



Informe

**Análisis de los antecedentes anteriores y posteriores al trienio de
2015-2017 para calidad del aire en Concón, Quintero y Puchuncaví**

Tabla de contenido

Antecedentes	1
1. Análisis de Calidad del Aire para Contaminantes Normados	2
1.1. Material particulado respirable MP10	2
1.1.1. Norma diaria MP10	3
1.1.2. Norma Anual MP10	5
1.2. Material particulado fino respirable MP2.5	6
1.2.1. Norma diaria MP2.5	7
1.2.2. Norma anual MP2.5	8
1.3. Dióxido de Azufre (SO₂)	9
1.3.1. Norma horaria.....	9
1.3.2. Norma 24 horas	10
1.3.3. Norma Anual	11
1.4. Ozono (O₃)	12
1.4.1. Norma concentración de 8 horas para O ₃	12
1.5. Monóxido de Carbono (CO)	13
1.5.1. Norma de 8 horas.....	14
1.5.2. Norma horaria.....	15
1.6. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	15
1.6.1. Norma horaria.....	16
1.6.2. Norma Anual.....	17
1.7. Plomo (Pb)	17
2. Análisis de Calidad del Aire para Contaminantes No Normados	18
2.1. Estudios Anteriores y Posteriores al Trienio 2015-2017	18
2.2. Resultados de Monitoreo Continuo de COVs posterior al Trienio 2015-2017	32
2.2.1. Equipo PyxisGC BTEX.....	32
2.2.2. Equipo AMA GC 5000	40
3. Anexos	45

Antecedentes

A partir del 9 de junio de 2015, entrada en vigencia del Decreto N°10¹ del Ministerio del Medio Ambiente (en adelante MMA), se declara como zona saturada por material particulado fino respirable MP2.5, como concentración anual y latente como concentración diaria, y zona latente por material particulado respirable MP10, como concentración anual, a las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Posteriormente con fecha 30 de marzo de 2019, se publica en el Diario Oficial el Decreto N°105² del MMA, que Aprueba el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Si bien el PPDA se mantiene vigente, en mayo de 2023, la Corte Suprema acoge un recurso de casación (causa rol N° 149.171-2020³), instruyendo al Ministerio del Medio Ambiente a establecer un acto administrativo con medidas complementarias al Plan. Entre lo resuelto por la Corte, se instruye que:

“el Ministerio del Medio Ambiente complementará el PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, incorporando:

a) La consideración, para todos los fines a que hubiere lugar, de las mediciones, antecedentes y datos que se encuentren en poder de la autoridad ambiental, anteriores y posteriores al trienio 2015 a 2017, hasta la época más próxima a la emisión del acto complementario, inclusive”

En consideración de estos antecedentes como contexto general, se presentan en el siguiente Informe, los resultados del monitoreo y de las mediciones de calidad del aire que se han efectuado en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví entre los años 1999 a 2023. Esta información se ha recopilado desde la Seremi del Medio Ambiente de la Región de Valparaíso, la Superintendencia del Medio Ambiente, y los datos que dispone el Departamento de Redes de Monitoreo de Calidad del Aire, que, por diferentes causas, han debido ejecutar el seguimiento de la calidad del aire en la zona antes señalada.

Cabe señalar que los datos que han dado lugar a los siguientes resultados, han sido generados en la red de monitoreo de calidad del aire existente, que es de propiedad privada y cuyas empresas (Codelco, Aes Andes, GNL Quintero, Enap Refinerías S.A y Enel), que se encuentran ubicadas en la zona, han tenido la obligación de realizar las mediciones y el monitoreo de la contaminación.

¹ <https://bcn.cl/2i79t>

² <https://bcn.cl/2erqi>

³ <https://www.pjud.cl/prensa-y-comunicaciones/docs/download/60630>

1. Análisis de Calidad del Aire para Contaminantes Normados

La red de monitoreo que se distribuye en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, está constituida por trece estaciones de monitoreo, distribuidas de la siguiente forma que se detalla en la Tabla N°1. En la Tabla también se individualiza la Resolución que otorga la calificación de estación de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP) o recursos naturales (EMRRN).

Comuna	Estación	N° Res. EMRP MP ₁₀	N° Res. EMRP MP _{2.5}	N° Res. EMRP Gases	N° Res. EMRRN
Puchuncaví	La Greda	N° 1924/2000	N° 2944/2012	N° 305/2004	N° 2040/2010
	Puchuncaví	N° 1924/2000	N° 2940/2012	N° 305/2004	N° 2040/2010
	Los Maitenes	N° 1924/2000	N° 2942/2012	N° 305/2004	N° 2040/2010
	Valle Alegre	N° 1924/2000	N° 2941/2012	N° 305/2004	N° 2040/2010
	Sur	No aplica	No aplica	No aplica	N° 2040/2010
	Ventanas	N° 661/2013	No aplica	N° 661/2013	No aplica
Concón	Colmo	N° 2176/2005 Mod. N° 4420/2012	No aplica	N° 306/2004 Mod. N° 4420/2012	N° 2033/2010 No aplica
	Las Gaviotas	No aplica	No aplica	N° 2179/2005	N° 2033/2010
	Concón	N° 2330/2005	N° 4421/2012	N° 306/2004	N° 2033/2010
	Junta de Vecinos	N° 322/2006	No aplica	N° 322/2006	N° 2033/2010
Quintero	Quintero	N° 1527/2012	N° 2943/2012	N° 1527/2012	N° 2170/2012
	Centro Quintero	N° 1303/2008	No aplica	N° 1303/2008	N° 2030/2010
		N° 1821/2008	No aplica	N° 1821/2008	No aplica
		Mod. N° 2877/2012	No aplica	Mod. N° 2877/2012	No aplica
	Loncura	N° 3229/2009	No aplica	N° 3229/2009	N° 2028/2010

Tabla N°1: Distribución estaciones de monitoreo por comuna y sus respectivos números de resolución de calificación EMRP, todas las resoluciones fueron otorgadas por el Ministerio de Salud, quien contaba con la atribución en esas fechas.

