₂ para el período 2020 al 2022.

Estación	Percentil 99,73 Año 2020 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2020 (764 ppbv)	Percentil 99,73 Año 2021 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2021 (764 ppbv)	Percentil 99,73 Año 2022 (ppbv)	% de la Norma Horaria 2022 (764 ppbv)	Percentil 99,73 2020-2021-2022 (ppbv)	% de la Norma Horaria Promedio Trianual (382 ppbv)
Pabellón	S/I	--	S/I	--	S/I	--	--	--
Tierra Amarilla (ENAMI)	116,25	15	80,15	10	72,44	9	89,61	23

S/I: en la estación Pabellón entre los años 2016 y 2022 no realizaron mediciones de SO₂.

El Gráfico 10 muestra los valores obtenidos del cálculo del percentil 99,73 del periodo como promedio trianual para la estación Tierra Amarilla (ENAMI). Mientras que, el Gráfico 11 presenta los valores obtenidos del cálculo del percentil 99,73 de las concentraciones horarias para cada uno de los años del periodo analizado, para la estación de Tierra Amarilla (ENAMI).

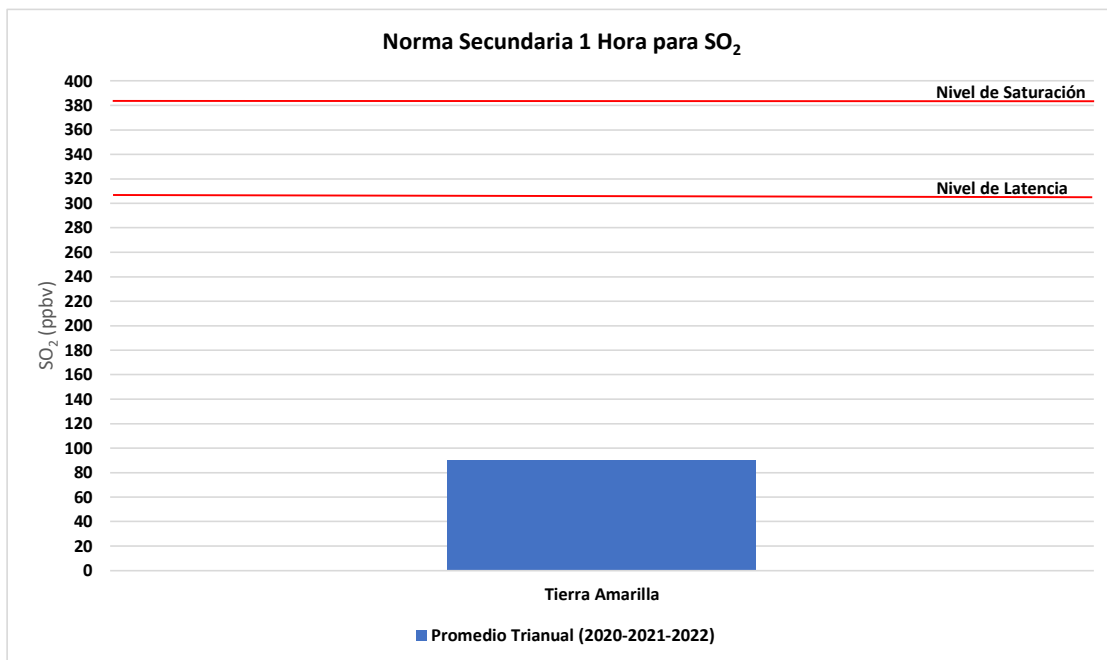


Gráfico 10 Norma secundaria 1 hora para SO₂, promedio trianual durante el período 2020 al 2022.



