





Superintendencia del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

INFORME TÉCNICO
CUMPLIMIENTO DE NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE POR
MP2,5, MP10, O₃, SO₂, NO₂ Y CO

RED MACAM-3
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

Sección Calidad de Aire y Emisiones
División de Fiscalización
DFZ-2020-3724-XIII-NC

DICIEMBRE 2020

	Nombre	Firma
Aprobado	Juan Pablo Rodríguez F.	X  Juan Pablo Rodríguez F. Jefe Sección Calidad Aire y Emisiones Firmado por: Juan Pablo Rodríguez Fernandez
Elaborado	Isabel Leiva Campos	X  Isabel Leiva C. Profesional División de Fiscalización Firmado por: Isabel Leiva Campos

CONTENIDO

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-MP2,5, EMRP-MP10 y EMRPG	9
5.2.	Descripción de los equipos de medición utilizados en Red MACAM-3.....	10
5.3.	Auditoría de datos	12
6.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUPERACIÓN DE NORMA	21
6.1.	Evaluación de la norma para MP2,5	21
6.1.1.	Evaluación de la norma 24 horas MP2,5	21
6.1.2.	Evaluación de la norma anual para MP2,5.....	24
6.2.	Evaluación de la norma para MP10	26
6.2.1.	Evaluación de la norma 24 horas MP10.....	26
6.2.2.	Evaluación de la norma anual para MP10.....	29
6.3.	Evaluación de la norma primaria SO ₂	31
6.3.1.	Evaluación de la norma primaria horaria de SO ₂	31
6.3.2.	Evaluación de la norma primaria 24 horas de SO ₂	33
6.3.3.	Evaluación de la norma primaria anual de SO ₂	35
6.4.	Evaluación de la norma primaria O ₃	37
6.4.1.	Evaluación de la norma 8 horas O ₃	37
6.5.	Evaluación de la norma CO	39
6.5.1.	Evaluación de la norma 1 hora CO	39
6.5.2.	Evaluación de la norma 8 horas CO.....	40
6.6.	Evaluación de la norma NO ₂	41
6.6.1.	Evaluación de la norma 1 hora NO ₂	41
6.6.2.	Evaluación de la norma anual NO ₂	43
7.	CONCLUSIONES.....	44
8.	ANEXOS.....	47

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento da cuenta de la evaluación del cumplimiento de las normas primarias de calidad del aire para material particulado fino respirable MP2,5 y MP10, establecida en el D.S. N° 12/2011, del Ministerio del Medio Ambiente y el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Además, dentro del análisis de cumplimiento normativo se evaluaron las normas primarias para gases; SO₂, contenida en el D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente; para NO₂, contenida en el D.S. N° 114/2002; para CO, contenida en el D.S. N° 115/2002 y para O₃, contenida en el D.S. N° 112/2002, estas últimas del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. De acuerdo a lo establecido en la letra e) del artículo 16 de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, corresponderá a la Superintendencia del Medio Ambiente, “fiscalizar las normas de calidad del aire y normas de emisión para cada región, incluida la Metropolitana”.

La actividad de fiscalización consideró la auditoría de los datos proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente, de las estaciones de la Red MACAM-3 declaradas como estaciones de monitoreo con representatividad poblacional para material particulado; MP2,5 y MP10; y representatividad poblacional para gases; SO₂, NO₂, O₃ y CO.

El análisis de datos de MP2,5, MP10, SO₂, NO₂, O₃ y CO se realizó con las mediciones del período comprendido entre el 1° de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2019, período en el cual se utilizó en forma continua un instrumento de medición con aprobación EPA.

Para la auditoría de los datos de mediciones horarias y diarios se consideraron los criterios establecidos en cada una de las normas primarias y aquellos contenidos en el Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos, D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, de MINSAL.

Norma de calidad del aire para MP2,5

El resultado del análisis de los datos de MP2,5 para el año 2019, concluyó que la norma de 24 horas que establece como límite 50 µg/m³, fue superada en ocho (8) de las nueve (9) estaciones calificadas como EMRP para MP2,5, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR), Pudahuel (EMO), Cerrillos (EMP) y El Bosque (EMQ), las que presentaron concentraciones por sobre el límite normativo, con concentraciones de 94 µg/m³ (188%), 91 µg/m³ (182%), 74 µg/m³ (148%) y 72 µg/m³ (144%), respectivamente.

Complementariamente, se calculó el número de días con excedencias a la norma de 24 horas para cada estación, determinándose que todas las estaciones presentan un número superior a 7 excedencias, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR) con 55 días, El Bosque (EMQ) con 46 días, Pudahuel (EMO) con 42 días y Cerrillos (EMP) con 41 días, las que presentaron el mayor número de excedencias a la norma de 24 horas.

En relación a la evaluación de la norma anual para MP2,5, mediante el cálculo del promedio trianual de las concentraciones, se concluyó que la norma fue superada en las 8 estaciones analizadas que cumplen con el porcentaje de datos válidos para el periodo en estudio, encontrándose las estaciones de El Bosque (EMQ) y Cerro Navia (EMR) con una concentración de $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (155%), la estación Pudahuel (EMO) con una concentración de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (140%) e Independencia (EMF) con una concentración de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (135%), La Florida (EML) con $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130%), Quilicura (EMV) $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (125%), Puente Alto (EMS) $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (110%) y finalmente Las Condes (EMM) con $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (105%).

Norma de calidad del aire para MP10

El análisis de la norma de MP10 de 24 horas, que establece como límite $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, determinó que de las once (11) estaciones evaluadas, cinco (5) superaron el límite normativo de 24 horas, y tres (3) estaciones superaron el 80% de la norma 24 horas.

En forma complementaria, se calculó el número de días con excedencias a la norma de 24 horas para cada estación, determinándose que siete (7) de las estaciones evaluadas presentaron más de 7 excedencias, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR) con 36 días, Pudahuel (EMO) y Cerrillos (EMP) ambas con 22 días, El Bosque (EMQ) con 15 días y Parque O'Higgins (EMN) con 11 días, las que presentaron el mayor número de excedencias a la norma de 24 horas.

A nivel de norma anual de MP10, se concluyó esta fue superada en diez (10) de las 11 estaciones que cumplen con el criterio normativo del periodo evaluado de la Región Metropolitana a excepción de Talagante (EMT), que superó el 80% de la norma anual. Por otra parte, la evaluación determinó que las estaciones que presentaron las concentraciones más altas fueron: Cerro Navia (EMR) con una concentración de $72 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (144%), El Bosque (EMQ) e Independencia (EMF) con $70 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (140%) en ambas estaciones, Parque O'Higgins (EMN) con $68 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (136%), La Florida (EML) y Quilicura (EMV) con una concentración de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (132%).

Norma primaria de calidad del aire para SO₂

Cabe señalar que para el período analizado 2017 al 2019 para el contaminante SO₂, de las seis (6) estaciones que cuentan con la calificación EMRPG por SO₂, solo fue posible evaluar la norma en la estación La Florida (EML) y El Bosque (EMQ), el resto de las estaciones no presentaron mediciones.

El análisis de la norma de 1 hora que establece un límite de 134 ppbv, mediante el cálculo del percentil 98,5, determinó que esta no fue superada en la Estación de El Bosque (EMQ). La estación La Florida no cumplió con el criterio del 75% de datos horarios validos establecido para el cálculo de la norma de 1 hora para 2019.

El resultado del análisis de la norma de 24 horas para SO₂ que establece como límite 57 ppbv, a través del cálculo del promedio trianual del percentil 99, concluyó que la norma no fue superada en

la estación evaluada de la Red MACAM-3, El Bosque (EMQ), encontrándose el valor promedio trianual por debajo del 80% de la norma de 24 horas.

Respecto de la norma anual para SO_2 que establece como límite 23 ppbv, se concluyó que la norma anual no fue superada en la estación evaluada de la Red MACAM-3, El Bosque (EMQ), encontrándose el valor promedio trianual por debajo del 80% de la norma anual.

Norma primaria de calidad del aire para O_3

Para el contaminante O_3 se evaluó la norma de 8 horas mediante el cálculo del percentil 99, y del análisis realizado a las seis (6) estaciones calificadas como EMRPG, solo fue posible la evaluación de la norma de 8 horas en las estaciones Independencia (EMF), Las Condes (EMM), La Florida (EML) y El Bosque (EMQ). La evaluación concluyó que la norma de 8 horas, que establece como límite 61 ppbv, fue superada en las estaciones de Las Condes (EMM) con una concentración de 81 ppbv (133%). Las estaciones de Independencia (EMF), Parque O'Higgins (EMN) y El Bosque (EMQ), se encontraron por sobre el 80% de la norma de 8 horas.

Norma primaria de calidad del aire para CO

De acuerdo al análisis efectuado para la norma de 1 hora de CO que establece como límite 26 ppmv, para el periodo 2017 al 2019, se determinó que la norma no fue superada en las seis (6) estaciones evaluadas de la Red MACAM-3 y tampoco fue superado el 80% de la norma.

En la evaluación del cumplimiento de la norma de 8 horas de CO que establece como límite 9 ppmv, mediante el promedio trianual del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas, se determinó que la norma no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red MACAM-3, encontrándose todas por debajo del 80% del límite normativo

Norma primaria de calidad del aire para NO_2

La evaluación de la norma de 1 hora por NO_2 que establece como límite 213 ppbv, mediante el cálculo del promedio del percentil 99 de tres años, concluyó que la norma no fue superada en la estación de Pudahuel (EMO), encontrándose por debajo del 80% del límite normativo con una concentración de 73,73 ppbv (35%). Para la estación de Las Condes (EMM), debido a que no alcanzo el 75% de datos validos como concentración de 24 horas en el año 2017, no fue posible evaluar la norma de 1 hora.

En relación a la evaluación de la norma de NO_2 a nivel anual y que establece como límite 53 ppbv, determinó que para las estaciones de Pudahuel (EMO) en el año 2017 y Las Condes (EMM) en el periodo comprendido entre el año 2017 y 2019, no cuentan con el 75% de datos válidos en alguno de sus trimestres, por lo que no fue posible evaluar la norma anual.

2. INTRODUCCIÓN

La declaración de Zona Saturada a la Región Metropolitana de Santiago, se efectuó el 12 de junio de 1996, mediante el D.S. N° 131/1996 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. En él se estableció zona saturada por material particulado respirable, partículas en suspensión, ozono y monóxido de carbono; y zona latente por dióxido de nitrógeno. El año 1998, el D.S. N° 16/1998, oficializa el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA), que contiene las metas de calidad del aire y las medidas orientadas al control de las principales fuentes contaminantes identificadas en la región. Posteriormente el Plan fue reformulado en dos oportunidades a través del D.S. N° 59/2003 y del D.S. N° 66/2009, este último actualmente vigente.

El 18 de enero de 2011 el Ministerio del Medio Ambiente estableció la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5, D.S. N° 12/2011 del MMA, con entrada en vigencia a partir del 1° de enero de 2012. En ella se establecen los límites de calidad primaria para MP2,5, con un máximo de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración anual y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración de 24 horas.

En el año 2013 la Superintendencia del Medio Ambiente realizó una fiscalización ambiental a la Red Automática de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos, Red MACAM-3, con el objeto de evaluar la representatividad poblacional para MP2,5. Producto de esta fiscalización en el año 2014, se calificaron como EMRP (Estaciones de monitoreo con representatividad poblacional) por MP2,5, un total de 7 estaciones de monitoreo.

En el año 2014, se evaluaron los datos de material particulado fino MP2,5 proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente. La información evaluada correspondió a las estaciones de la Red MACAM-3 declaradas como EMRP por MP2,5, para el período comprendido entre el 1 de enero y 31 de mayo de 2014, de esta evaluación anticipada de la norma se generó el informe DFZ-2014-371-XIII-NC-EI, el que constató el estado de cumplimiento de la norma por 24 horas.

Estos antecedentes permitieron al Ministerio del Medio Ambiente, declarar como zona saturada por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración de 24 horas, a la región Metropolitana, el 15 de noviembre de 2014. Posteriormente, el 24 de noviembre de 2017 se promulgo el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago, el que tiene por objetivo dar cumplimiento a las normas primarias de calidad ambiental de aire vigentes, asociadas a los contaminantes Material Particulado Respirable (MP10), Material Particulado Fino Respirable (MP2,5), Ozono (O_3) y Monóxido de Carbono (CO), en un plazo de 10 años.

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 los años 2017, 2018 y 2019, con el fin de obtener información válida que permita evaluar las normas de calidad del aire. Se debe señalar que los datos fueron proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente, mediante el Of. Ord. N° 202482 del 30 de junio de 2020. Las estaciones informadas cuentan con declaración de representatividad poblacional (EMRP en adelante) por MP2,5, MP10 y representatividad poblacional de gases (EMRPG en adelante) por SO₂ norma primaria. El proceso de auditoría y análisis de los datos consideró la verificación del cumplimiento normativo de las normas primarias de calidad del aire de 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 a lo establecido en la Resolución Exenta N° 302, de 2011, del Subsecretario del Medio Ambiente, que instruye sobre modificaciones al procedimiento de declaración de zona saturada y latente, a partir de la entrada en vigencia de la nueva Institucionalidad Ambiental, modificada por la Resolución Exenta N° 422, de 2012.

3. OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire primaria para MP2,5, MP10, SO₂, NO₂, O₃ y CO; en su nivel horario, diario y anual, según corresponda, para las estaciones que cuentan con representatividad poblacional para MP2,5, MP10 y de gases de la Red MACAM-3. Para lo anterior se determinará la validez de las mediciones realizadas por la Red MACAM-3, en base a una auditoría de los datos; para el período comprendido entre el 1° de enero al 31 de diciembre de 2019. Para los años 2017 y 2018 se utilizaron los datos validados por esta Superintendencia y publicados en los informes de fiscalización DFZ-2018-2665-XIII-NC-EI y DFZ-2019-2221-XIII-NC.

4. ALCANCE

La evaluación se realizó en las estaciones que conforman la Red MACAM-3 y que cuenten con EMRP por material particulado y/o gases, según corresponda.

Las estaciones utilizadas para la evaluación de datos de MP2,5, y que cumplen con el requisito de estación declarada como EMRP para MP2,5 son: Independencia (EMF), La Florida (EML), Las Condes (EMM), Pudahuel (EMO), Cerrillos (EMP), El Bosque (EMQ), Cerro Navia (EMR), Puente Alto (EMS) y Quilicura (EMV).