1.1. Material particulado respirable MP10

El material particulado respirable MP10, es el contaminante al que se le ha realizado un seguimiento durante un mayor tiempo en la zona. En la comuna de Puchuncaví se mantienen mediciones a través de análisis gravimétrico desde el año 1999 en cinco de las seis estaciones de monitoreo. Posteriormente, en el año 2002, se agregan mediciones en tres de las cuatro estaciones de monitoreo existentes en la comuna de Concón y finalmente a partir del año 2009, se incorporan las mediciones en las estaciones ubicadas en la comuna de Quintero y en el resto de las estaciones de monitoreo que aún no lo hacían.

En cuanto al monitoreo del MP10 con metodologías continuas en la zona, podemos precisar que comienzan a desarrollarse a partir del año 2010 en las comunas de Quintero y Puchuncaví y desde 2016 en la comuna de Concón, completando un total de 10 estaciones en la zona, monitoreando con metodologías continuas este contaminante, lo que permite obtener información en línea y en tiempo real.

1.1.1. Norma diaria MP10

La regulación del material particulado respirable MP10, se inicia con la entrada en vigencia del Decreto Supremo N°59/1998⁴ del MINSEGPRES y posteriormente con la revisión de este y la entrada en vigencia del nuevo Decreto Supremo N°12/2021⁵ del MMA. Cuyos niveles establecidos como concentración de 24 horas corresponden a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ respectivamente. Se enuncia el valor de la Norma primaria de calidad para material particulado respirable MP10 vigente a 2023, a modo de solo tener una referencia con los valores actuales, dado que en estricto rigor la evaluación se realizó de acuerdo con lo señalado en el Decreto Supremo N° 59/1998 MINSEGPRES, vigente en ese momento.

En el panel superior de la Figura N°1, observamos el comportamiento que ha tenido este contaminante **a través de mediciones y análisis gravimétrico** en cada una de las estaciones de monitoreo. Se destaca que la estación La Greda, tuvo la máxima concentración registrada durante el periodo, donde **el año 1999 alcanzó los 166 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$** .

Los años 2000, 2001 y 2016 nuevamente la Estación La Greda registra valores máximos en la zona, mientras que el año 2002 se alcanza el máximo en la estación Los Maitenes.

En el segundo panel, observamos el comportamiento que ha tenido este contaminante **a través del monitoreo con metodologías continuas** en las estaciones de monitoreo, donde la máxima concentración corresponde a 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la estación Quintero el año 2020. Cabe señalar que, por medio de los datos de los equipos continuos, se puede realizar el seguimiento a los episodios agudos de contaminación en la zona y que se definen en la norma como situaciones de emergencia ambiental.

El tercer panel resume la concentración más alta (correspondiente al Percentil 98) para cada año, de entre todas las estaciones que monitorean el contaminante MP10 en las comunas de Puchuncaví, Concón y Quintero.

Este gráfico nos permite visualizar que el comportamiento en general respecto a la norma diaria de MP10 a través de análisis gravimétrico, que presenta una tendencia a la baja pasando desde una condición sobre la norma el año 1999 a bajo el 80% respecto a la norma vigente, salvo los años 2006 y 2015, donde se rompe esta tendencia, registrando las estaciones La Greda (comuna de Puchuncaví) y Colmo (comuna de Concón) respectivamente, concentraciones diarias de MP10, en promedio entre un 50% y 40 % superiores al resto de las estaciones que miden el contaminante MP10.

⁴ <https://bcn.cl/2IbH0H>

⁵ <https://bcn.cl/32yev>



Figura N°1 Evolución norma diaria MP10. Metodologías gravimétrica.

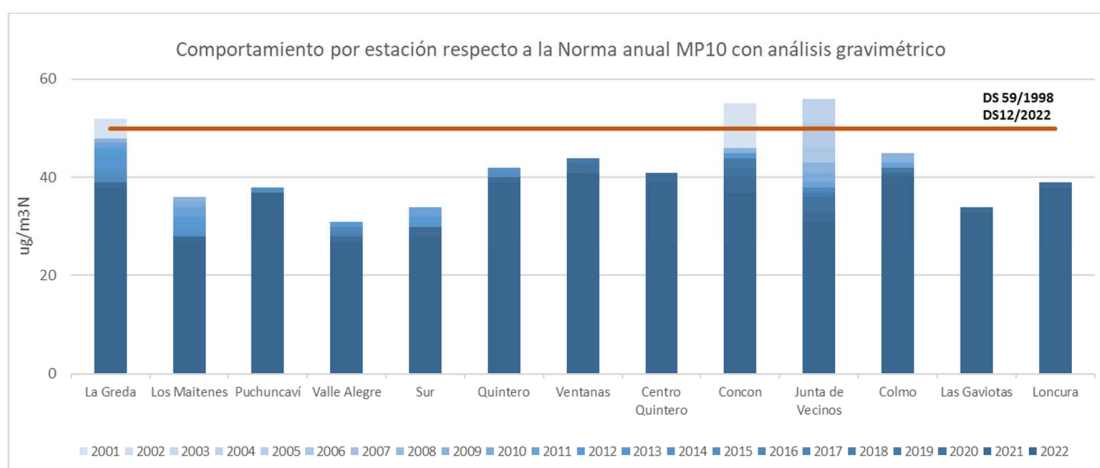
1.1.2. Norma Anual MP10

Para la Norma anual de MP10 se establece una concentración de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, este valor se instaura en el Decreto Supremo N°59/1998 del MINSEGPRES, y se mantiene tras la revisión de la Norma primaria de calidad para material particulado respirable MP10, en el Decreto Supremo N°12/2021 del MMA.

En el primero de los gráficos de la Figura N°2, se observa que a través del análisis gravimétrico las estaciones La Greda (comuna de Puchuncaví), Junta de Vecinos y Concón (comuna de Concón), alcanzaron niveles sobre el valor norma anual de MP10 en los trienios 1999-2001, 2002-2004 y 2003-2005. Y posterior a este año, se han mantenido todos los periodos trianuales en niveles bajo el valor de la norma anual.

En el segundo de los gráficos de este set, observamos que, por medio del monitoreo con metodologías continuas, entre los trienios 2009-2011 al 2020-2022 la norma como concentración anual no ha sido sobrepasada, consistentemente a lo observado por las mediciones a través de la metodología continua.