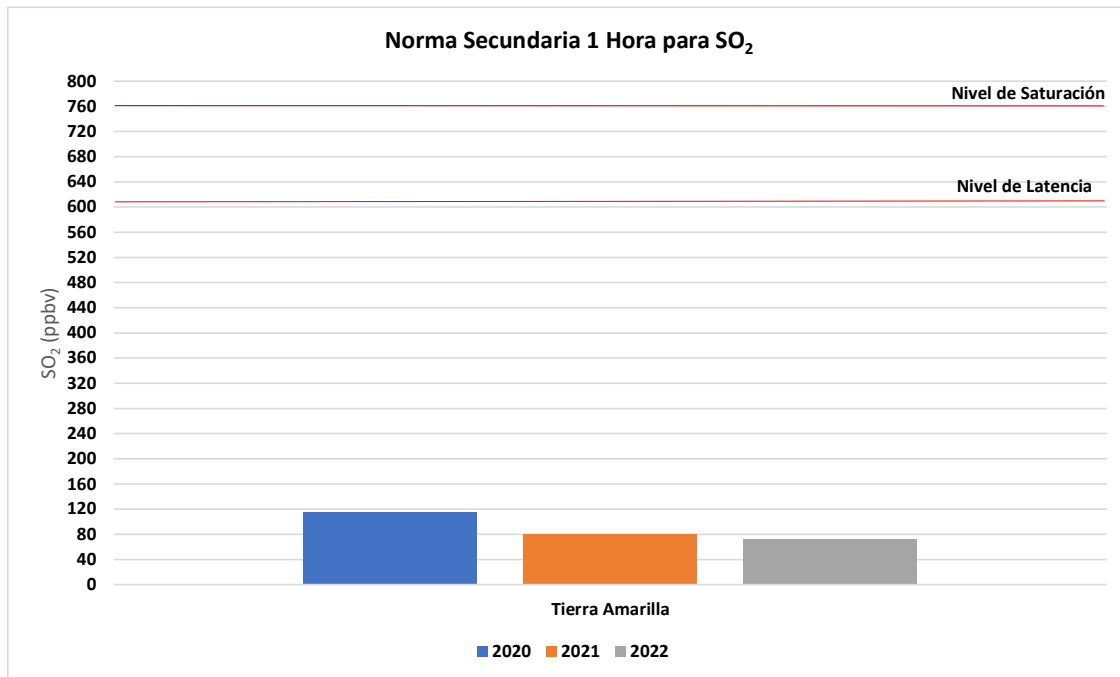


Gráfico 11 Norma secundaria 1 hora para SO₂, período 2020 al 2022.

6.4.2. Evaluación de la norma secundaria 24 horas SO₂

El periodo de evaluación de la norma secundaria de 24 horas para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022. En la Tabla 18, se presenta un resumen con el cálculo del percentil 99,7 de la norma secundaria de 24 horas para SO₂ en todas las estaciones de Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla.

Se debe señalar que se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para SO₂ como concentración de 24 horas, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas registradas cada año, en cualquier estación monitora clasificada como EMRRN, fuere mayor o igual a 140 ppbv. Además, se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, si en un año calendario el percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas registradas en cualquier estación monitora clasificada como EMRRN fuere mayor o igual a 280 ppbv.

En la Tabla 18, se muestran los valores obtenidos del análisis del percentil 99,7 como promedio trianual y el porcentaje respecto de la norma secundaria 24 horas, constatándose que en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 22,63 ppbv (16%), valor por debajo del 80% del límite de 140 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración mediante el percentil 99,7 para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación



Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del límite de 280 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria 24 horas no fue superada en la estación en estudio.

Tabla 18 Evaluación de la norma secundaria 24 horas de SO₂ para el período 2020 al 2022.

Estación	Percentil 99,7 Año 2020 (ppbv)	% de la Norma 24 horas 2020 (280 ppbv)	Percentil 99,7 Año 2021 (ppbv)	% de la Norma 24 horas 2021 (280 ppbv)	Percentil 99,7 Año 2022 (ppbv)	% de la Norma 24 horas 2022 (280 ppbv)	Promedio Percentil 99,7 24 horas 2020-2021-2022 (ppbv)	% de la Norma 24 horas (140 ppbv)
Pabellón	S/I	--	S/I	--	S/I	--	--	--
Tierra Amarilla (ENAMI)	25,29	9	18,60	7	23,99	9	22,63	16

S/I: en la estación Pabellón entre los años 2016 y 2022 no realizaron mediciones de SO₂.

El Gráfico 12 muestra los valores obtenidos del análisis del percentil 99,7 del periodo como promedio trianual. Mientras que, el Gráfico 13 presenta los valores obtenidos del cálculo del percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas para cada uno de los años de periodo analizado.