Las estaciones utilizadas para la evaluación de datos de MP10, y que cumplen con el requisito de estación declarada como EMRP para MP10 son: Independencia (EMF), La Florida (EML), Las Condes (EMM), Parque O'Higgins (EMN), Pudahuel (EMO), Cerrillos (EMP), El Bosque (EMQ), Cerro Navia (EMR), Puente Alto (EMS), Talagante (EMT) y Quilicura (EMV).

Las estaciones utilizadas para la evaluación de datos de NO₂, y que cumplen con el requisito de estación declarada como EMRP para Gases son: Las Condes (EMM) y Pudahuel (EMO).

Las estaciones utilizadas para la evaluación de datos de SO₂, CO y O₃, y que cumplen con el requisito de estación declarada como EMRP para Gases son: Las Condes (EMM), La Florida (EML), Pudahuel (EMO), El Bosque (EMQ), Independencia (EMF) y Parque O'Higgins (EMN).

A continuación en la Tabla 1 se muestran los valores límite a nivel horario, 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° 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.	MP2,5	No aplica	50 µg/m ³	20 µg/m ³
D.S. N° 59/1998, modificado por D.S. N° 45/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.	MP10	No aplica	150 µg/m ³ N	50 µg/m ³ N
D.S. N° 112/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.	O ₃	61 ppbv (8 Horas)	-----	-----
D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente	SO ₂	134 ppbv	57 ppbv	23 ppbv
D.S. N° 114/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.	NO ₂	213 ppbv (1 Hora)	-----	53 ppbv
D.S. N° 115/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.	CO	26 ppmv (1 Hora) 9 ppmv (8 Horas)	-----	-----

5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS

La información de las mediciones de MP2,5, MP10, SO₂, NO₂, O₃ y CO, se reportó a esta Superintendencia por parte del Ministerio del Medio Ambiente, mediante el Of. Ord. N° 202482 del 30 de junio de 2020, incluyendo los datos crudos, datos validados y códigos de invalidación, en promedios horarios y en el formato establecido en el D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, del MINSAL.

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

En la Tabla 2 se describen las estaciones de la Red MACAM-3 y sus respectivas resoluciones que las califican como estación de monitoreo con representatividad poblacional para material particulado (MP10 y MP2,5) y representatividad poblacional para gases.

Tabla 2 Estaciones declaradas como EMRP para MP10, MP2,5, SO₂, CO, O₃ y NO₂

Estación de Monitoreo	Resolución que otorga EMRP para MP2,5	Resolución que otorga EMRP para MP10	Resolución que otorga EMRPG para SO ₂ , CO y O ₃	Resolución que otorga EMRPG para NO ₂
Independencia (EMF)	Res. Exenta N° 83 del 7 de febrero de 2014, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 11481 del 18 de junio de 1998 de MINSAL	Res. N° 121821 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	No Tiene
La Florida (EML)	Res. Exenta N° 82 del 7 de febrero de 2014, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 11481 del 18 de junio de 1998 de MINSAL	Res. N° 121821 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	No Tiene
Las Condes (EMM)	Res. Exenta N° 84 del 7 de febrero de 2014, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 11481 del 18 de junio de 1998 de MINSAL	Res. N° 121821 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	Res. N° 121820 del 4 de enero de 2006 de MINSAL
Pudahuel (EMO)	Res. Exenta N° 88 del 7 de febrero de 2014, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 11481 del 18 de junio de 1998 de MINSAL	Res. N° 121821 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	Res. N° 121820 del 4 de enero de 2006 de MINSAL
El Bosque (EMQ)	Res. Exenta N° 87 del 7 de febrero de 2014, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 11481 del 18 de junio de 1998 de MINSAL	Res. N° 121821 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	No Tiene
Puente Alto (EMS)	Res. Exenta N° 85 del 7 de febrero de 2014, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 13454 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	No Tiene	No Tiene
Quilicura (EMV)	Res. Exenta N° 439 del 18 de mayo de 2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. Exenta N° 245 del 18 de febrero de 2019, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	No Tiene	No Tiene
Parque O'Higgins (EMN)	No Tiene	Res. N° 11481 del 18 de junio de 1998 de MINSAL	Res. N° 121821 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	No Tiene
Cerrillos (EMP)	Res. Exenta N° 870 del 20 de julio de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. Exenta N° 65 del 16 de enero de 2019, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	No Tiene	No Tiene
Cerro Navia (EMR)	Res. Exenta N° 573 del 24 de junio de 2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente.	Res. N° 66862 del 23 de noviembre de 2007 del MINSAL	No Tiene	No Tiene
Talagante (EMT)	No Tiene	Res. N° 13454 del 4 de enero de 2006 de MINSAL	No Tiene	No Tiene

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

Tabla 3 Estaciones de la Red MACAM-3 Georreferenciadas

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (m)	
	Datum WGS84, Huso 19 S	
Independencia (EMF)	346.488 E	6.300.681 N
La Florida (EML)	352.504 E	6.290.304 N
Las Condes (EMM)	358.305 E	6.305.906 N
Pudahuel (EMO)	337.311 E	6.298.809 N
El Bosque (EMQ)	345.313 E	6.286.825 N
Puente Alto (EMS)	352.049 E	6.282.013 N
Quilicura (EMV)	339.594 E	6.308.625 N
Parque O'Higgins (EMN)	345.673 E	6.296.019 N
Cerrillos (EMP)	341.712 E	6.292.436 N
Cerro Navia (EMR)	338.984 E	6.299.360 N
Talagante (EMT)	318.945 E	6.272.298 N

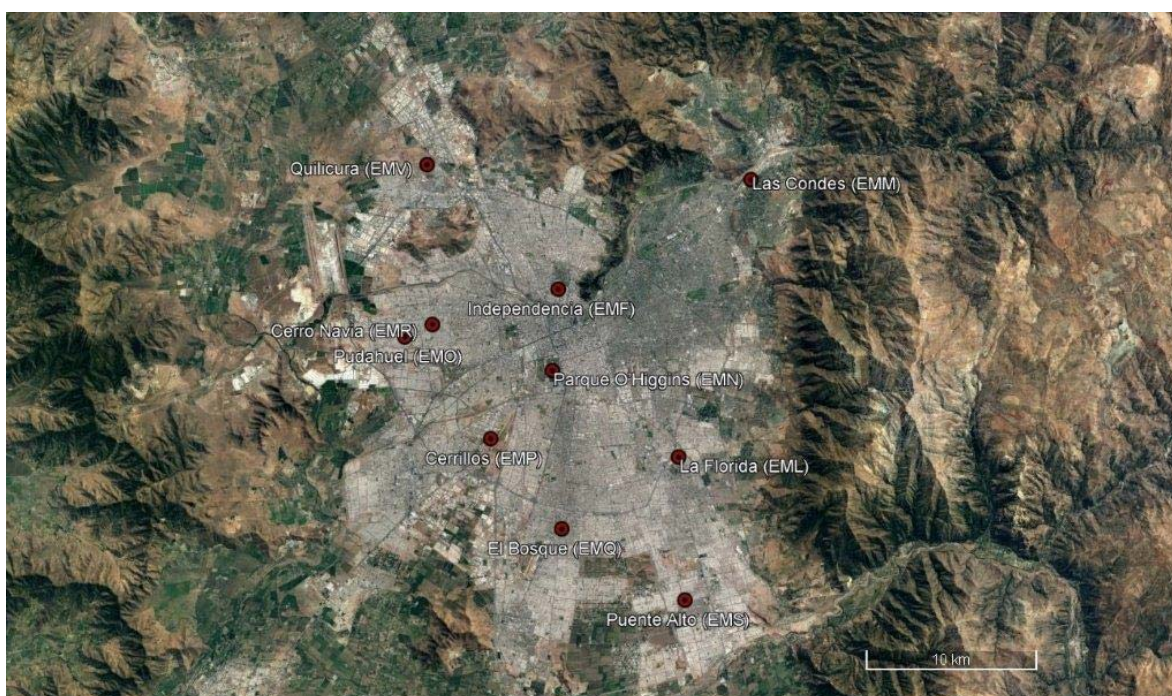


Figura 1 Ubicación de estaciones de calidad del aire de la Red MACAM-3.

5.2. Descripción de los equipos de medición utilizados en Red MACAM-3

De acuerdo a los antecedentes entregados por el Ministerio del Medio Ambiente para el año 2019, los instrumentos de medición utilizados para el monitoreo de MP10, MP2,5, O₃, NO₂, CO y SO₂ en las estaciones evaluadas, cumplen con el requisito de emplear equipos con aprobación USEPA, establecido en las normas primarias. En la Tabla 4 se describen los instrumentos y métodos de

medición de MP10, MP2,5, O₃, NO₂, CO y SO₂ utilizados en las estaciones de calidad del aire analizadas.

Tabla 4 Listado de instrumentos y métodos de medición de los equipos de la Red MACAM-3 declaradas como EMRP por MP10, MP2,5, SO₂, CO, O₃ y NO₂

Estación de Monitoreo	Parámetro	Método de Medición	Marca/Modelo	Método de Referencia o Equivalente EPA
Independencia (EMF)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
	O ₃	Fotometría ultravioleta	Thermo 49i	EQQA-0880-047
	CO	Fotometría Infrarroja de filtro de correlación de gas	Thermo 48i	RFCA-0981-054
La Florida (EML)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
	SO ₂	Fluorescencia	Thermo 43i	EQSA-0486-060
	O ₃	Fotometría ultravioleta	Thermo 49i	EQQA-0880-047
	CO	Fotometría Infrarroja de filtro de correlación de gas	Thermo 48i	RFCA-0981-054
Las Condes (EMM)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
	O ₃	Fotometría ultravioleta	Thermo 49i	EQQA-0880-047
	CO	Fotometría Infrarroja de filtro de correlación de gas	Thermo 48i	RFCA-0981-054
	NO ₂	Quimiluminiscencia	Thermo 42i	RFNA-1289-074
Pudahuel (EMO)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
	O ₃	Fotometría ultravioleta	Thermo 49i	EQQA-0880-047
	CO	Fotometría Infrarroja de filtro de correlación de gas	Thermo 48i	RFCA-0981-054
	NO ₂	Quimiluminiscencia	Thermo 42i	RFNA-1289-074
El Bosque (EMQ)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
	SO ₂	Fluorescencia	Thermo 43i	EQSA-0486-060
	O ₃	Fotometría ultravioleta	Thermo 49i	EQQA-0880-047
	CO	Fotometría Infrarroja de filtro de correlación de gas	Thermo 48i	RFCA-0981-054
Cerrillos (EMR)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
Puente Alto (EMS)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
Parque O'Higgins (EMN)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	CO	Fotometría Infrarroja de filtro de correlación de gas	Thermo 48i	RFCA-0981-054

Estación de Monitoreo	Parámetro	Método de Medición	Marca/Modelo	Método de Referencia o Equivalente EPA
Cerro Navia (EMR)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
Quilicura (EMV)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122
	MP2,5	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP2,5	EQPM-0308-170
Talagante (EMT)	MP10	Basado en el principio de atenuación beta	Met One BAM 1020-MP10	EQPM-0798-122

Cabe señalar que para las estaciones Parque O'Higgins (EMN), Independencia (EMF), Las Condes (EMM) y Pudahuel (EMO), a pesar de contar con representatividad poblacional para el contaminante de SO₂, se constató que no se realizan mediciones de este contaminante a la fecha de elaboración de este informe.

5.3. Auditoría de datos

Los datos validados por el MMA, fueron sometidos a una revisión usando como criterio lo establecido en cada una de las normas de calidad del aire primaria y de acuerdo a lo indicado en el D.S. N° 61/2008, modificado por D.S. N° 30/2009 de MINSAL. Además, se evaluó el comportamiento de los datos de manera anual, mediante gráficas de series de tiempo para cada una de las variables.

La auditoría de los datos consideró una revisión de los códigos de invalidación horarios reportados para los contaminantes MP10, MP2,5, SO₂, NO₂, CO y O₃ de cada estación. En la Tabla 5 se recopilan los porcentajes de datos inválidos por estación y contaminante para el año 2019. En ésta se observa que la estación Independencia (EMF) presenta un 23,3% de datos inválidos para CO, por otra parte la estación La Florida (EML) presenta porcentajes de datos inválidos de 64,8 % para SO₂ y de un 35,3% para O₃, y para el resto de las estaciones presentan porcentajes menores al 25% de sus datos inválidos.

Por otro lado, cabe destacar que los datos correspondientes a los años 2017 y 2018 fueron auditados en los informes DFZ-2018-2665-XIII-NC-EI y DFZ-2019-2221-XIII-NC.

Tabla 5 Porcentaje de datos horarios inválidos en el año 2019

Estación	MP10 (%)	MP2,5 (%)	SO ₂ (%)	CO (%)	O ₃ (%)	NO ₂ (%)
Independencia (EMF)	1,9	3,2	S/I	23,3	1,4	
La Florida (EML)	4,1	5,1	64,8	3,7	35,3	
Las Condes (EMM)	4,6	2,6	S/I	16,4	1,4	13,4
Parque O'Higgins (EMN)	2,6		S/I	5,5	4,2	
Pudahuel (EMO)	2,6	4,2	S/I	7,7	3,5	5,9
Cerrillos (EMP)	7,6	2,6				

El Bosque (EMQ)	3,9	5,4	5,3	11,8	12,9	
Cerro Navia (EMR)	3,0	1,6				
Puente Alto (EMS)	0,2	1,4				
Talagante (EMT)	4,6					
Quilicura (EMV)	3,7	3,1				

S/I: estaciones calificadas como EMRPG, pero que no miden el contaminante.

Se determinó estadísticamente la cantidad de datos disponible para el cálculo de los promedios diarios. La construcción de los promedios diarios (24 horas) se realizó en base a la disponibilidad de datos 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 horas, éstos se invalidaron de acuerdo a lo descrito en el decreto mencionado.

En la Tabla 6 se presentan el número de días válidos y el porcentaje de datos disponibles para el período 2017 al 2019, para los contaminantes MP10, MP2,5, SO₂, NO₂, O₃ y CO, según corresponda a cada estación. De la Tabla 6, se puede concluir que la mayoría de las estaciones que miden los contaminantes antes mencionados, presentan un porcentaje de datos válidos superior al 75% para el periodo, a excepción de las estaciones de; Las Condes (EMM) para el parámetro de NO₂ con 73% en año 2017, Pudahuel (EMO) para el parámetro de O₃ con 68% en año 2018, por último para 2019 estación La Florida (EML) con 35% de SO₂ y 64% de O₃.

Cabe señalar que para el periodo analizado (2017-2019), se observa una disminución en el número de estaciones que monitorean el contaminante SO₂, las que corresponden a estaciones calificadas como EMRPG, de un número de seis (6) estaciones calificadas para medir SO₂ en la actualidad (2019) solo miden dos (2) estaciones (ver Tabla6).