El tercer gráfico, resume la concentración máxima como promedio trianual para cada año de entre todas las estaciones que monitorean el contaminante MP10 en las comunas de Puchuncaví, Concón y Quintero. Con relación a la metodología de análisis gravimétrico se observa inicialmente promedios trianuales sobre el valor norma anual MP10 y a partir del trienio 2004-2006 al 2020-2022, concentraciones bajo el nivel de norma anual, con una leve disminución para los últimos periodos.



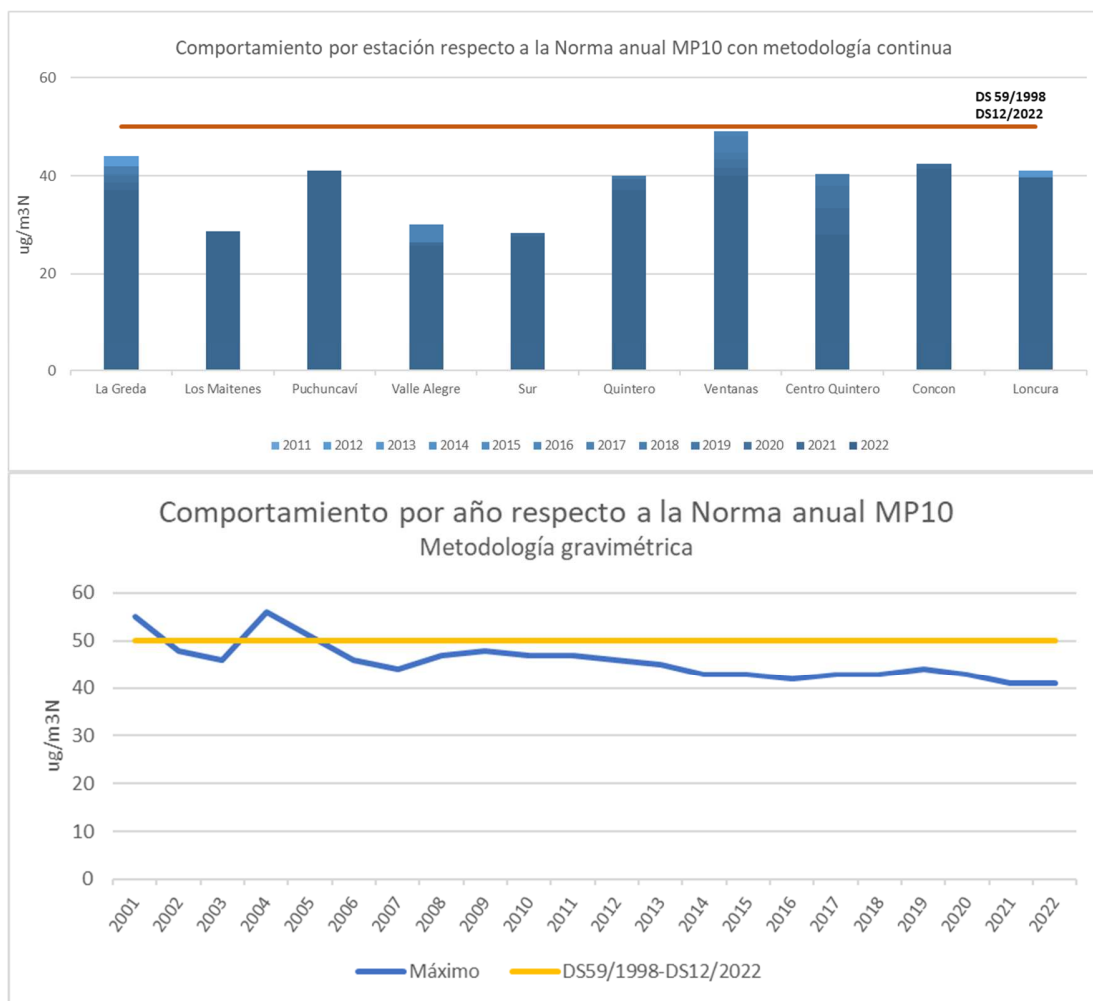


Figura N°2 Evolución norma anual MP10. Metodologías gravimétrica y continua.

1.2. Material particulado fino respirable MP2.5

Este contaminante es medido en la estación Concón desde el año 2003 a través de análisis gravimétrico, mientras que las demás estaciones comienzan el monitoreo durante 2012, con metodologías gravimétrica y continua. En enero de ese mismo año entra en vigencia el Decreto N°12/2011 del MMA⁶, que establece norma primaria de Calidad Ambiental para material particulado fino respirable MP2.5, estableciendo límite diario de 50 µg/m³ y anual correspondiente a 20 µg/m³.

Cabe señalar que la Superintendencia de Medio Ambiente, en sus informes de fiscalización, solo considera equipos con metodología de medición gravimétrica, por lo que los cálculos realizados con equipamiento continuo no son oficiales. Además, los resultados que a continuación se muestran,

⁶ <https://bcn.cl/3jyyt>

consideran todas las estaciones con medición de MP2.5, posean o no EMRP (Tabla N°1) a modo de referencia.

1.2.1. Norma diaria MP2.5

Respecto a la norma diaria, en el primer gráfico de la Figura N°3, se observa que el análisis gravimétrico de las mediciones de MP2.5 de la estación Concón alcanzan los 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2006, siendo el máximo registrado hasta 2022. Por otra parte, el segundo gráfico de la Figura N°3, muestra el comportamiento de este contaminante medido por equipos continuos donde se observa que las mayores concentraciones se registraron en la estación Ventanas durante el año 2015, alcanzando una concentración de 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y la estación Centro Quintero durante 2021, obteniendo 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ambas estaciones no poseen EMRP para MP2.5).

Además, en el tercer gráfico de la Figura N°3, muestra la concentración máxima como percentil 98 de los promedios diarios entre todas las estaciones para cada año. Se observa que solo durante 2006 se supera el límite establecido en la norma.