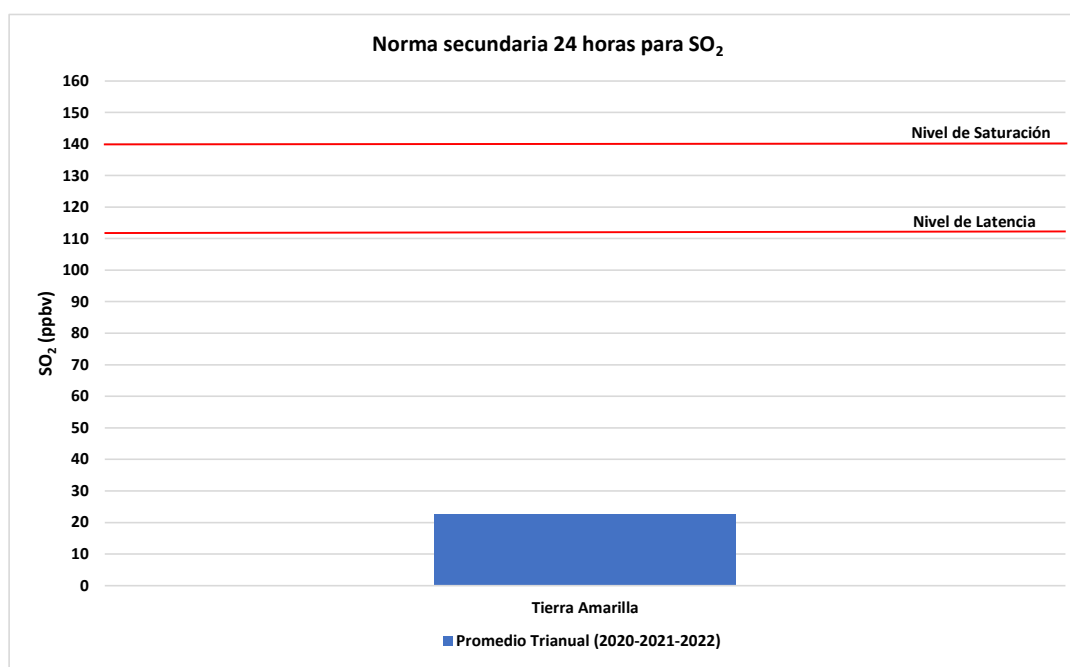


Gráfico 12 Norma secundaria 24 horas para SO₂, promedio trianual durante el período 2020 al 2022.



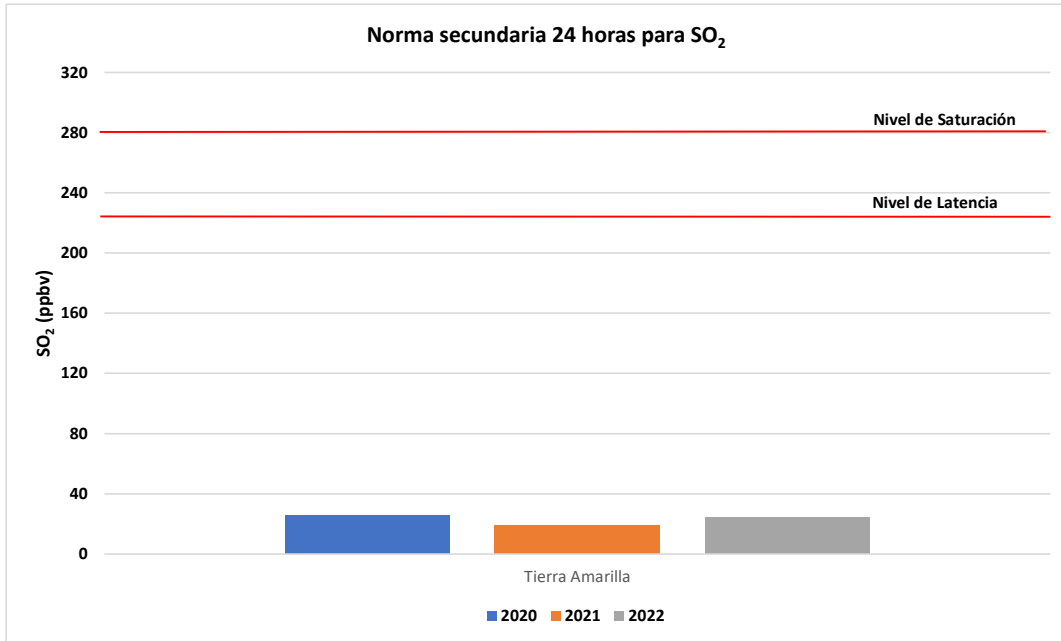


Gráfico 13 Norma secundaria 24 horas para SO₂, período 2020 al 2022.