Tabla 6 Porcentaje de datos válidos para los años 2017-2018-2019

Estación	2017						2018						2019					
	MP10 % 24 hr	MP2,5 % 24 hr	SO ₂ % 1 hr	CO % 1 hr	O ₃ % 1 hr	NO ₂ % 1 hr	MP10 % 24 hr	MP2,5 % 24 hr	SO ₂ % 1 hr	CO % 1 hr	O ₃ % 1 hr	NO ₂ % 1 hr	MP10 % 24 hr	MP2,5 % 24 hr	SO ₂ % 1 hr	CO % 1 hr	O ₃ % 1 hr	NO ₂ % 1 hr
Independencia (EMF)	96	96	S/I	98	94		98	96	S/I	94	99		98	97	S/I	76	98	
La Florida (EML)	98	95	99	97	98		93	91	85	90	95		95	94	35	96	64	
Las Condes (EMM)	94	95	S/I	96	96	73	91	93	S/I	96	89	82	95	97	S/I	83	98	86
Parque O'Higgins (EMN)	100		S/I	92	86		96		S/I	96	100		97		S/I	95	98	
Pudahuel (EMO)	99	95	S/I	96	94	87	99	95	S/I	99	68	94	96	95	S/I	91	97	93
Cerrillos (EMP)							58 ⁽¹⁾	56 ⁽²⁾					93	97				
El Bosque (EMQ)	98	96	99	90	95		99	96	98	82	97		96	94	94	87	87	
Cerro Navia (EMR)	88	94					99	96					97	98				
Puente Alto (EMS)	99	96					99	93					100	98				
Talagante (EMT)	94						95						95					
Quilicura (EMV)	96	92					99	92					97	97				

¹Inicio de mediciones válidas a partir del 19 de mayo de 2018 en estación Cerrillos.

²Inicio de mediciones válidas a partir del 28 de mayo de 2018 en estación Cerrillos.

S/I: estaciones calificadas como EMRPG pero que no monitorean el contaminante.

A continuación, en las siguientes tablas se resumen los porcentajes de datos válidos a nivel mensual para los años 2017, 2018 y 2019, para los diferentes parámetros en estudio. En la Tabla 7, se observa que para el contaminante MP10 la mayoría de las estaciones registra un porcentaje de datos válidos superior al 75% a nivel mensual. Sin embargo, para el año 2017 se puede observar que la estación Independencia (EMF) presenta en el mes de junio un porcentaje de 70%; Las Condes (EMM) presenta en el mes de mayo un porcentaje de 68% de datos válidos; Cerro Navia (EMR) con 63% en septiembre, 45% en octubre y 68 % en diciembre y finalmente Talagante (EMT) con 67% en noviembre. Para el año 2018 se presentaron porcentajes inferiores al 75% de datos válidos en las estaciones de La Florida (EML) con 48% en marzo; La Condes (EMM) con 73% en septiembre y 67% en noviembre; Cerrillos (EMP) 42% en mayo y 61% en octubre y Talagante (EMT) registra un 70%. Respecto del año 2019, la estación La Florida (EML) presentó un 68% en octubre; la estación de Las Condes (EMM) presentó 54% en febrero; en estación Cerrillos (EMP) en febrero presentó un 61 %; El Bosque presentó 58% en diciembre y por ultimo Cerro Navia (EMR) con un 68% en marzo.

Tabla 7 Porcentaje de datos válidos de MP10 por mes y estación para los años 2017, 2018 y 2019

Estación	MESES (%)												
	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Independencia (EMF)	2017	100	100	90	100	100	70	100	100	100	97	100	100
	2018	100	100	94	97	100	90	100	97	100	100	97	100
	2019	94	96	100	100	97	100	97	100	97	100	93	100
La Florida (EML)	2017	100	100	100	100	100	100	94	97	100	100	90	97
	2018	90	93	48	100	94	100	100	100	100	97	97	100
	2019	94	100	100	100	94	100	100	100	97	68	90	100
Las Condes (EMM)	2017	87	100	100	97	68	93	87	97	97	100	100	100
	2018	100	100	84	100	100	93	94	94	73	84	67	100
	2019	100	54	90	93	100	100	100	100	100	100	100	94
Parque O'Higgins (EMN)	2017	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2018	100	100	77	97	100	100	97	100	100	81	100	100
	2019	100	100	81	93	97	100	100	100	97	100	100	100
Pudahuel (EMO)	2017	100	100	97	100	100	97	97	100	97	100	97	100
	2018	100	100	100	100	94	93	100	100	100	97	100	100
	2019	100	100	100	100	90	100	100	97	87	84	100	100
Cerrillos (EMP)	2017	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2018	--	--	--	--	42	100	100	100	83	61	100	100
	2019	97	61	87	87	100	100	97	97	97	97	100	100
El Bosque	2017	94	93	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Estación	MESES (%)												
	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(EMQ)	2018	100	96	100	90	100	100	100	97	100	100	100	100
	2019	100	93	100	100	97	100	100	100	100	100	100	58
Cerro Navia (EMR)	2017	100	100	94	100	100	93	97	94	63	45	100	68
	2018	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	97
	2019	100	93	68	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Puente Alto (EMS)	2017	100	96	100	100	100	97	97	100	100	97	100	100
	2018	100	100	100	100	100	97	94	100	100	100	97	100
	2019	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Talagante (EMT)	2017	100	100	100	100	100	100	100	97	100	75	67	90
	2018	100	96	94	100	90	70	97	100	100	90	100	100
	2019	100	100	84	100	97	100	100	100	90	100	93	81
Quilicura (EMV)	2017	100	100	77	100	90	93	100	100	100	97	100	97
	2018	84	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2019	94	100	81	90	100	100	100	100	100	100	100	100

En la Tabla 8, se observa que para el contaminante MP2,5 la mayoría de las estaciones presentó un porcentaje de datos válidos superior al 75% de los registros mensuales para el periodo 2017 al 2019, a excepción de algunos meses con porcentajes de datos inferior al 75%, en el año 2017 se observa en Pudahuel (EMO) un 73% en septiembre, Cerro Navia (EMR) un 65% en marzo y Quilicura (EMV) con un 70% en septiembre. En relación al año 2018, se observa en estación La Florida (EML) un 48% en marzo, en Las Condes (EMM) con un 73% en noviembre, en Cerrillos (EMP) con un 10% en mayo y 70% en octubre, por último en estación Puente Alto (EMS) presenta un 74% en los meses de marzo y octubre respectivamente. Finalmente para el año 2019, se observa que la estación La Florida (EML) presentó un 68% en octubre y la estación de El Bosque (EMQ) un 58% en diciembre.

Tabla 8 Porcentaje de datos válidos de MP2,5 por estación para el año 2017-2018-2019

Estación	MESES (%)												
	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Independencia (EMF)	2017	100	96	84	97	100	97	100	100	80	100	100	100
	2018	100	96	77	97	100	100	100	97	100	84	97	100
	2019	94	96	81	97	100	100	97	100	97	100	100	100
La Florida (EML)	2017	100	100	84	100	100	100	87	97	80	100	90	97
	2018	94	79	48	100	97	100	100	100	87	94	93	100

Estación	MESES (%)												
	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2019	94	100	81	100	100	100	100	100	97	68	90	100
Las Condes (EMM)	2017	90	100	87	97	97	100	87	100	83	100	100	100
	2018	100	82	100	100	100	93	100	100	77	87	73	97
	2019	100	89	81	100	100	100	100	100	100	100	100	94
Pudahuel (EMO)	2017	100	100	84	90	100	100	97	100	73	100	100	100
	2018	100	89	94	100	94	93	100	100	100	74	100	100
	2019	100	100	84	100	90	100	100	97	87	84	100	100
Cerrillos (EMP)	2017	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2018	--	--	--	--	10	100	100	100	93	100	70	100
	2019	100	100	87	83	100	100	97	100	97	100	100	97
El Bosque (EMQ)	2017	94	93	77	100	100	100	100	100	83	100	100	100
	2018	100	93	84	90	100	100	100	100	83	100	97	100
	2019	100	89	84	100	100	100	97	97	100	100	100	58
Cerro Navia	2017	100	100	65	100	100	93	100	100	83	87	100	100
	2018	100	100	87	100	100	100	100	100	93	77	93	97
	2019	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	97
Puente Alto (EMS)	2017	100	100	84	100	100	100	97	100	100	77	100	97
	2018	100	100	74	100	100	97	94	97	97	74	97	84
	2019	100	100	84	100	100	100	100	100	100	97	100	100
Quilicura (EMV)	2017	97	100	77	100	94	90	100	97	70	87	100	97
	2018	84	100	81	90	100	100	100	100	100	52	100	100
	2019	94	100	81	90	100	100	100	100	100	100	100	100

En la Tabla 9, se resumen los porcentajes de datos validados de ozono para los años 2017, 2018 y 2019, se observa en general un porcentaje de datos válidos es superior al 75%, sin embargo, en el año 2017 la estación Independencia (EMF) presentó un 52% en agosto, Parque O'Higgins (EMN) con 0% en enero, 71% en febrero y 73% en abril; Pudahuel con 42% en enero y por último la estación El Bosque (EMQ) con 71% en enero y 68% en marzo. Por otra parte, en el año 2018 la estación La Florida (EML) presentó en el mes de marzo un 52%; Las Condes (EMM) 46% en febrero, 61% en marzo y 70% en noviembre; y Pudahuel (EMO) con 4 meses con porcentajes de datos validos por debajo del 75%. En relación al año 2019, la estación La Florida (EML) presenta cinco meses con porcentajes de datos validos por debajo del 75%, Parque O'Higgins (EMN) 73% en junio; y El Bosque (EMQ) con 4 meses con porcentajes de datos validos por debajo del 75%.

Tabla 9 Porcentaje de datos válidos de O₃ por estación para los años 2017-2018-2019

Estación	Año	MESES (%)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Independencia (EMF)	2017	100	100	100	100	100	97	100	52	100	81	93	97
	2018	97	100	97	97	100	100	100	97	100	100	97	100
	2019	87	93	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100
La Florida (EML)	2017	100	100	100	100	100	100	84	94	100	97	90	97
	2018	97	100	52	100	97	100	97	100	100	97	100	97
	2019	94	100	100	83	0	13	0	26	97	71	90	100
Las Condes (EMM)	2017	90	93	100	93	100	97	87	84	97	97	100	100
	2018	90	46	61	100	100	97	100	100	87	87	70	100
	2019	84	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94
Parque O'Higgins (EMN)	2017	0	71	100	73	100	100	100	100	83	100	100	100
	2018	100	100	100	100	100	100	97	97	100	100	100	100
	2019	100	100	100	100	100	73	100	100	100	100	100	100
Pudahuel (EMO)	2017	42	100	100	100	100	97	97	97	93	100	100	100
	2018	100	100	100	100	84	93	100	100	33	0	0	0
	2019	100	100	100	100	97	93	100	97	93	84	100	100
El Bosque (EMQ)	2017	71	93	68	100	100	100	100	100	97	100	97	97
	2018	100	96	100	90	90	87	94	100	100	100	100	100
	2019	100	96	100	100	74	67	100	32	100	100	100	74

En la Tabla 10, se resumen los datos válidos de SO₂ a nivel mensual para los años 2017, 2018 y 2019, Para el año 2017, las Estaciones La Florida (EML) y El Bosque (EMQ) presentaron porcentajes de datos por debajo del 75% requerido. Por otra parte para el año 2018, solo la estación La Florida (EML) presentó porcentajes bajo el 75%, en marzo un 48%, en agosto 0% y 70%, en septiembre. Finalmente en el año 2019, se observa en estación La Florida (EML) solo con dos meses de datos validos sobre el 75%, la Estación el Bosque (EMQ) con porcentajes de 68% en febrero y 58% en diciembre.

Cabe señalar que, las estaciones de Independencia (EMF) y Parque O'Higgins (EMN) no realizan mediciones de SO₂, en el caso de la primera desde octubre de 2014 y en caso de la segunda desde octubre de 2015.

Tabla 10 Porcentaje de datos válidos de SO₂ por estación para los años 2017-2018-2019

Estación	Año	MESES (%)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Independencia (EMF)	2017	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2018	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2019	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
La Florida (EML)	2017	100	100	100	100	100	100	87	97	100	100	90	97
	2018	97	100	48	100	97	100	100	0	70	97	100	100
	2019	94	61	0	0	6	100	39	0	0	52	67	0
Parque O'Higgins (EMN)	2017	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2018	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2019	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
El Bosque (EMQ)	2017	94	93	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2018	100	82	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100
	2019	100	68	100	100	100	100	100	100	100	100	100	58

En la Tabla 11, se resumen los datos válidos de NO₂ a nivel mensual para los años 2017, 2018 y 2019, en ésta se observa que estación Las Condes (EMM) y Pudahuel (EMO) presentó en general un porcentaje de datos válidos superior al 75%. Cabe señalar que, en el año 2017 se observó la estación Las Condes (EMM) con 0% en abril y mayo, y 10% en junio, y para estación Pudahuel (EMO) con 48% en marzo y 23% en octubre. En relación al año 2018 en estación Las Condes (EMM) se presentan porcentajes de 33% para abril, 41% en mayo y 65% en noviembre, en estación Pudahuel (EMO) se presenta porcentaje menor de 63% en noviembre. En el año 2019 se presentan porcentajes menores, para la Estación Las Condes (EMM) 16% y 47% en marzo y abril respectivamente, en estación Pudahuel (EMO) se presenta solo un porcentaje menor de 73% en septiembre.

Tabla 11 Porcentaje de datos válidos de NO₂ por estación para los años 2017-2018-2019

Estación	Año	MESES (%)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Las Condes (EMM)	2017	90	100	87	0	0	10	87	100	100	100	100	100
	2018	93	100	100	33	41	82	95	99	93	89	65	88
	2019	100	86	16	47	90	100	100	100	100	97	100	94
Pudahuel (EMO)	2017	100	100	48	100	100	100	87	97	97	23	93	100
	2018	100	100	93	88	97	86	99	99	99	100	63	100
	2019	100	100	100	100	87	83	94	90	73	84	100	100

En la Tabla 12, se resumen los datos válidos de CO a nivel mensual en los años 2017, 2018 y 2019, se observa que la mayoría de las estaciones presentaron al menos 1 mes con porcentajes de datos válidos inferior al 75%, cabe mencionar que en el año 2017 solo la estación Pudahuel (EMO) presentó un porcentaje inferior al 75% de datos válidos en septiembre. Para el año 2018, se observó que la estación Independencia (EMF) con un 49% en septiembre, La Florida (EML) con un 48% en marzo, Parque O'Higgins (EMN) con un 62% en marzo, en tanto la estación El Bosque (EMQ) presentó 57% en febrero, 11% en marzo, 70% en mayo y 58% en diciembre. Por último para el año 2019, se observó que la estación Independencia (EMF) presentó un 58% en marzo, 61% en agosto, 30% en noviembre y 0 % en diciembre, La Florida (EML) con un 71% en octubre, Las Condes (EMM) con 55% en agosto, 0% en septiembre, Parque O'Higgins (EMN) con 61% en febrero, Pudahuel (EMO) con 60% en septiembre y 74% en octubre y finalmente la estación de El Bosque (EMQ) presenta un 20% en septiembre y 61% en diciembre.