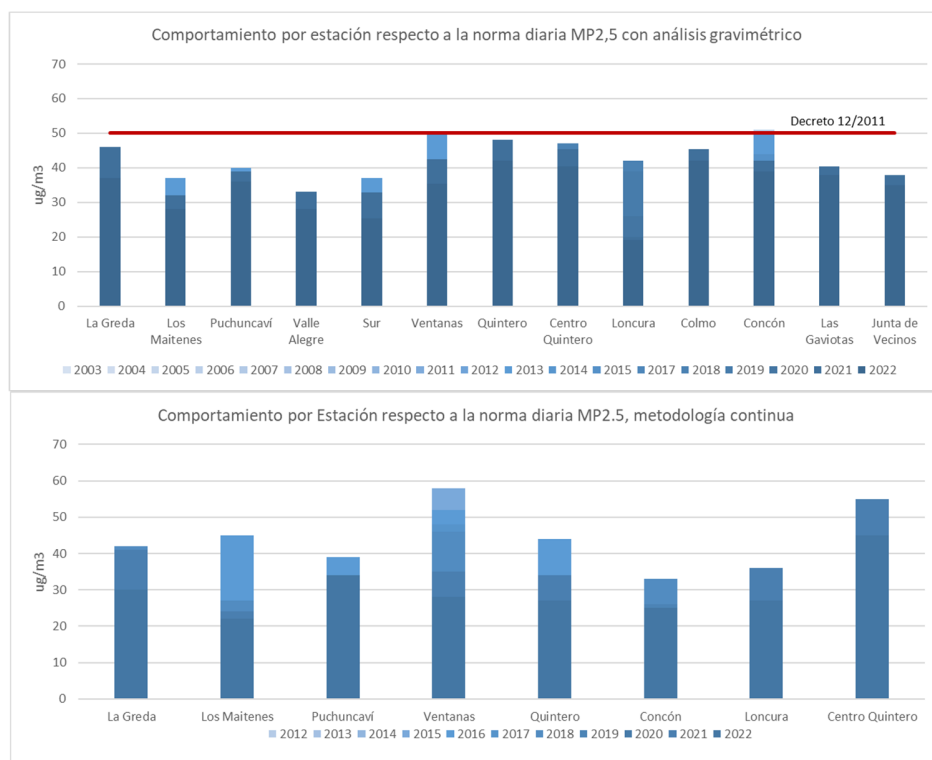
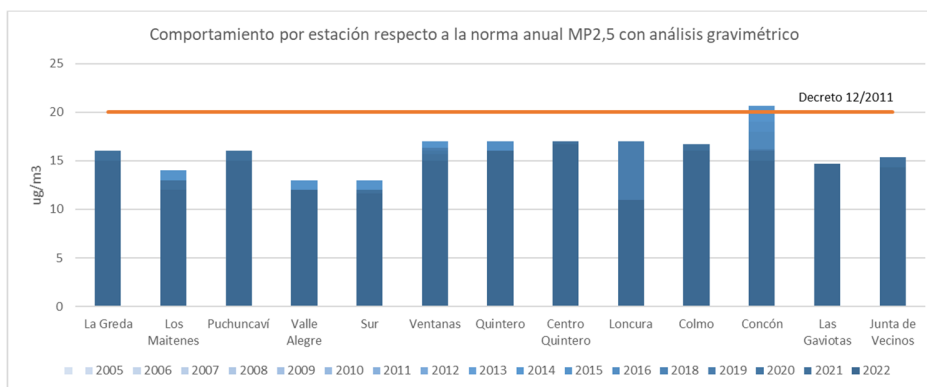




Figura N°3: Evolución norma diaria MP2.5. Metodologías gravimétrica y continua.

1.2.2. Norma anual MP2.5

Respecto a la norma anual, el primer gráfico de la Figura N°4, muestra que es la estación Concón la que registra el mayor valor para la metodología gravimétrica, alcanzando un promedio de 21 µg/m³ para los trienios 2011-2013 y 2013-2015. Por su parte, la metodología continua (segundo gráfico, Figura N°4) muestra que es la estación Centro Quintero (estación no posee EMRP para MP2.5) la que alcanza un máximo de 20 µg/m³ durante 2021. El tercer gráfico, resume la concentración máxima como promedio trianual para cada año de entre todas las estaciones, es decir muestra la peor condición respecto a la norma anual de MP2.5 para cada año. Se observa que durante los trienios 2011-2013 y 2013-2015 el límite normativo es superado alcanzando 21 µg/m³ para equipos discretos.



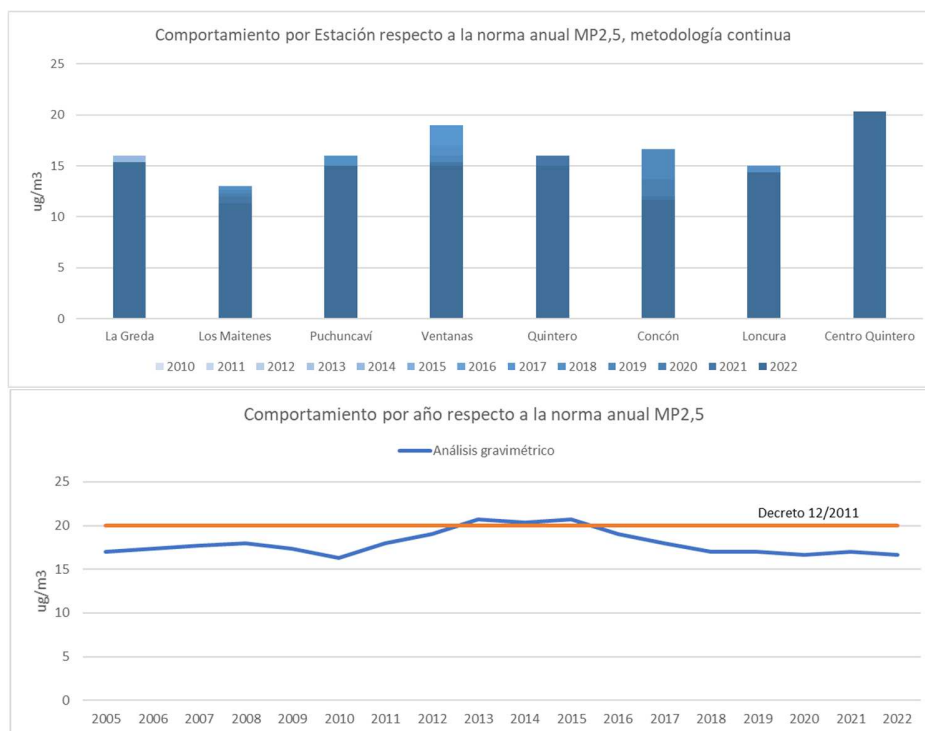


Figura N°4: Evolución norma anual MP2.5. Metodologías gravimétrica y continua.