6.4.3. Evaluación de la norma secundaria anual de SO₂

Se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para SO₂ como concentración anual, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores de concentración anual, en cualquier estación monitorea clasificada como EMRRN, fuere mayor o igual a 31 ppbv. Se considera también sobrepasada la norma secundaria de calidad del aire como concentración anual, si en un año calendario, el valor de concentración en cualquier estación monitorea clasificada como EMRRN fuere mayor o igual a 62 ppbv.

En la Tabla 19, se muestran los valores obtenidos del análisis de las concentraciones anuales del periodo como promedio trianual y el porcentaje respecto de la norma secundaria anual, constatándose que la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 4,47 ppbv (14%), valor por debajo del 80% del límite de 31 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración anual para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del límite de 62 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria anual no fue superada en la estación en estudio.



Tabla 19 Evaluación de la norma secundaria anual de SO₂ para el período 2020 al 2022.

Estación	Concentración Anual 2020 (ppbv)	% de la Norma Anual 2020 (62 ppbv)	Concentración Anual 2021 (ppbv)	% de la Norma Anual 2021 (62 ppbv)	Concentración Anual 2022 (ppbv)	% de la Norma Anual 2022 (62 ppbv)	Promedio Trianual 2020-2021-2022 (ppbv)	% de la Norma Anual (31 ppbv)
Pabellón	S/I	--	S/I	--	S/I	--	---	---
Tierra Amarilla (ENAMI)	5,58	9	4.09	7	3,73	6	4,47	14

S/I: en la estación Pabellón entre los años 2016 y 2022 no realizaron mediciones de SO₂.

El Gráfico 14 muestra las concentraciones anuales del periodo como promedio trianual. Mientras que, el Gráfico 15 presenta las concentraciones anuales para cada uno de los años de periodo analizado.

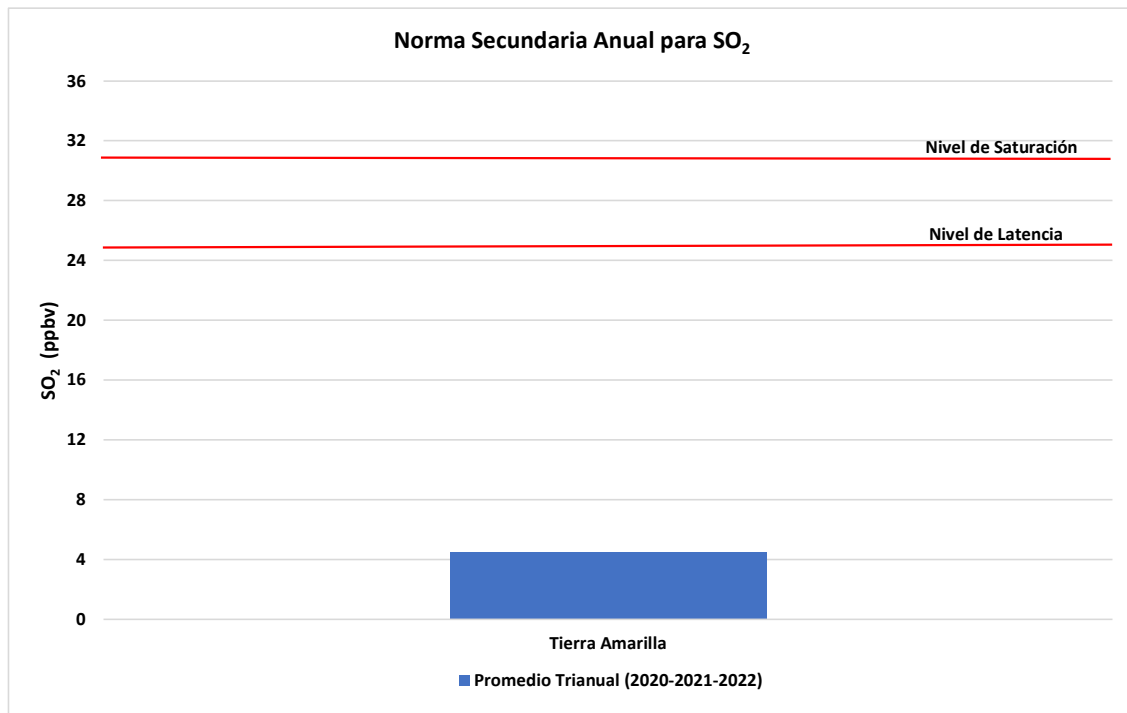


Gráfico 14 Norma secundaria anual para SO₂, promedio trianual durante el período 2020 al 2022.