Tabla 12 Porcentaje de datos válidos de CO por estación para los años 2017-2018-2019

Estación	Año	MESES (%)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Independencia (EMF)	2017	100	100	100	100	100	100	94	100	100	94	93	97
	2018	91	100	96	95	95	100	99	98	49	100	99	100
	2019	94	79	58	100	100	100	100	61	93	100	30	0
La Florida (EML)	2017	97	100	100	93	100	97	84	100	100	97	90	90
	2018	91	79	48	93	85	100	99	100	100	97	100	85
	2019	94	100	100	100	100	100	100	100	97	71	90	100
Las Condes	2017	90	100	100	93	97	93	84	97	93	100	97	100

Estación	MESES (%)												
	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(EMM)	2018	99	99	100	100	100	99	99	100	85	92	78	97
	2019	87	86	94	100	94	100	100	55	0	84	100	94
Parque O'Higgins (EMN)	2017	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2018	99	97	62	100	100	100	100	99	100	100	96	100
	2019	94	61	87	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pudahuel (EMO)	2017	100	100	100	100	100	100	97	97	70	90	100	100
	2018	100	100	100	100	97	96	99	100	100	100	100	100
	2019	97	96	100	90	97	100	100	97	60	74	83	100
Cerrillos (EMP)	2017	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2018	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2019	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
El Bosque (EMQ)	2017	81	75	100	100	100	83	100	97	100	100	100	100
	2018	99		11	90	70	100	99	100	100	100	100	58
	2019	77	93	100	100	97	100	100	100	20	100	100	61

6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUPERACIÓN DE NORMA

6.1. Evaluación de la norma para MP2,5

6.1.1. Evaluación de la norma 24 horas MP2,5

El período de evaluación de superación de la norma para MP2,5, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 13 se presenta un resumen de los valores obtenidos a través del cálculo del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP2,5, para los años 2017, 2018 y 2019, en las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

De acuerdo a los límites 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 µg/m³, en cualquier estación monitorea calificada como EMRPMP2,5.

De acuerdo al análisis efectuado en la Tabla 13, se determinó que el valor de la norma de MP2,5 como concentración de 24 horas es superada en el año 2019 en 8 de las 9 estaciones evaluadas, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR), Pudahuel (EMO), Cerrillos (EMP) y El Bosque (EMQ) las que presentaron una mayor excedencia a la norma, con concentraciones de 94 µg/m³ (188%),

91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (182%), 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (148%) y 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (144%) respectivamente, por su parte la estación de La Condes (EMM) alcanzo una concentración de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (90%).

Tabla 13 Evaluación de la norma 24 horas para MP2,5 para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 98 Año 2017 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma 24 horas 2017 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentil 98 Año 2018 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma 24 horas 2018 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentil 98 Año 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma 24 horas 2019 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Independencia (EMF)	68	136	65	129	67	134
La Florida (EML)	72	143	60	119	64	128
Las Condes (EMM)	60	120	44	89	45	90
Pudahuel (EMO)	79	157	79	158	91	182
Cerrillos ¹ (EMP)	----	----	----	----	74	148
El Bosque (EMQ)	83	166	81	163	72	144
Cerro Navia ² (EMR)	79	157	90	180	94	188
Puente Alto (EMS)	62	123	53	106	53	106
Quilicura ³ (EMV)	71	141	62	124	67	134

¹Inicio de mediciones válidas a partir del 28 de mayo de 2018.

²Inicio de las mediciones válidas a partir del 14 de marzo de 2016 en estación Cerro Navia.

³Inicio de las mediciones válidas a partir del 30 de octubre de 2016 (De acuerdo al art. 9° de Res. Exenta N° 439/SMA).

Adicionalmente, en el Gráfico 1, se pueden observar los percentiles 98 de las concentraciones de 24 horas, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019.

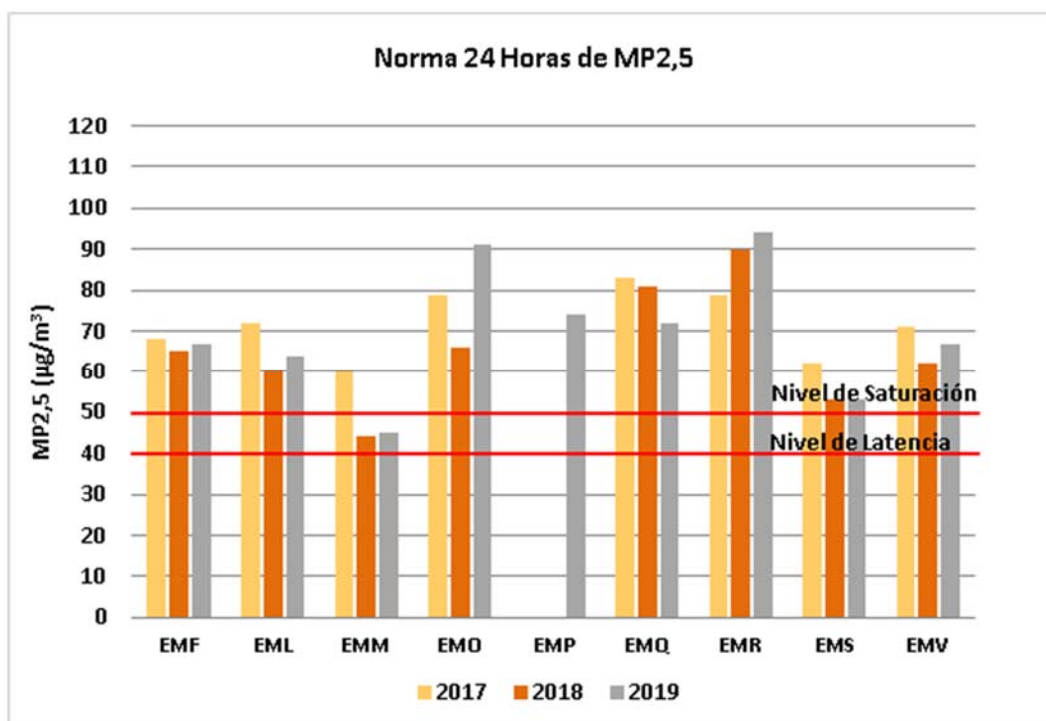


Gráfico 1 Norma 24 Horas MP2,5 para el periodo 2017 al 2019

Cabe señalar que al considerar las concentraciones diarias de MP2,5 para un año calendario (365 o 366 días), el cálculo del percentil 98 permite un máximo de 7 excedencias, es decir 7 días con registros mayores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración de 24 horas.

En la Tabla 14 se resume el número de días de excedencias a la norma de 24 horas por estación durante el año 2019, la cual muestra que el mayor número de días con excedencias se presentó en las estaciones de Cerro Navia (EMR) con 55 días, El Bosque (EMQ) con 46 días y Pudahuel (EMO) con 42 días.

Tabla 14 Días superación norma 24 horas de MP2,5 para el año 2019

Estación	Días superación Norma 24 horas 2019
Independencia (EMF)	27
La Florida (EML)	24
Las Condes (EMM)	2
Pudahuel (EMO)	42
Cerrillos (EMP)	41
El Bosque (EMQ)	46
Cerro Navia (EMR)	55
Puente Alto (EMS)	9
Quilicura (EMV)	27

El Gráfico 2 muestra el número de excedencias por estación, desagregada a nivel mensual, para el período comprendido entre enero y diciembre del 2019, donde se observa que los días en los cuales se excede la norma se distribuyen en su mayoría entre mayo y julio, siendo la estación de Cerro Navia (EMR), El Bosque (EMQ), Pudahuel (EMO) y Cerrillos (EMP) las que presentaron el mayor número de excedencias a la norma de 24 horas, con 55, 46, 42 y 41 días respectivamente.

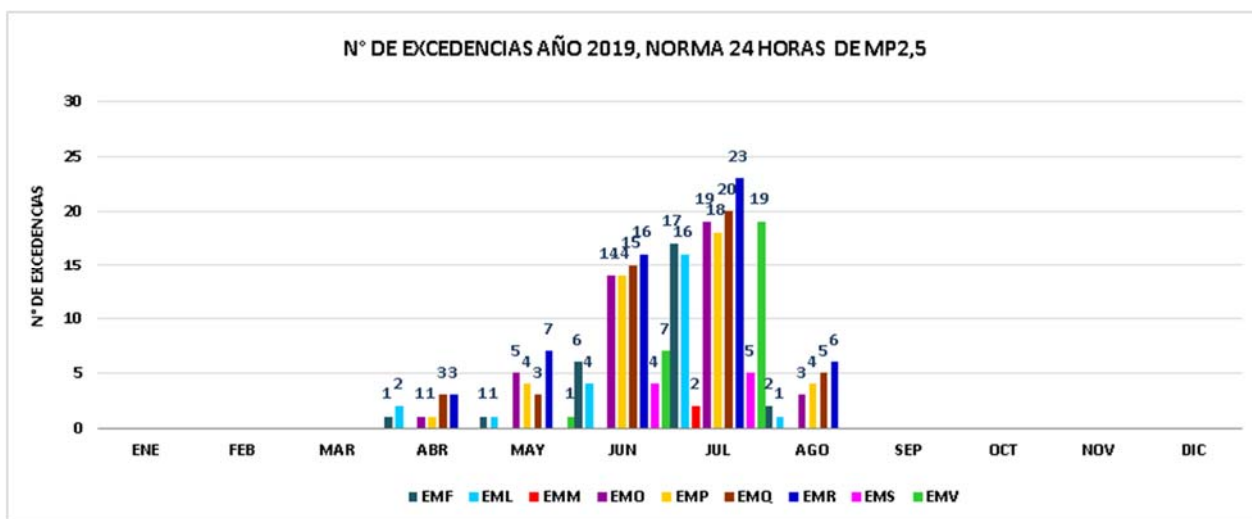


Gráfico 2 Excedencias norma 24 Horas MP2,5 para el año 2019

6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP2,5

El periodo de evaluación de superación de la norma anual para MP2,5, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 15, se presenta un resumen de los valores obtenidos a través del cálculo de la media anual de las concentraciones de 24 horas de MP2,5, para los años 2017, 2018 y 2019, en las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo a 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. Si al cabo de un año, en alguna de las estaciones de monitoreo de calidad del aire clasificadas como EMRP, se verifica la superación de la norma, su frecuencia de medición deberá ser diaria.

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

Estación	Concentración Anual Año 2017 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración Anual Año 2018 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración Anual Año 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de la Norma Anual 20 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Independencia (EMF)	28	27	26	27	135
La Florida (EML)	27	25	25	26	130
Las Condes (EMM)	22	22	20	21	105
Pudahuel (EMO)	28	28	27	28	140
Cerrillos (EMP) ¹	----	----	25	---	---
El Bosque (EMQ)	32	31	29	31	155
Cerro Navia (EMR) ²	32	31	30	31	155
Puente Alto (EMS)	23	23	21	22	110
Quilicura (EMV) ³	27	25	24	25	125

¹Inicio de mediciones válidas a partir del 28 de mayo de 2018.

²Inicio de las mediciones válidas a partir del 14 de marzo de 2016 en estación Cerro Navia.

³Inicio de las mediciones válidas a partir del 30 de octubre de 2016 (De acuerdo al art. 9° de Res. Exenta N° 439/SMA).

La evaluación de la norma anual, con la información disponible para los años 2017, 2018 y 2019, indica que ésta fue superada en todas las estaciones de la Red, encontrándose las estaciones de El Bosque (EMQ) y Cerro Navia con una concentración de $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (155%), la estación Pudahuel (EMO) con una concentración de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (140%), Independencia (EMF) con una concentración de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (135%), La Florida (EML) $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130%), Quilicura (EMV) $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (125%), Puente Alto (EMS) $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (110%) y Las Condes (EMM) $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (105%).

Complementariamente, en el Gráfico 3, se pueden observar las concentraciones de la media trianual por estación, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019.

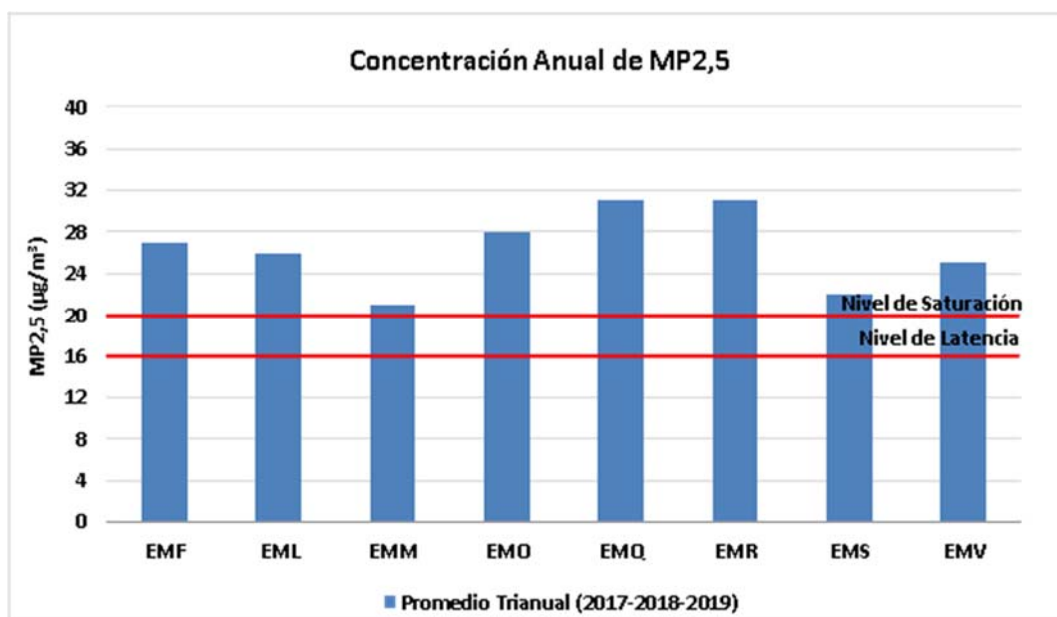


Gráfico 3 Norma Anual para MP2,5, Promedio Trianual periodo 2017 al 2019

6.2. Evaluación de la norma para MP10

6.2.1. Evaluación de la norma 24 horas MP10

El período de evaluación de superación de la norma para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 16 se presenta un resumen de los valores calculados del percentil 98 de la concentración 24 horas de la norma de MP10, para los años 2017, 2018 y 2019, de las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

Cabe señalar que, de acuerdo a los límites establecido en el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del MINSEGPRES, 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 EMRPM10, sea mayor o igual a 150 µg/m³N.
- Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluyese el primer período anual de mediciones certificadas por el Servicio de Salud competente se registrare en alguna de las estaciones monitoras de Material Particulado Respirable MP10 clasificada como EMRP, un número de días con mediciones sobre el valor de 150 mg/m³N mayor que siete (7).