1.3. Dióxido de Azufre (SO₂)

El monitoreo continuo de este contaminante comienza en el año 1997 en las estaciones La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y Valle Alegre, incorporándose en 1999 la estación Concón, y Junta de Vecinos, Colmo y las Gaviotas en 2002, Quintero, Centro Quintero y Loncura en 2008, y la estación Ventanas en 2013. Actualmente la red cuenta con 13 estaciones que monitorean el contaminante.

Respecto a la normativa de este contaminante, en 2003 entra en vigencia el Decreto N° 113 del MINSEGPRES⁷, que establece Norma primaria de Calidad del Aire para Dióxido de Azufre (SO₂). Esta normativa establece límites anuales (80 µg/m³N) y de 24 horas (250 µg/m³N). Posteriormente, durante 2019, entra en vigencia el Decreto N°104 del MMA⁸, que deroga el anterior, y establece nuevos y más exigentes límites anuales (60 µg/m³N) y diarios (150 µg/m³N) y además incorpora límite horario (350 µg/m³N).

1.3.1. Norma horaria

En la Figura N°5, primer gráfico, se muestra referencialmente el comportamiento de la norma horaria por estación, para cada año, ya que como se menciona en el punto anterior, esta normativa entra en vigencia en el año 2019. Se observa que solo la estación Quintero es la que superaría el

⁷ <https://bcn.cl/3ee8y>

⁸ <https://bcn.cl/2lr3h>

valor normativo durante el año 2017, es decir, en el trienio 2015-2017, alcanzando una concentración de 362 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como promedio trianual del Percentil 98.5 de las concentraciones horarias (según normativa). Además, se muestra el comportamiento por año de la norma horaria en la zona, donde se observa un descenso de esta norma (promedio trianual del percentil 98.5 de las concentraciones horarias) desde 2018.

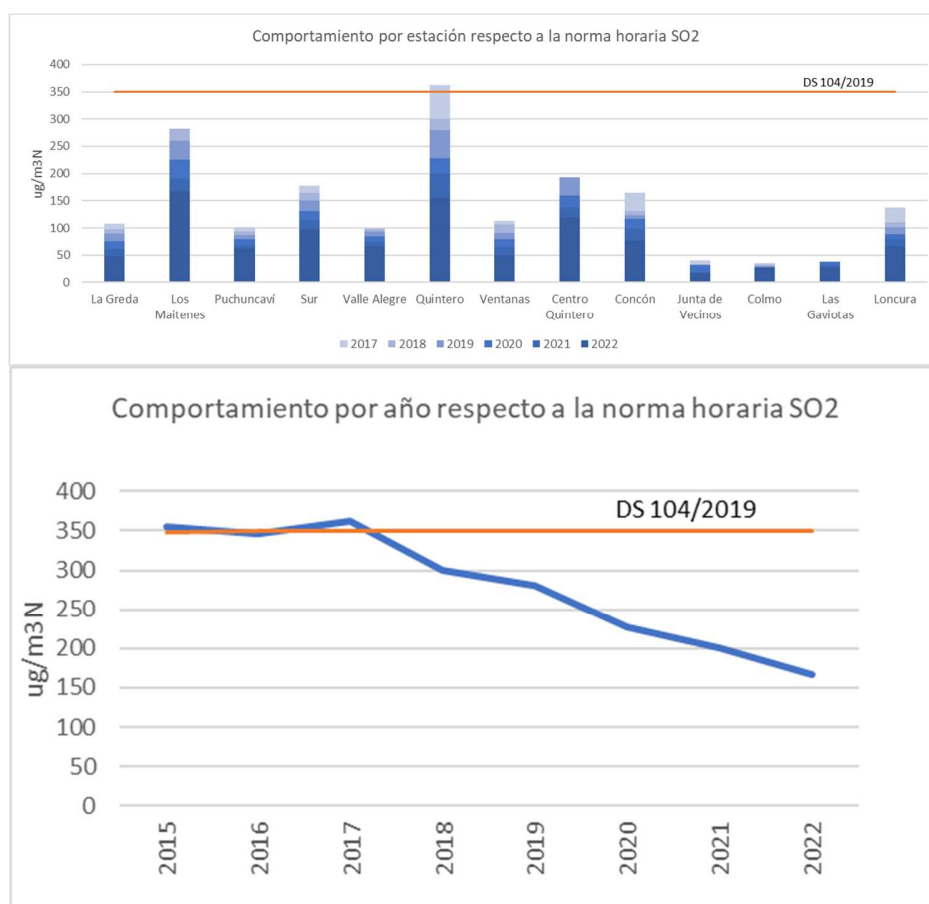


Figura N°5: Norma horaria SO2. Promedio trianual del percentil 98.5 de las concentraciones de 1 hora.

1.3.2. Norma 24 horas

En la Figura N°6 se muestra que es la estación Centro Quintero la que presenta el mayor promedio trianual del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas, alcanzando 249 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en 2011, es decir, en el trienio 2009-2011, no superando la normativa vigente en ese momento. Se observa, además, que las estaciones con mayores concentraciones corresponden a Los Maitenes, Centro Quintero y Sur, esta última no posee EMRP para gases. Además, se muestra el comportamiento de esta norma para cada año en la zona. Se observa que desde 2019 con la entrada en vigencia del Decreto N°104/2018 del MMA, la norma de 24 horas no ha sido superada.