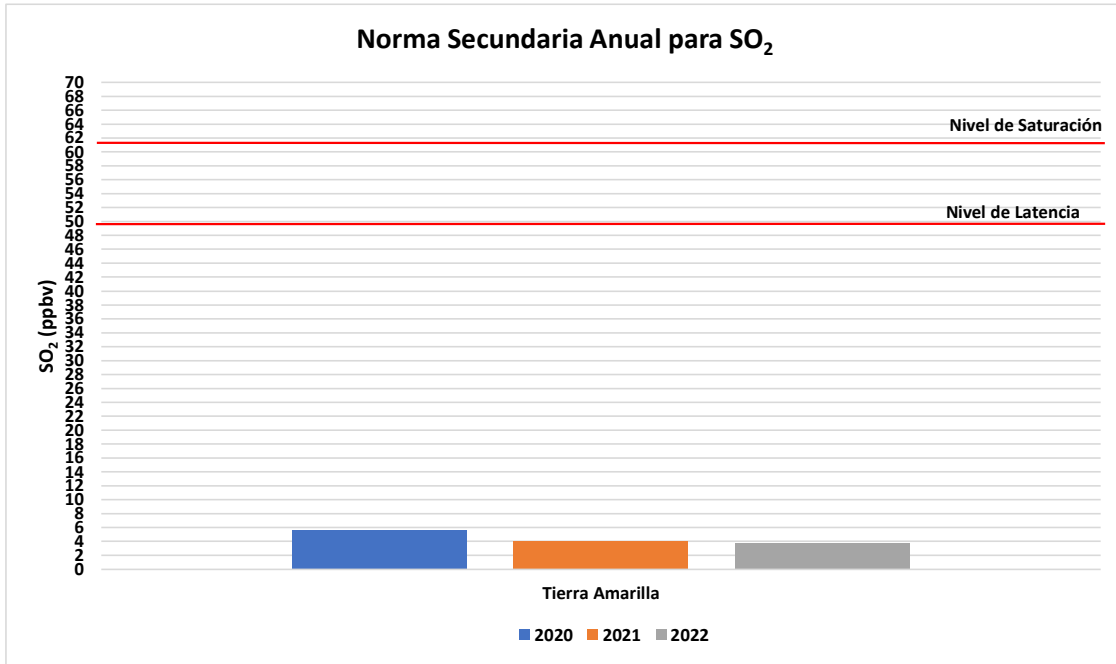


Gráfico 15 Norma secundaria anual para SO₂, período 2020 al 2022.



7. CONCLUSIONES

La revisión de las normas de calidad del aire primaria y secundaria, se realizó en base al periodo comprendido entre el 1° de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2022, considerándose válida la información generada de las mediciones de MP10, plomo (Pb) y SO₂, según corresponda, de las 10 estaciones de la Red de calidad del aire de Copiapó y Tierra Amarilla; Copiapó, San Fernando, Paipote, Tierra Amarilla (ENAMI), Pabellón, Los Volcanes, Candelaria, Luis Uribe, Tierra Amarilla (Candelaria) y Sociedad Punta del Cobre (Ojanco). Para verificar el cumplimiento de las normas se tomó en cuenta la representatividad poblacional para material particulado (MP10), la representatividad poblacional para gases (SO₂) y representatividad para recursos naturales en el caso de la norma secundaria (SO₂), 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 el año 2022.

Norma de calidad del aire para MP10

La evaluación de la norma de MP10 de 24 horas, mediante el análisis del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 para los años 2020 y 2021, se determinó superación al límite normativo sólo en estación Paipote, esto referido al límite de 150 µg/m³N (D.S. 59/1998 de MINSEGPRES). Para el año 2022, también se observó superación al límite de 130 µg/m³N y al 80% del límite de 24 horas (D.S. N°12/2022 del MMA). Las concentraciones obtenidas en las estaciones, mediante el cálculo del percentil 98, y que superaron el límite normativo en el año 2022 correspondieron a: Paipote con 156 µg/m³N (120%) y Tierra Amarilla (Candelaria) con 147 µg/m³N (113%), por otra parte, se observa superación al 80% del límite normativo en estación Tierra Amarilla (ENAMI) con una concentración de 119 µg/m³N (92%).