De acuerdo a la condición a), de las once (11) estaciones evaluadas para el año 2019, es posible señalar que 6 estaciones superan el límite normativo de 24 horas durante el periodo anual de mediciones, encontrándose las estaciones de Cerro Navia (EMR), Pudahuel (EMO), Cerrillos (EMP) y El Bosque (EMQ) las que presentaron una mayor excedencia a la norma, con concentraciones de

198 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (132%), 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (121%), 169 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (113%) y 168 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (112%) respectivamente. Por otra parte, la evaluación determinó que 3 estaciones superan el 80% de la norma 24 horas y solo 2 estaciones están por debajo del 80% de la norma 24 horas.

Tabla 16 Evaluación de la norma 24 horas para MP10 para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 98 Año 2017 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas Año 2017 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Percentil 98 Año 2018 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas Año 2018 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Percentil 98 Año 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	% de la Norma 24 horas Año 2019 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Independencia (EMF)	161	107	137	92	163	109
La Florida (EML)	132	88	118	78	138	92
Las Condes (EMM)	88	59	96	64	106	71
Parque O'Higgins (EMN)	146	97	132	88	158	105
Pudahuel (EMO)	156	104	128	85	182	121
Cerrillos ¹ (EMP)	----	----	----	----	169	113
El Bosque (EMQ)	132	88	128	86	168	112
Cerro Navia (EMR)	161	108	148	98	198	132
Puente Alto (EMS)	113	75	106	71	126	84
Talagante (EMT)	105	70	113	75	115	77
Quilicura (EMV)	141	94	144	96	149	99

¹Inicio de mediciones válidas a partir del 19 de mayo de 2018.

El Gráfico 4 muestra los valores obtenidos del cálculo del percentil 98 de las concentraciones diarias para el contaminante MP10, por estación, para los años 2017, 2018 y 2019.

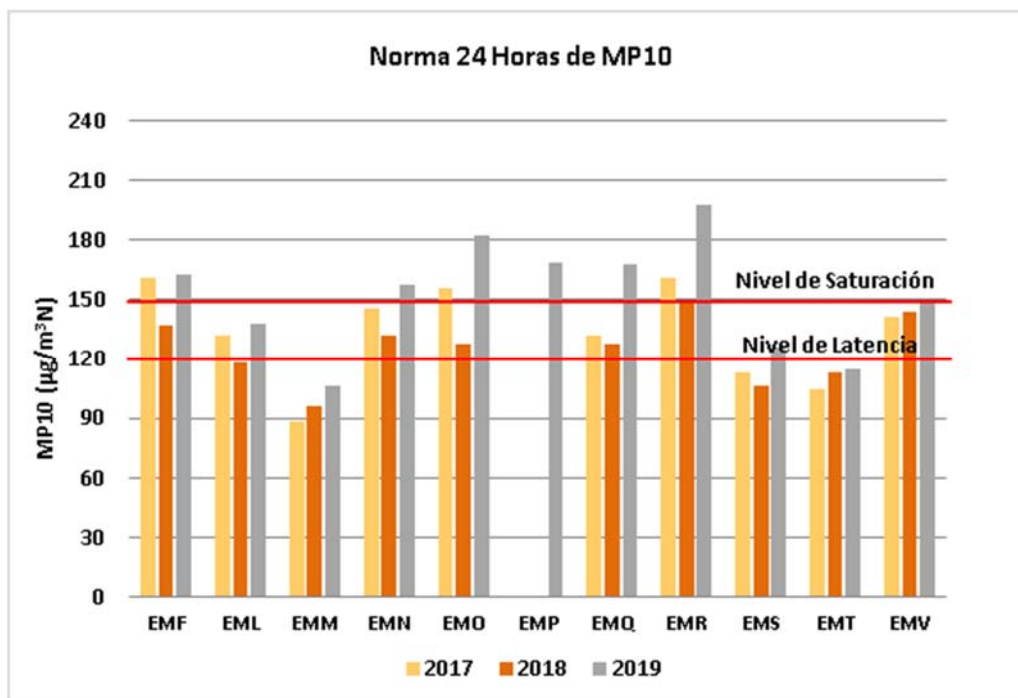


Gráfico 4 Norma 24 horas para MP10 para el período 2017 al 2019

En la Tabla 17 se resume el número de días de excedencias a la norma de 24 horas por estación durante el año 2019, la cual muestra que el mayor número de días con excedencias se presentó en las estaciones de Cerro Navia (EMR) con 36 días, Pudahuel (EMO) y Cerrillos (EMP), ambas estaciones con 22 días, El Bosque (EMQ) con 15 días, Parque O'Higgins con 11 días, Independencia (EMF) con 9 días y Quilicura (EMV) con 7 días.

Tabla 17 Días superación norma 24 horas de MP10 para el año 2019

Estación	Días superación Norma 24 horas 2019
Independencia (EMF)	9
La Florida (EML)	4
Las Condes (EMM)	0
Parque O'Higgins (EMN)	11
Pudahuel (EMO)	22
Cerrillos (EMP)	22
El Bosque (EMQ)	15
Cerro Navia (EMR)	36
Puente Alto (EMS)	1
Talagante (EMT)	1
Quilicura (EMV)	7

Adicionalmente, en el Gráfico 5, se recopilan el número de excedencias de la norma de 24 horas por MP10, a nivel mensual y por estación durante el año 2019, donde se aprecia que las excedencias se dieron mayoritariamente en los meses de mayo, junio y julio.

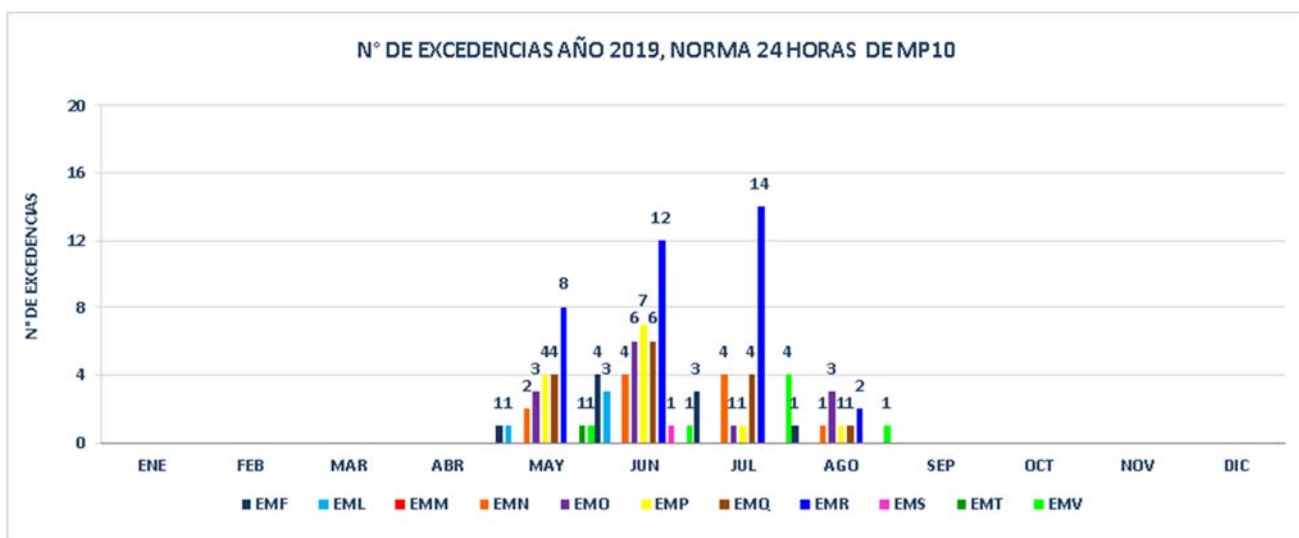


Gráfico 5 Excedencias a la Norma de 24 horas de MP10 en el año 2019

6.2.2. Evaluación de la norma anual para MP10

De acuerdo a los límites establecido en el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del MINSEGPRES, 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 período de evaluación de la norma anual para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 18, se presenta un resumen de los valores obtenidos a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2017, 2018 y 2019, para las estaciones de vigilancia de la Red MACAM-3.

La evaluación de los datos válidos de MP10 como norma anual determinó que la norma de MP10 fue superada en todas las estaciones evaluadas de la Región Metropolitana a excepción de Talagante (EMT), que superó el 80% de la norma anual. Las estaciones de Cerro Navia (EMR) registró una concentración de $72 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (144%), Independencia (EMF) y El Bosque (EMQ) presentaron una concentración de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (140%), seguidas de la estación Parque O'Higgins (EMN) con $68 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (136%), Quilicura (EMV) y La Florida (EML) con $66 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (132%), y Pudahuel (EMO) con $65 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (130%).

Tabla 18 Evaluación de la norma anual para MP10 para el período 2017 al 2019

Estación	Promedio Anual 2017 (µg/m³N)	Promedio Anual 2018 (µg/m³N)	Promedio Anual 2019 (µg/m³N)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (µg/m³N)	% de la Norma Anual (50 µg/m³N)
Independencia (EMF)	70	67	72	70	140
La Florida (EML)	65	62	72	66	132
Las Condes (EMM)	48	55	58	54	108
Parque O'Higgins (EMN)	64	65	74	68	136
Pudahuel (EMO)	65	58	73	65	130
Cerrillos ¹ (EMP)	----	----	78	---	
El Bosque (EMQ)	65	65	79	70	140
Cerro Navia ² (EMR)	77	60	80	72	144
Puente Alto (EMS)	58	58	71	62	124
Talagante (EMT)	49	45	51	48	96
Quilicura ³ (EMV)	65	65	68	66	132

¹Inicio de mediciones válidas a partir del 19 de mayo de 2018.

Complementariamente, en el Gráfico 6, se pueden observar las concentraciones correspondientes al promedio aritmético de los tres años calendarios consecutivos, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019.

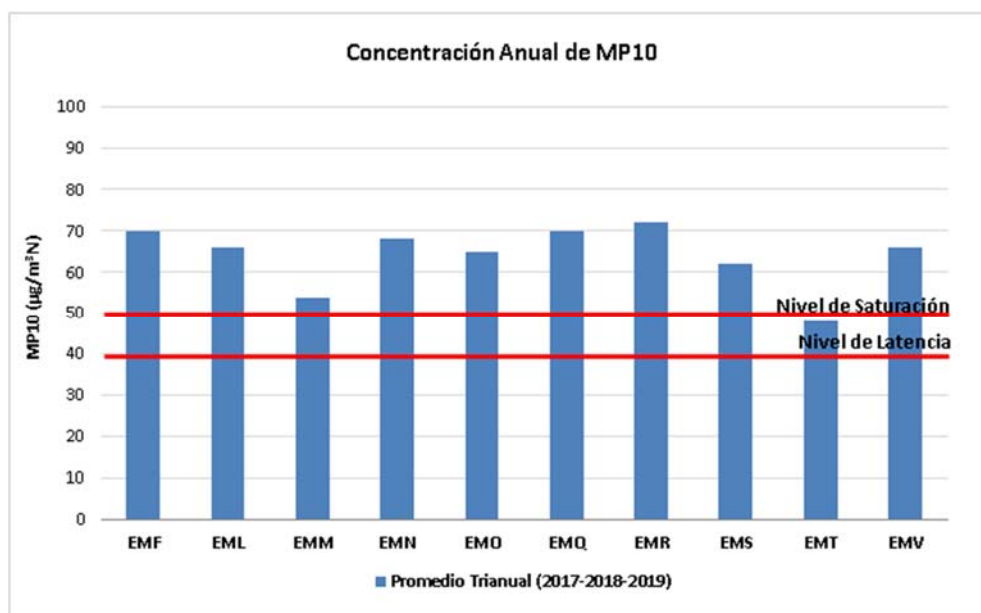


Gráfico 6 Norma Anual para MP10 Promedio Trianual para el período 2017 al 2019

6.3. Evaluación de la norma primaria SO₂

6.3.1. Evaluación de la norma primaria horaria de SO₂

El periodo de evaluación de superación de la norma primaria de 1 hora para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 19, se presenta un resumen con los valores del percentil 98,5 de la norma de 1 hora para SO₂, en todas las estaciones de vigilancia de la calidad del aire de la Red MACAM-3.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente, de acuerdo a 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 año de publicada la norma en el Diario Oficial, se considera un percentil 99 para evaluar esta condición.

Tabla 19 Evaluación de la norma primaria de 1 hora de SO₂ para el período 2017 - 2019

Estación	Percentil 98,5 Año 2017 (ppbv)	Percentil 98,5 Año 2018 (ppbv)	Percentil 98,5 Año 2019 (ppbv)	Percentil 98,5 Promedio Trianual 2017-2018-2019 (ppbv)	% de la Norma 1 hora (134 ppbv)
Independencia (EMF)	S/I	S/I	S/I	---	---
La Florida (EML)	1,00	4,47	*	---	---
Parque O'Higgins (EMN)	S/I	S/I	S/I	---	---
El Bosque (EMQ)	2,78	3,28	2,91	2,99	2

*El porcentaje de datos válidos es inferior al 75%. S/I: Sin información.

De acuerdo a lo calculado, Tabla 19, se determinó que la norma de 1 hora no fue superada en la Estación de El Bosque (EMQ), cabe destacar que en Estación La Florida no fue posible evaluar el percentil 98,5 debido a que no se contó con el % de datos horarios válidos para el periodo en evaluación.

El Gráfico 7 muestra los valores obtenidos del análisis del percentil 98,5 del periodo como promedio trianual. Mientras que, el Gráfico 8 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.