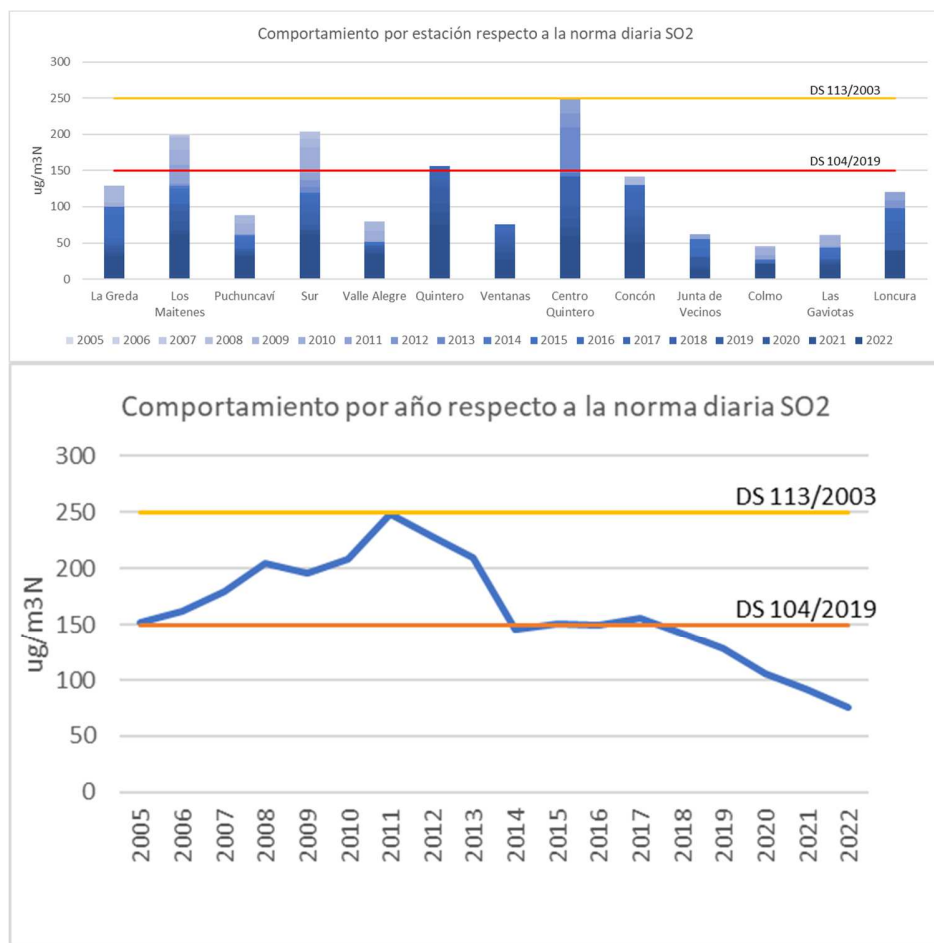


Figura N°6: Norma diaria SO2. Promedio trianual del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas.

1.3.3. Norma Anual

En la Figura N°7 se muestra el comportamiento de la norma anual por estación, se observa que la estación Los Maitenes registra las mayores concentraciones anuales desde 1999 a 2010, seguida por la estación Sur y Puchuncaví. Solo estas estaciones superaron el valor normativo. Respecto al comportamiento de la norma anual por año en la zona, se observa una disminución de los promedios trianuales desde el año 2009 (trienio 2007-2009).

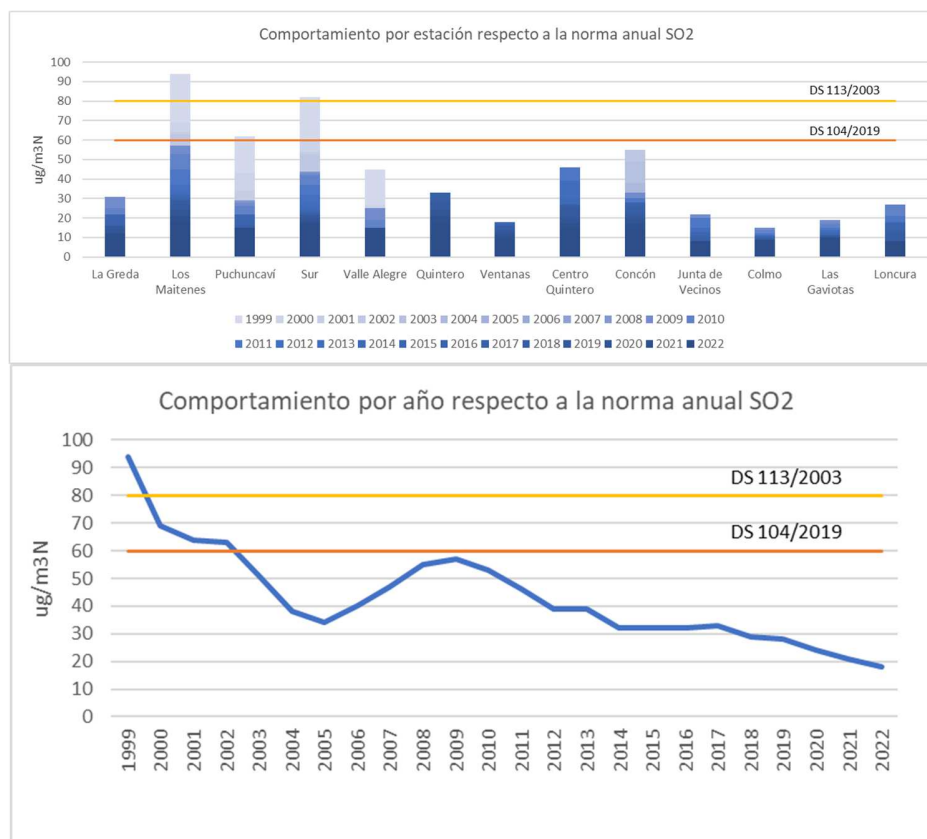


Figura N°7: Norma anual SO₂. Promedio trianual.

1.4. Ozono (O₃)

El contaminante ozono, se monitorea por metodologías continuas desde el año 2004 en las estaciones Colmo y Concón de la comuna de Concón. Y a partir del año 2012 en el resto de las comunas de Puchuncaví y Quintero. En mayo de 2003 entra en vigencia la Norma primaria de calidad del aire para Ozono D.S N° 112/2003 del MINSEGPRES⁹. Y las estaciones de monitoreo Ventanas, Valle Alegre, La Greda y Puchuncaví de la comuna de Puchuncaví, Colmo, Las Gaviotas y Junta de vecinos de la comuna de Concón, Loncura y Centro Quintero de la comuna de Quintero, poseen calificación de estaciones de monitoreo con representatividad poblacional por Ozono.