Para la evaluación de la norma anual, se calculó el promedio trianual de las concentraciones, considerando el valor límite de 50 µg/m³N. La evaluación de los datos para el periodo 2020 al 2022, determinó que la norma anual de MP10 fue superada en cinco (5) de las ocho (8) estaciones evaluadas, siendo la estación Tierra Amarilla (Candelaria) la que registró la concentración más alta con 60 µg/m³N (120%), en Tierra Amarilla (ENAMI) presentó una concentración de 59 µg/m³N (118%), en estación Paipote una concentración de 57 µg/m³N (114%), en estación Luis Uribe una concentración de 54 µg/m³N (108%), y por último, en estación Soc. Punta del Cobre con una concentración de 50 µg/m³N (100%). En relación a las estaciones de San Fernando y Kozan, las concentraciones obtenidas a través del promedio trianual superaron el 80% del valor límite de la norma anual, con una concentración de 48 µg/m³N (96%) y 46 µg/m³N (92%), respectivamente. Y solo la estación de Copiapó no supero el límite de la norma anual ni el 80% del valor límite de la norma anual.



Norma primaria de calidad del aire para Plomo (Pb)

En el análisis de la norma anual de plomo se verificó que, en las estaciones de Copiapó, Paipote, San Fernando y Tierra Amarilla (ENAMI), no superaron el límite normativo y los valores se encontraron muy por debajo del 80% del valor de la norma de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Norma primaria de calidad del aire para SO₂

La evaluación de la norma primaria de 1 hora de SO₂, concluyó que la norma 1 hora, que tiene como límite 134 ppbv no fue superada en ninguna de las estaciones para el período en evaluación (2020 al 2022), y tampoco se superó el 80% del límite de la norma. La concentración más alta como promedio trianual se presentó en Paipote con un valor de 44,35 ppbv, equivalente al 33% del valor límite de la norma de 1 hora.

La evaluación de la norma primaria de SO₂ de 24 horas concluyó que, el límite de 57 ppbv, no fue superado en las estaciones evaluadas para el período de 2020 al 2022, y solo se observó que en estación Paipote el valor obtenido, mediante el promedio trianual del percentil 99, fue de 28,19 ppbv, equivalente al 49% del valor límite de la norma de 24 horas.

Respecto de la norma anual, se determinó que no fue superada en ninguna de las estaciones para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2020 y el día 31 de diciembre de 2022, y los valores se encontraron por debajo del 80% y del valor límite de la norma anual de 23 ppbv. Cabe señalar que, la concentración más alta fue en estación Paipote con un valor de 4,83 ppbv, equivalente al 21% del valor límite de la norma anual.

Norma secundaria de calidad del aire para SO₂

La evaluación del cumplimiento de la norma secundaria 1 hora, que establece un límite de 382 ppbv, mediante el cálculo del promedio trianual del percentil 99,73, para el periodo comprendido entre el año 2020 y 2022; se constató que de las dos estaciones que cuentan con EMRRN, solo fue posible evaluar norma en la estación Tierra Amarilla (ENAMI). El resultado obtenido para la estación Tierra Amarilla (ENAMI) determinó que la concentración fue de 89,61 ppbv (23%), valor por debajo del 80% del límite de 382 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración mediante el percentil 99,73 para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del límite de 764 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria horaria no fue superada en la estación en estudio.

La evaluación de la norma secundaria de 24 horas (140 ppbv), mediante el promedio aritmético de tres años calendarios sucesivos, determinó que en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 22,63 ppbv (16%), valor por debajo del 80% del límite de 140 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración mediante el percentil 99,7 para cada año, donde se obtuvo que,



durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del valor límite de 280 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria 24 horas no fue superada en la estación en estudio.

Por último, para la norma anual secundaria (31 ppbv), determinó mediante el cálculo del promedio trianual, que en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) la concentración fue de 4,47 ppbv (14%), valor por debajo del 80% del límite de 31 ppbv. Del mismo modo, se evaluó la concentración anual para cada año, donde se obtuvo que, durante el periodo analizado, las concentraciones en la estación Tierra Amarilla (ENAMI) se encontraron por debajo del 80% del límite de 62 ppbv. Por lo tanto, se concluye que la norma secundaria anual no fue superada en la estación en estudio.



8. ANEXOS

N° Anexo	Nombre Anexo
1	Resoluciones EMRP y EMRRN.
2	Datos de calidad del aire para el año 2022.