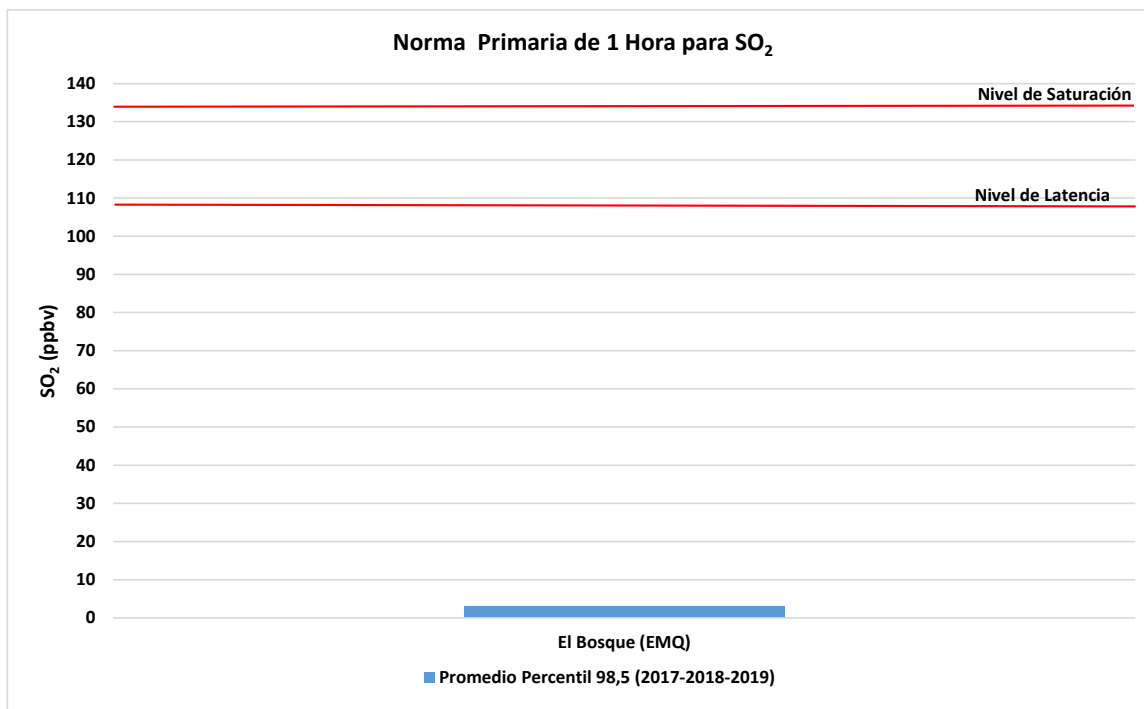


Gráfico 7 Norma primaria de 1 hora para SO₂, promedio trianual periodo 2017 al 2019 (condición a)

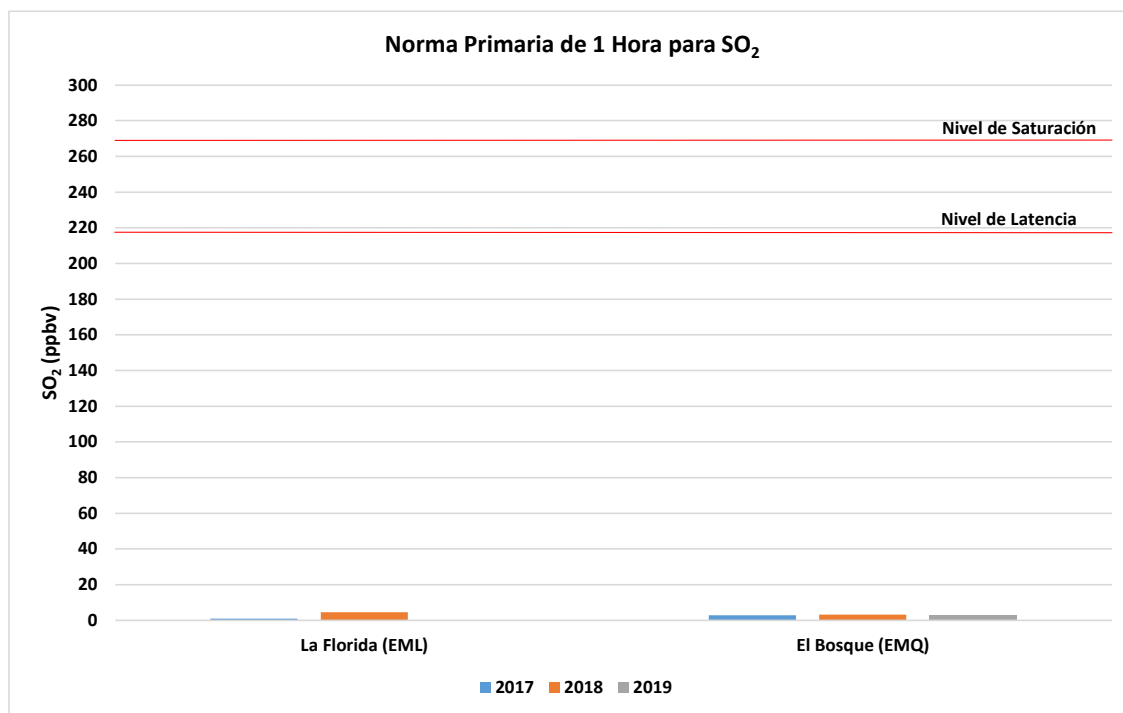


Gráfico 8 Norma primaria de 1 hora para SO₂, por año para el periodo 2017 al 2019 (condición b)

6.3.2. Evaluación de la norma primaria 24 horas de SO₂

El período de evaluación de superación de la norma 24 horas para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 20 se presenta un resumen con los valores del percentil 99 de la norma de 24 horas para SO₂, en todas las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

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

Cabe señalar que, las estaciones Independencia (EMF) y Parque O'Higgins (EMN), no presentan información desde octubre de 2014 y desde octubre de 2015, respectivamente, por lo que no fue posible evaluar la norma como concentración de 24 horas en ambas estaciones, cabe señalar que

de las dos estaciones posibles de evaluar, solo una contó con el porcentaje de datos válidos para el periodo en estudio.

La Tabla 20, muestra el análisis del cumplimiento de la norma de 24 horas por SO₂ como promedio trianual del percentil 99, el que determinó que la norma 24 horas no fue superada en la única estación evaluada, El Bosque (EMQ), de la Red MACAM-3.

Tabla 20 Evaluación de la norma 24 horas de SO₂ para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 99 Año 2017 (ppbv)	Percentil 99 Año 2018 (ppbv)	Percentil 99 Año 2019 (ppbv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppbv)	% de la Norma 24 horas (57 ppbv)
Independencia (EMF)	S/I	S/I	S/I	---	---
La Florida (EML)	2,51	4,42	*	---	---
Parque O'Higgins (EMN)	S/I	S/I	S/I	---	---
El Bosque (EMQ)	3,35	3,06	2,47	2,96	5

*El porcentaje de datos válidos es inferior al 75%. S/I: Sin información.

A continuación, en los Gráfico 9, se observa el promedio trianual del percentil 99 de las concentraciones diarias por estación para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En el Gráfico 10, se muestra la evaluación de norma de manera anual.

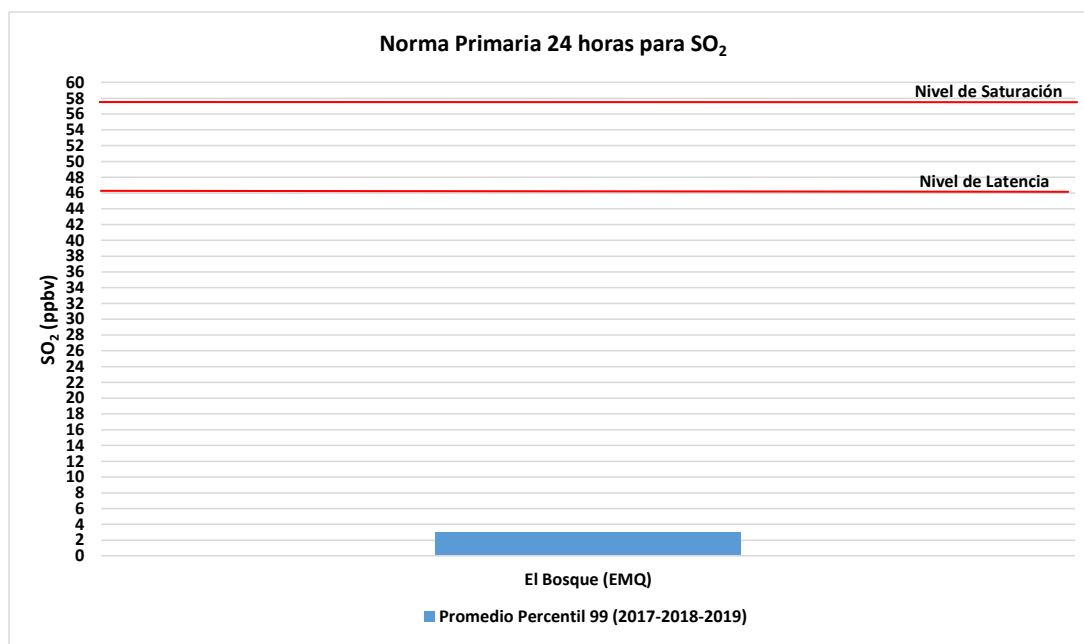


Gráfico 9 Norma primaria 24 horas para SO₂, promedio trianual periodo 2017 al 2019 (condición a)

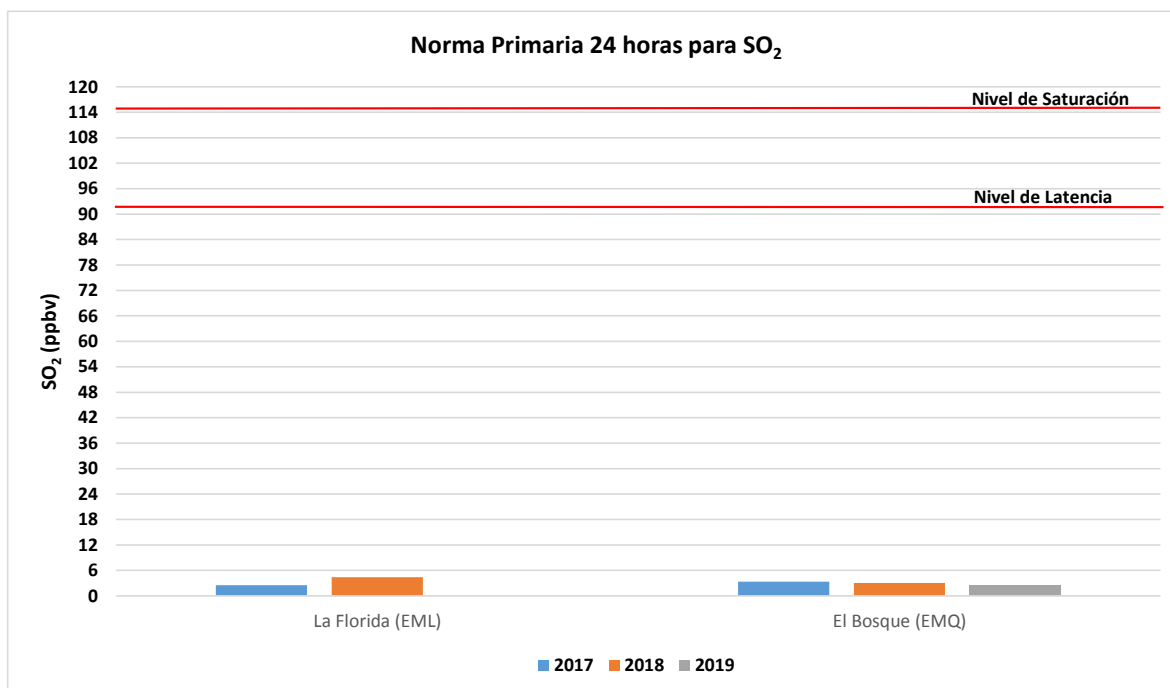


Gráfico 10 Norma primaria 24 horas para SO₂, por año para el periodo 2017 al 2019 (condición b)

6.3.3. Evaluación de la norma primaria anual de SO₂

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

- 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).
- 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.

El período de evaluación de superación de la norma anual para SO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. Se debe señalar que, las estaciones Independencia (EMF) y Parque O'Higgins (EMN), no presentaron información desde octubre de 2014 y desde octubre de 2015, respectivamente, por lo que no fue posible evaluar la norma anual en ambas estaciones. En el caso de la estación de la Florida (EML) no se cuenta con tres años calendarios consecutivos de concentraciones para evaluar la norma anual de SO₂.

En la Tabla 21 se presenta un resumen con los promedios anuales y la evaluación de la norma anual para SO₂ en las estaciones de la Red MACAM-3. De las dos (2) estaciones que miden el contaminante, solo fue posible de evaluar la norma anual en la estación de El Bosque (EMQ), encontrándose muy por debajo del límite establecido de 23 ppbv.

Tabla 21 Evaluación de la norma anual para SO₂ para el período 2017 al 2019

Estación	Promedio Anual 2017 (ppbv)	Promedio Anual 2018 (ppbv)	Promedio Anual 2019 (ppbv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppbv)	% de la Norma Anual (23 ppbv)
Independencia (EMF)	S/I	S/I	S/I	---	---
La Florida (EML)	1,11	*	*	---	---
Parque O'Higgins (EMN)	S/I	S/I	S/I	---	---
El Bosque (EMQ)	1,40	1,17	1,17	1,25	5

* El porcentaje de datos válidos es inferior al 75%. S/I: Sin información.

Complementariamente, en las gráficas se puede observar el comportamiento de la estaciones de acuerdo a la condición a y b de la norma anual de SO₂.