1.4.1. Norma concentración de 8 horas para O₃

El Decreto N° 112/2003 MINSEGPRES, establece el valor de la norma como concentración de 8 horas de Ozono en 120 µg/m³N. El primer gráfico de la Figura N°8 muestra que las estaciones de monitoreo

⁹ <https://bcn.cl/2av72>

Centro Quintero y Junta de Vecinos, alcanzaron niveles de saturación como Norma de 8 horas de Ozono en los años 2016 y 2018 respectivamente.

El segundo gráfico, permite visualizar que entre los años 2013 y 2020 existe un alza en la tendencia que mantiene los niveles en saturación y latencia como Norma de 8 horas de Ozono. Posterior al año 2020, las concentraciones presentan una leve disminución que permite salir del nivel de latencia.

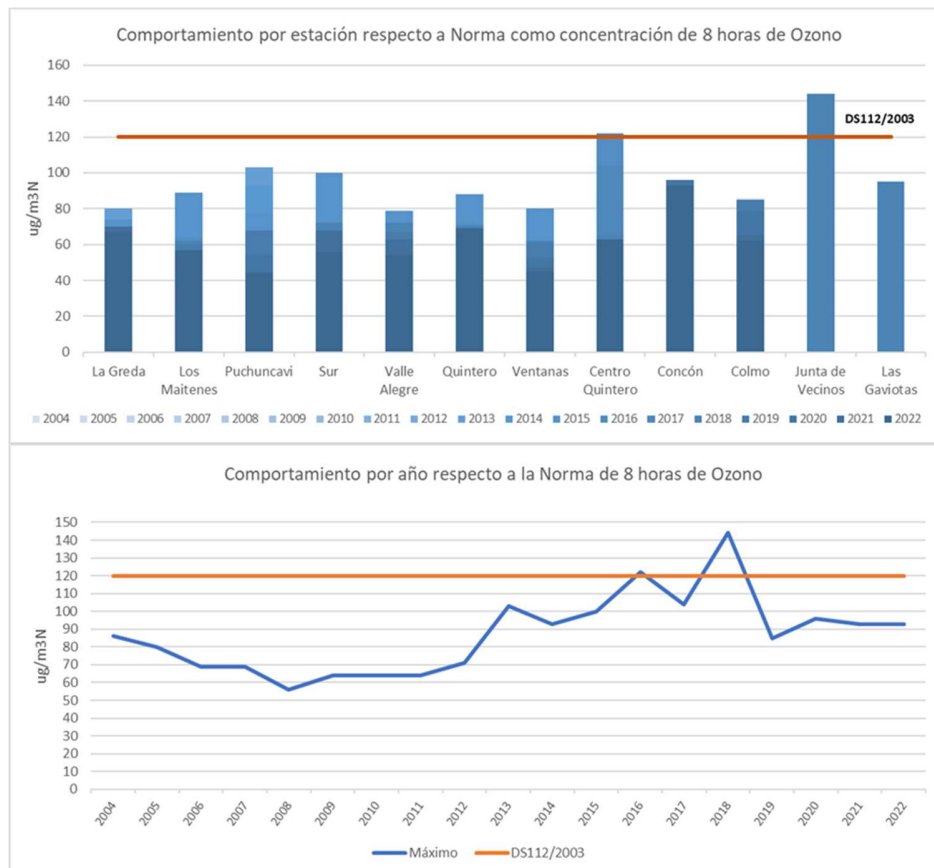


Figura N°8: Evolución norma de 8 horas de Ozono, metodología continua.

1.5. Monóxido de Carbono (CO)

En la zona, existe monitoreo de este contaminante desde el año 2006 en la estación Concón. Luego se incorporan las estaciones Centro Quintero y Loncura durante 2008 y 2009 respectivamente. Posteriormente, en 2012, comienza el monitoreo en las estaciones Los Maitenes y Sur, y es en el año 2016, donde se incorpora el monitoreo de este contaminante en las estaciones Quintero, Colmo, Junta de Vecinos y Las Gaviotas, conformando un total de nueve estaciones que actualmente monitorean en forma continua.

Respecto a la normativa vigente, el año 2002 entra en vigencia el D.S. N°115/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia¹⁰, que establece límites como concentración de 8 horas (10 mg/m³N) y como concentración de una hora (30 mg/m³N), límites vigentes actualmente.

1.5.1. Norma de 8 horas

En la Figura N°9, se observa que todas las estaciones y para todos los años, los niveles de la norma de concentración de 8 horas son muy inferiores al límite que establece la norma, siendo Quintero la estación que presenta mayores promedios trianuales del percentil 99 de concentraciones de 8 horas. Además, se observa que durante los años 2016 y 2017 las concentraciones aumentan, solo alcanzando un 20% del valor establecido en la norma.