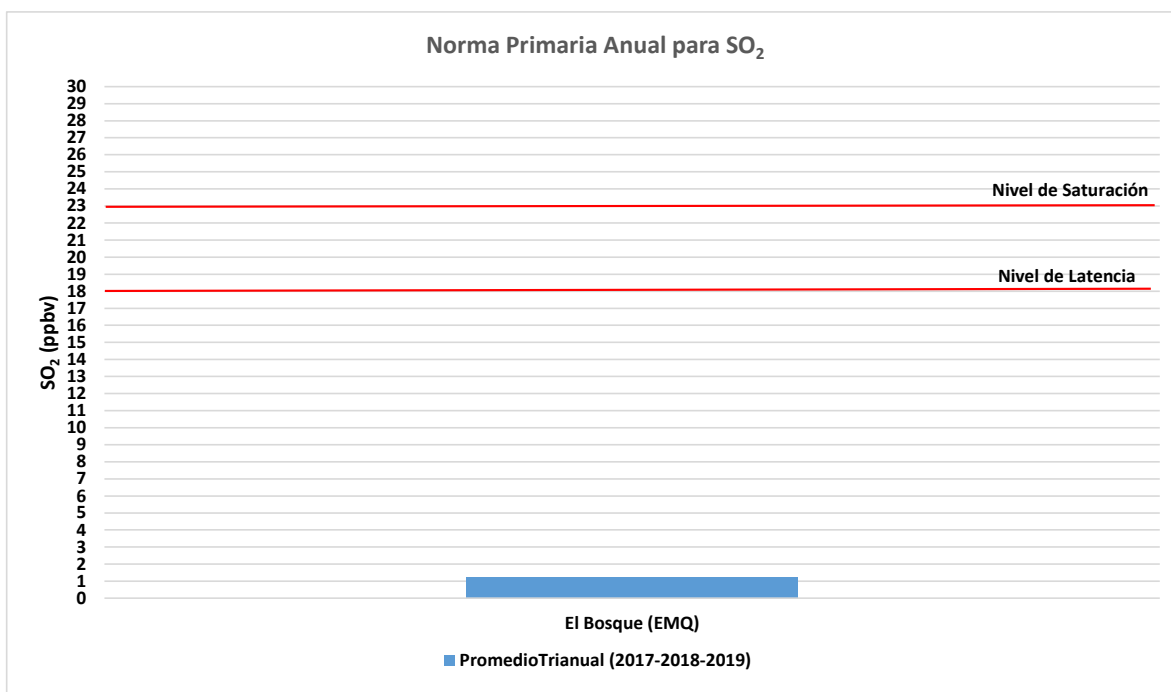


Gráfico 11 Norma primaria anual para SO₂, promedio trianual periodo 2017 al 2019 (condición a)

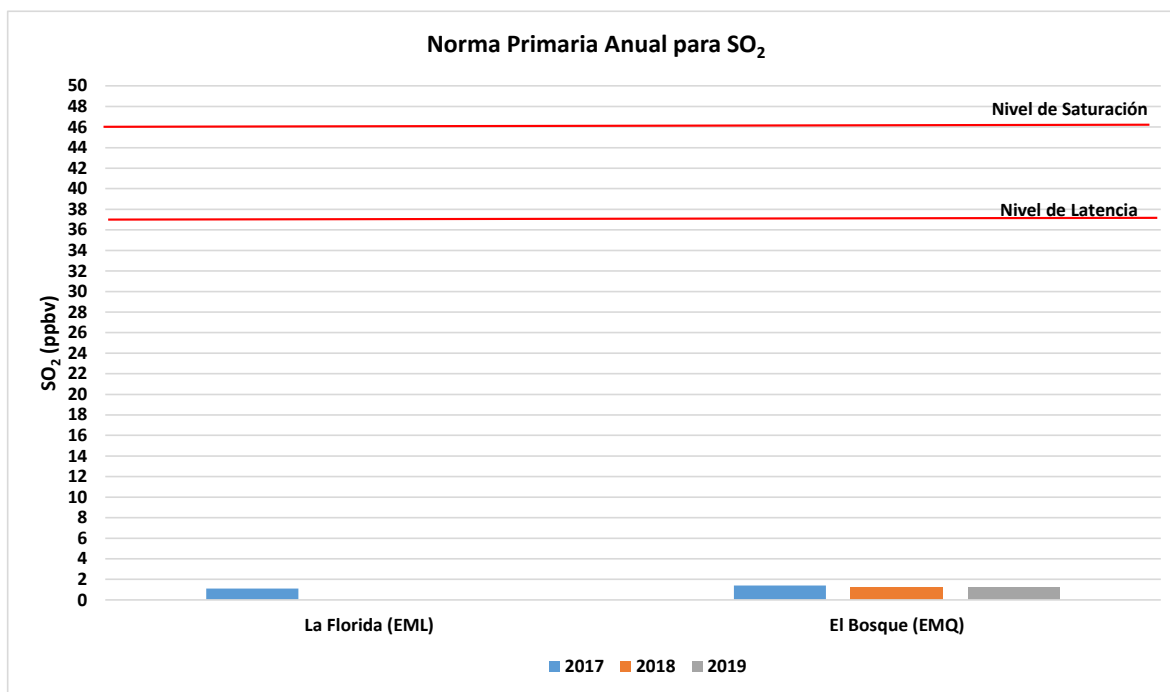


Gráfico 12 Norma primaria anual para SO₂, promedio anual por año para periodo 2017 al 2019 (condición b)

6.4. Evaluación de la norma primaria O₃

6.4.1. Evaluación de la norma 8 horas O₃

El período de evaluación de superación de la norma 8 horas para O₃, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 112/2002 del MINSEGPRES, se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para O₃ como concentración de 8 horas, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de las concentración de 8 horas registrados durante un año calendario, en cualquier estación monitorea EMRPG, fuere mayor o igual a 61 ppbv (120 µg/m³N).

Cabe señalar que para el año 2018, la estación de Pudahuel (EMO) presentó porcentaje de datos validos menores al 75% requerido en la norma, mientras que para el año 2019 la estación de La Florida (EML) también presenta un porcentaje inferior. Por lo anterior, solo fue posible la evaluación de la norma de 8 horas en las estaciones Independencia (EMF), Las Condes (EMM), Parque O'Higgins (EMN) y El Bosque (EMQ).

Los resultados del cálculo del percentil 99, presentados en la Tabla 22 muestran que la norma como concentración de 8 horas fue superada en la estación de Las Condes (EMM) con 81 ppbv (133%), las tres estaciones restantes presentan porcentajes por sobre el 80% de la norma de 8 horas.

Tabla 22 Evaluación de la norma 8 horas para O₃ para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 99 Año 2017 (ppbv)	Percentil 99 Año 2018 (ppbv)	Percentil 99 Año 2019 (ppbv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppbv)	% de la Norma 8 horas (61 ppbv)
Independencia (EMF)	58	54	58	57	93
La Florida (EML)	73	56	*	---	---
Las Condes (EMM)	95	69	78	81	133
Parque O'Higgins (EMN)	57	58	60	58	95
Pudahuel (EMO)	52	*	55	---	---
El Bosque (EMQ)	64	49	55	56	92

El Gráfico 13, muestra el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de las concentraciones de 8 horas, donde se pueden observar de manera gráfica los valores obtenidos en las estaciones.

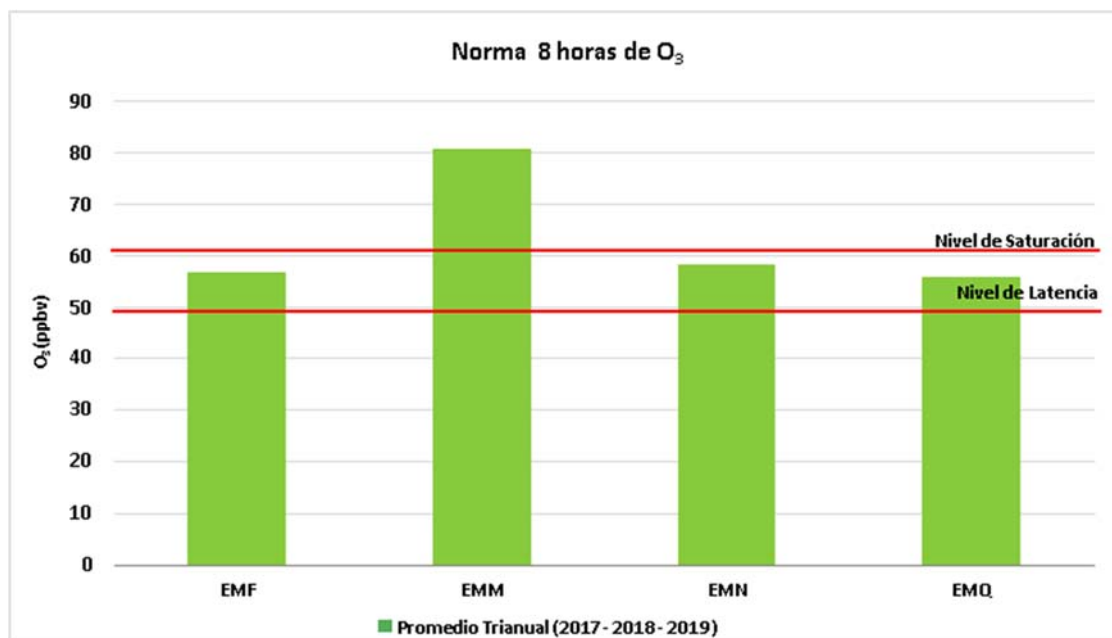


Gráfico 13 Norma 8 Horas para O₃ Promedio Trianual para el período 2017 al 2019.

6.5. Evaluación de la norma CO

6.5.1. Evaluación de la norma 1 hora CO

El período de evaluación de superación de la norma 1 hora para CO, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 23 se presenta un resumen con los valores del percentil 99 de la norma de 1 hora para CO, en todas las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 115/2002 del MINSEGPRES, se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para CO como concentración de 1 hora, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual a 26 ppmv ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

De acuerdo al análisis efectuado, se determinó que la norma de 1 hora no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red MACAM-3 y tampoco fue superado el 80% de la norma (Tabla 23).

Tabla 23 Evaluación de la norma 1 hora de CO para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 99 Año 2017 (ppmv)	Percentil 99 Año 2018 (ppmv)	Percentil 99 Año 2019 (ppmv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppmv)	% de la Norma 1 hora (26 ppmv)
Independencia (EMF)	4,19	3,53	3,95	3,89	15
La Florida (EML)	4,57	3,69	3,78	4,01	15
Las Condes (EMM)	1,86	1,84	2,07	1,92	7
Parque O'Higgins (EMN)	5,78	4,75	6,17	5,57	21
Pudahuel (EMO)	7,03	6,84	9,25	7,71	30
El Bosque (EMQ)	6,54	6,09	5,77	6,13	24

El Gráfico 14, muestra el comportamiento del percentil 99 de las concentraciones de CO para los años 2017, 2018 y 2019.

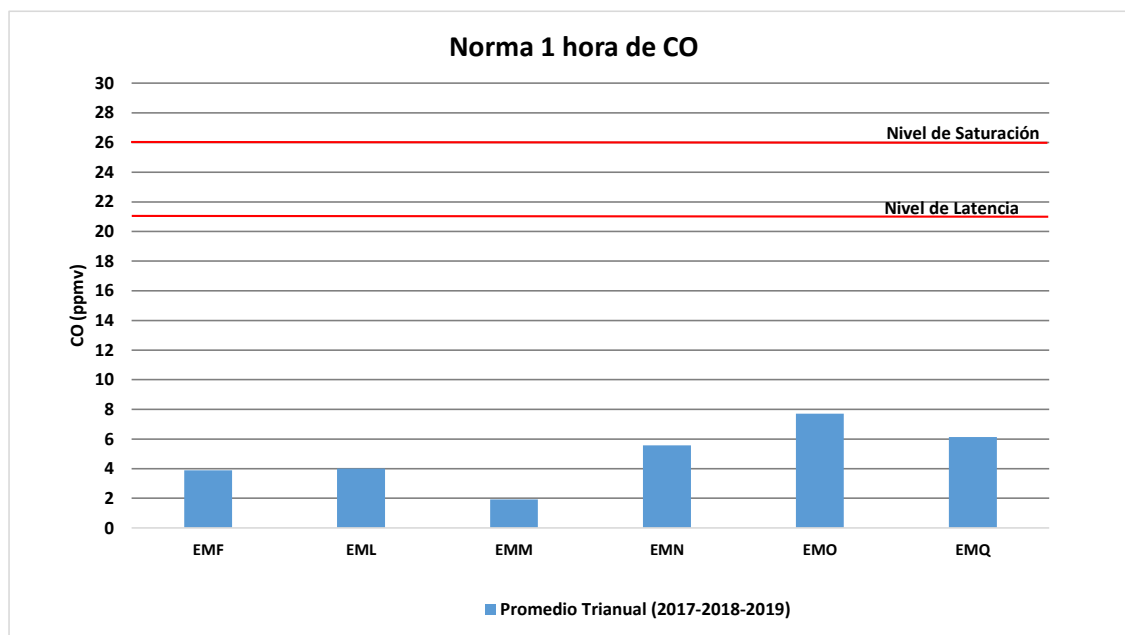


Gráfico 14 Norma 1 Hora para CO Promedio Trianual para el período 2017 al 2019

6.5.2. Evaluación de la norma 8 horas CO

El período de evaluación de superación de la norma 8 horas para CO, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 24 se presenta un resumen con los valores del percentil 99 de la norma de 8 horas para CO, en todas las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 115/2002 del MINSEGPRES, se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para CO como concentración de 8 horas, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas registrados durante un año calendario, en cualquier estación monitorea EMRPG, fuere mayor o igual a 9 ppmv (10 mg/m³N).

De la Tabla 24, es posible observar que la norma de 8 horas de CO no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red MACAM-3.

Tabla 24 Evaluación de la norma 8 horas para CO para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 99 Año 2017 (ppmv)	Percentil 99 Año 2018 (ppmv)	Percentil 99 Año 2019 (ppmv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppmv)	% de la Norma 8 horas (9 ppmv)
Independencia (EMF)	3,18	2,76	3,09	3,01	33
La Florida (EML)	3,49	2,81	2,87	3,06	34

Estación	Percentil 99 Año 2017 (ppmv)	Percentil 99 Año 2018 (ppmv)	Percentil 99 Año 2019 (ppmv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppmv)	% de la Norma 8 horas (9 ppmv)
Las Condes (EMM)	1,57	1,59	1,61	1,59	18
Parque O'Higgins (EMN)	4,10	3,55	4,76	4,14	46
Pudahuel (EMO)	5,52	5,20	7,19	5,97	66
El Bosque (EMQ)	4,78	5,09	4,19	4,69	52

El Gráfico 13, presenta el promedio trianual del percentil 99 de las concentraciones de 8 horas para CO por estación para el período 2017 al 2019.

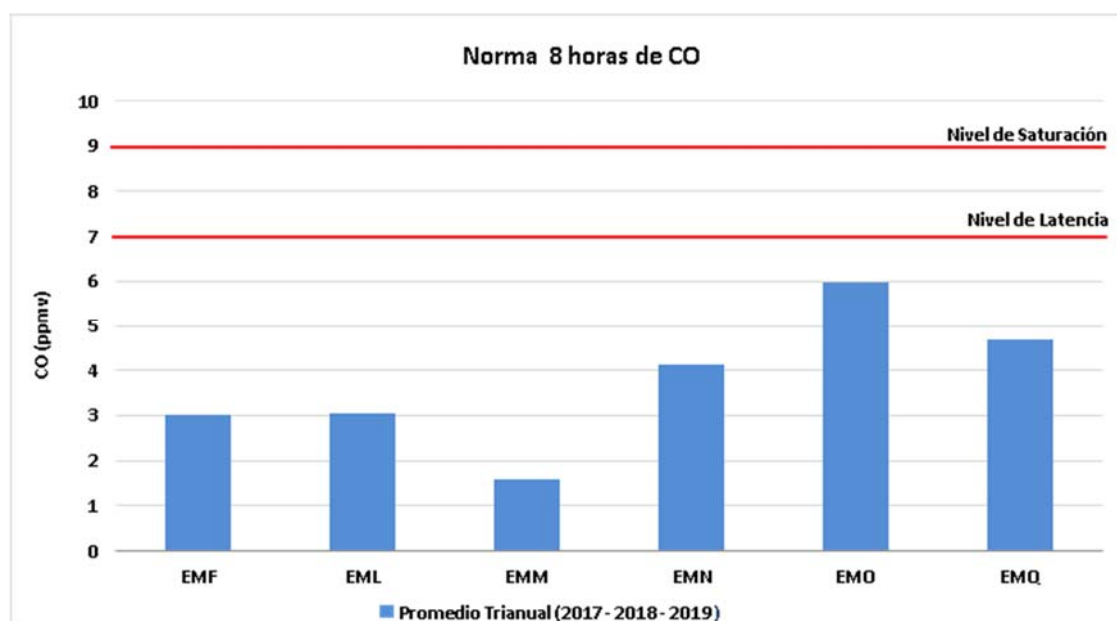


Gráfico 13 Norma 8 Horas para CO Promedio Trianual para el período 2017 al 2019

6.6. Evaluación de la norma NO₂

6.6.1. Evaluación de la norma 1 hora NO₂

El período de evaluación de superación de la norma 1 hora para NO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 25 se presenta un resumen con los valores del percentil 99 de la norma de 1 hora para NO₂, en todas las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 114/2002 del MINSEGPRES, se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para NO₂ como concentración de 1 hora, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual a 213 ppbv (400 µg/m³N).

En la Tabla 25, se muestra la evaluación de la norma de 1 hora a través del promedio del percentil 99, del análisis realizado se determinó que la norma no fue superada en la estación de Pudahuel (EMO), con una concentración de 73,73 ppbv (35%), encontrándose por debajo del 80% del límite normativo.

Para la estación de Las Condes (EMM), debido a que no alcanzo el 75% de datos validos como concentración de 24 horas en el año 2017 no fue posible evaluar la norma de 1 hora.

Tabla 25 Evaluación de la norma de 1 hora para NO₂ para el período 2017 al 2019

Estación	Percentil 99 Año 2017 (ppbv)	Percentil 99 Año 2018 (ppbv)	Percentil 99 Año 2019 (ppbv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppbv)	% de la Norma 1 hora (213 ppbv)
Las Condes (EMM)	*	136,70	91,97	---	---
Pudahuel (EMO)	75,30	76,80	69,08	73,73	35

* El porcentaje de datos válidos es inferior al 75%.

En el Gráfico 16, se observa el comportamiento el percentil 99 de las concentraciones de 1 hora para NO₂ para la estación de Pudahuel (EMO).

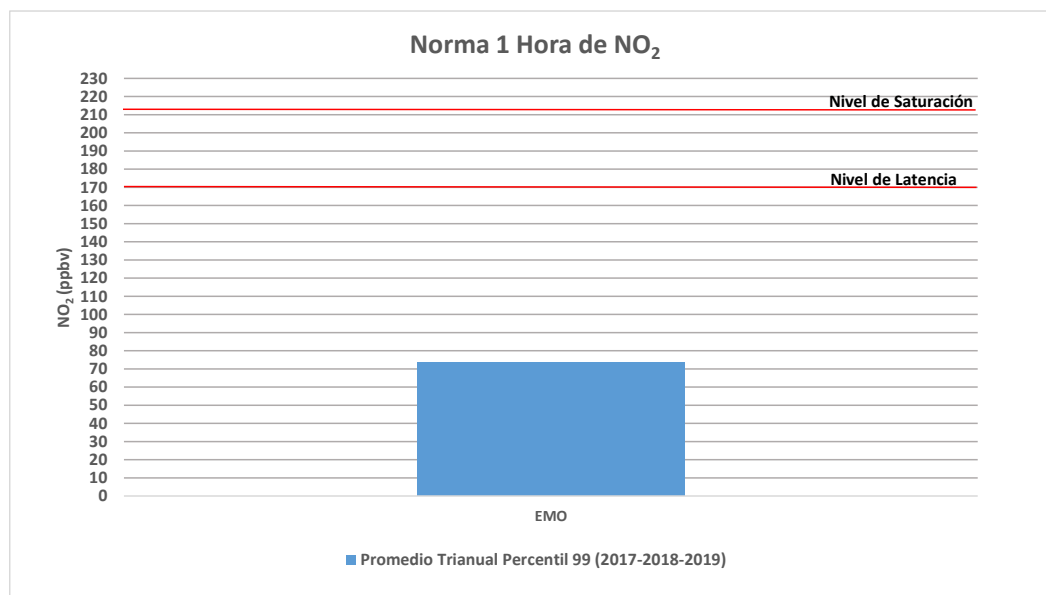


Gráfico 16 Norma 1 Hora para NO₂ Promedio Trianual para el período 2017 al 2019

6.6.2. Evaluación de la norma anual NO₂

El período de evaluación de superación de la norma anual para NO₂, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2017 y el día 31 de diciembre de 2019. En la Tabla 26, se presenta un resumen con los valores del percentil 99 de la norma anual para NO₂, en todas las estaciones de monitoreo de la Red MACAM-3.

Se debe señalar que, de acuerdo a los límites establecidos en el D.S. N° 114/2002 del MINSEGPRES, se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para NO₂ como concentración anual, cuando el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios sucesivos, en cualquier estación monitorea EMRPG, fuere mayor o igual a 53 ppbv (100 µg/m³N).

A continuación en la Tabla 26, se resumen los valores obtenidos del promedio anual de las concentraciones de NO₂ para los años 2017, 2018 y 2019. El análisis de los datos disponibles para la evaluación de la norma anual de NO₂, determinó que para las estaciones de Las Condes (EMM) y Pudahuel (EMO) en el año 2017 y Las Condes (EMM) en el año 2018 no cuentan con 75% de datos válidos en alguno de sus trimestres, por lo que no es posible evaluar la norma anual. Cabe señalar que, la estación Cerrillos (EMP) en el año 2016 fue reubicada en otro sector de la comuna y no existe un instrumento para la medición de NO₂.

Tabla 26 Evaluación de la norma anual para NO₂ para el período 2017 al 2019

Estación	Promedio Anual 2017 (ppbv)	Promedio Anual 2018 (ppbv)	Promedio Anual 2019 (ppbv)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (ppbv)	% de la Norma anual (53 ppbv)
Las Condes (EMM)	*	*	*	---	---
Pudahuel (EMO)	*	21,47	17,84	---	---

* El porcentaje de datos válidos es inferior al 75% en alguno de los trimestres.

7. CONCLUSIONES

El análisis de los datos de calidad del aire de la Red MACAM-3, consideró la información válida generada de las mediciones de MP10, MP2,5, SO₂, NO₂, O₃ y CO, en base al período comprendido entre el 1° de enero de 2017 y el 31 de diciembre de 2019, de las estaciones de la Red MACAM-3 con representatividad poblacional por material particulado y gases, período en el cual se utilizó en forma continua un instrumento de medición con aprobación EPA.

Para este informe de examen de información se consideraron como requisitos; la representatividad poblacional por MP10, MP2,5 y gases, de acuerdo a la Tabla 2, el empleo de instrumentos de medición de contaminantes atmosféricos con aprobación USEPA y la correcta validación de los datos por parte del MMA.

Para la auditoría de los datos de mediciones horarias y diarios se consideraron los criterios establecidos en cada una de las normas primarias y aquellos contenidos en el Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos, D.S. N°61/2008, modificado por el D.S. N°30/2009, de MINSAL.

Norma de calidad del aire para MP2,5

El resultado del análisis de los datos de MP2,5 para el año 2019, concluyó que la norma de 24 horas que establece como límite 50 µg/m³, fue superada en ocho (8) de las nueve (9) estaciones calificadas como EMRP para MP2,5, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR), Pudahuel (EMO), Cerrillos (EMP) y El Bosque (EMQ), las que presentaron concentraciones por sobre el límite normativo, con concentraciones de 94 µg/m³ (188%), 91 µg/m³ (182%), 74 µg/m³ (148%) y 72 µg/m³ (144%), respectivamente.

Complementariamente, se calculó el número de días con excedencias a la norma de 24 horas para cada estación, determinándose que todas las estaciones presentan un número superior a 7 excedencias, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR) con 55 días, El Bosque (EMQ) con 46 días, Pudahuel (EMO) con 42 días y Cerrillos (EMP) con 41 días, las que presentaron el mayor número de excedencias a la norma de 24 horas.

En relación a la evaluación de la norma anual para MP2,5, mediante el cálculo del promedio trianual de las concentraciones, se concluyó que la norma fue superada en las 8 estaciones analizadas que cumplen con el porcentaje de datos válidos para el periodo en estudio, encontrándose las estaciones de El Bosque (EMQ) y Cerro Navia (EMR) con una concentración de 31 µg/m³ (155%), la estación Pudahuel (EMO) con una concentración de 28 µg/m³ (140%) e Independencia (EMF) con una concentración de 27 µg/m³ (135%), La Florida (EML) con 26 µg/m³ (130%), Quilicura (EMV) 25 µg/m³ (125%), Puente Alto (EMS) 22 µg/m³ (110%) y finalmente Las Condes (EMM) con 21 µg/m³ (105%).

Norma de calidad del aire para MP10

El análisis de la norma de MP10 de 24 horas, que establece como límite $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, determinó que de las once (11) estaciones evaluadas, cinco (5) superaron el límite normativo de 24 horas, y tres (3) estaciones superaron el 80% de la norma 24 horas.

En forma complementaria, se calculó el número de días con excedencias a la norma de 24 horas para cada estación, determinándose que siete (7) de las estaciones evaluadas presentaron más de 7 excedencias, siendo las estaciones de Cerro Navia (EMR) con 36 días, Pudahuel (EMO) y Cerrillos (EMP) ambas con 22 días, El Bosque (EMQ) con 15 días y Parque O'Higgins (EMN) con 11 días, las que presentaron el mayor número de excedencias a la norma de 24 horas.

A nivel de norma anual de MP10, se concluyó esta fue superada en diez (10) de las 11 estaciones que cumplen con el criterio normativo del periodo evaluado de la Región Metropolitana a excepción de Talagante (EMT), que superó el 80% de la norma anual. Por otra parte, la evaluación determinó que las estaciones que presentaron las concentraciones más altas fueron: Cerro Navia (EMR) con una concentración de $72 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (144%), El Bosque (EMQ) e Independencia (EMF) con $70 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (140%) en ambas estaciones, Parque O'Higgins (EMN) con $68 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (136%), La Florida (EML) y Quilicura (EMV) con una concentración de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (132%).

Norma primaria de calidad del aire para SO_2

Cabe señalar que para el período analizado 2017 al 2019 para el contaminante SO_2 , de las seis (6) estaciones que cuentan con la calificación EMRPG por SO_2 , solo fue posible evaluar la norma en la estación La Florida (EML) y El Bosque (EMQ), el resto de las estaciones no presentaron mediciones.

El análisis de la norma de 1 hora que establece un límite de 134 ppbv, mediante el cálculo del percentil 98,5, determinó que esta no fue superada en la Estación de El Bosque (EMQ). La estación La Florida no cumplió con el criterio del 75% de datos horarios validos establecido para el cálculo de la norma de 1 hora para 2019.

El resultado del análisis de la norma de 24 horas para SO_2 que establece como límite 57 ppbv, a través del cálculo del promedio trianual del percentil 99, concluyó que la norma no fue superada en la estación evaluada de la Red MACAM-3, El Bosque (EMQ), encontrándose el valor promedio trianual por debajo del 80% de la norma de 24 horas.

Respecto de la norma anual para SO_2 que establece como límite 23 ppbv, se concluyó que la norma anual no fue superada en la estación evaluada de la Red MACAM-3, El Bosque (EMQ), encontrándose el valor promedio trianual por debajo del 80% de la norma anual.

Norma primaria de calidad del aire para O₃

Para el contaminante O₃ se evaluó la norma de 8 horas mediante el cálculo del percentil 99, y del análisis realizado a las seis (6) estaciones calificadas como EMRPG, solo fue posible la evaluación de la norma de 8 horas en las estaciones Independencia (EMF), Las Condes (EMM), La Florida (EML) y El Bosque (EMQ). La evaluación concluyó que la norma de 8 horas, que establece como límite 61 ppbv, fue superada en las estaciones de Las Condes (EMM) con una concentración de 81 ppbv (133%). Las estaciones de Independencia (EMF), Parque O'Higgins (EMN) y El Bosque (EMQ), se encontraron por sobre el 80% de la norma de 8 horas.

Norma primaria de calidad del aire para CO

De acuerdo al análisis efectuado para la norma de 1 hora de CO que establece como límite 26 ppmv, para el periodo 2017 al 2019, se determinó que la norma no fue superada en las seis (6) estaciones evaluadas de la Red MACAM-3 y tampoco fue superado el 80% de la norma.

En la evaluación del cumplimiento de la norma de 8 horas de CO que establece como límite 9 ppmv, mediante el promedio trianual del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas, se determinó que la norma no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red MACAM-3, encontrándose todas por debajo del 80% del límite normativo

Norma primaria de calidad del aire para NO₂

La evaluación de la norma de 1 hora por NO₂ que establece como límite 213 ppbv, mediante el cálculo del promedio del percentil 99 de tres años, concluyó que la norma no fue superada en la estación de Pudahuel (EMO), encontrándose por debajo del 80% del límite normativo con una concentración de 73,73 ppbv (35%). Para la estación de Las Condes (EMM), debido a que no alcanzo el 75% de datos validos como concentración de 24 horas en el año 2017, no fue posible evaluar la norma de 1 hora.

En relación a la evaluación de la norma de NO₂ a nivel anual y que establece como límite 53 ppbv, determinó que para las estaciones de Pudahuel (EMO) en el año 2017 y Las Condes (EMM) en el periodo comprendido entre el año 2107 y 2019, no cuentan con el 75% de datos válidos en alguno de sus trimestres, por lo que no fue posible evaluar la norma anual.

8. ANEXOS

N° Anexo	Nombre Anexo
1	Resoluciones EMRP
2	Datos de calidad del aire para el año 2019