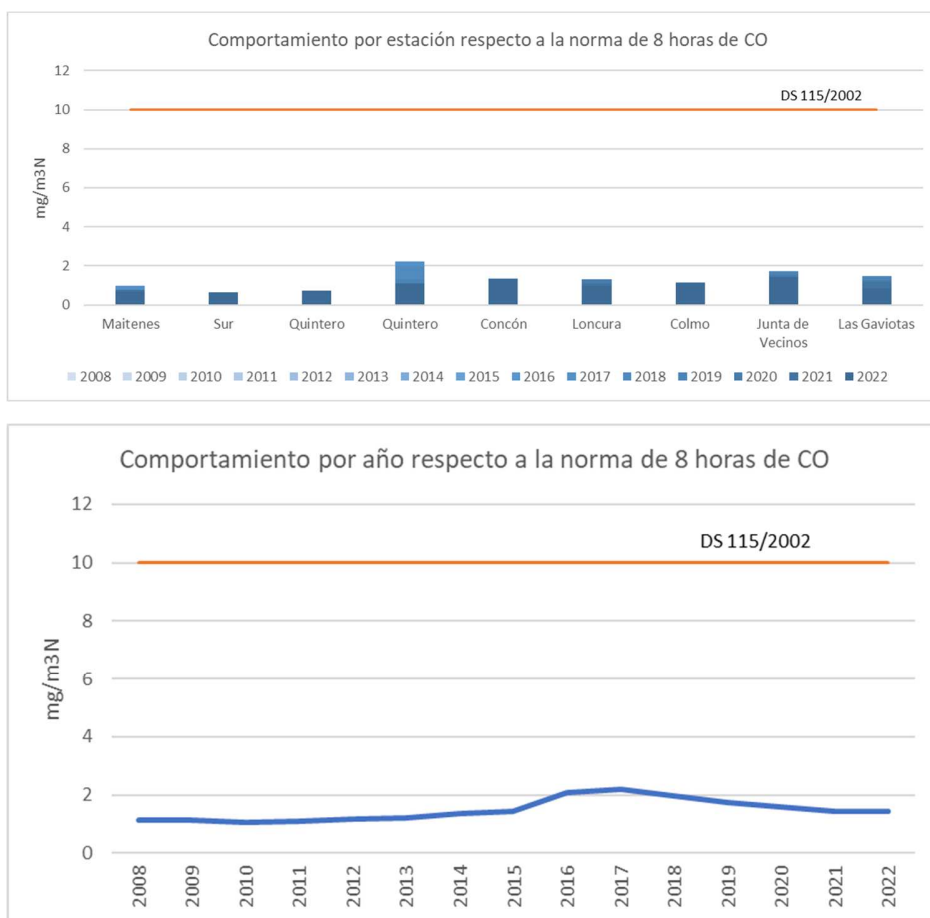


Figura N°9: Evolución norma de 8 horas de CO, metodología continua.

¹⁰ <https://bcn.cl/3l56m>

1.5.2. Norma horaria

En la Figura N°10, se observa que, al igual que en el caso anterior, para todas las estaciones y para todos los años, los niveles de la norma de concentración de 1 hora son muy inferiores al límite que establece la norma. Además, se observa que durante 2018 se presenta las mayores concentraciones, llegando a 5 mg/m³N como promedio trianual del percentil 99 de las concentraciones máximas de una hora, muy por debajo del límite normativo establecido.

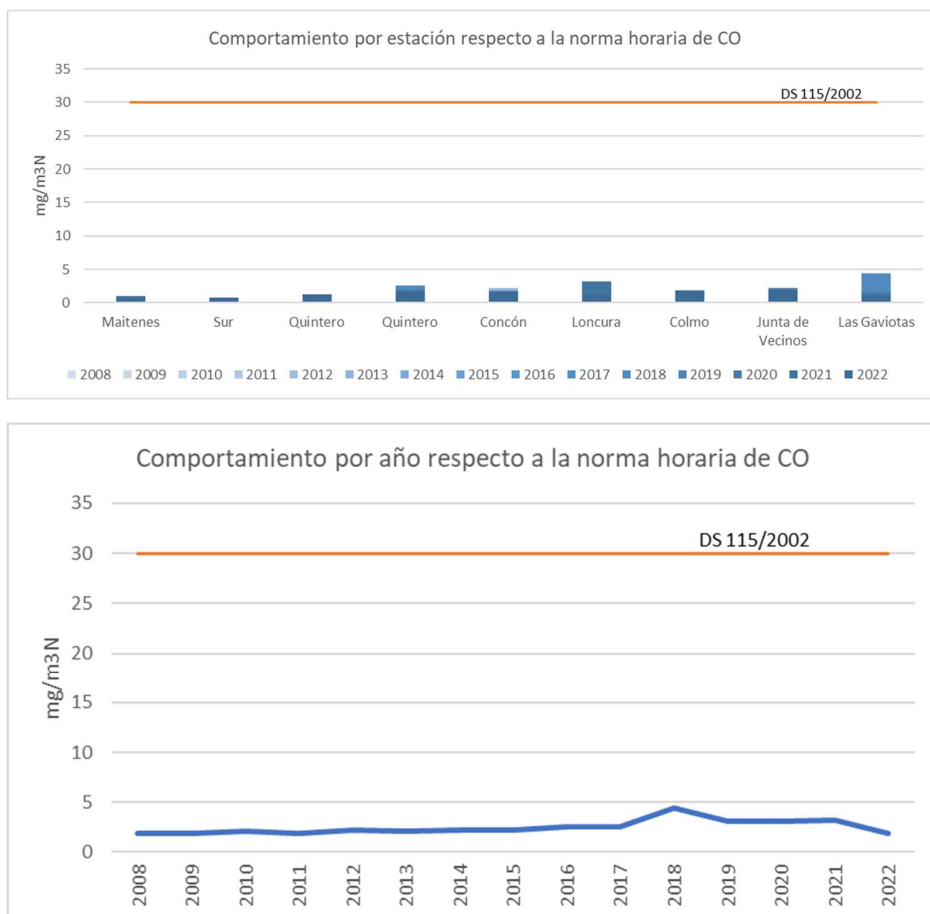


Figura N°10: Evolución norma de 1 hora de CO, metodología continua.

1.6. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

El monitoreo de este contaminante comienza el año 2006 en la estación Colmo, seguida por las estaciones Concón y Centro Quintero durante los años 2008 y 2010 respectivamente. Las estaciones La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y Valle Alegre, se incorporan durante 2013, mientras que las estaciones Quintero, Junta de Vecinos y Las Gaviotas, comienzan el monitoreo durante 2016. Actualmente la red cuenta con 11 estaciones que monitorean este contaminante.

El D.S. N° 114/2002¹¹ del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, establece límites de NO₂ como concentración de 1 hora (400 µg/m³N) y como concentración anual (100 µg/m³N). Se informa que, en 2024, se publicó la actualización de esta normativa, a través del Decreto N° 40/2023, del MMA¹².

1.6.1. Norma horaria

En la Figura N° 11 se observa que la estación Centro Quintero es la que presenta la mayor concentración respecto a la norma horaria, alcanzando 320 µg/m³N durante el año 2015 (trienio 2013-2015). Además, se muestra que durante los periodos 2015 y 2016 se observan los mayores promedios trianuales del percentil 99 de las concentraciones de 1 hora.

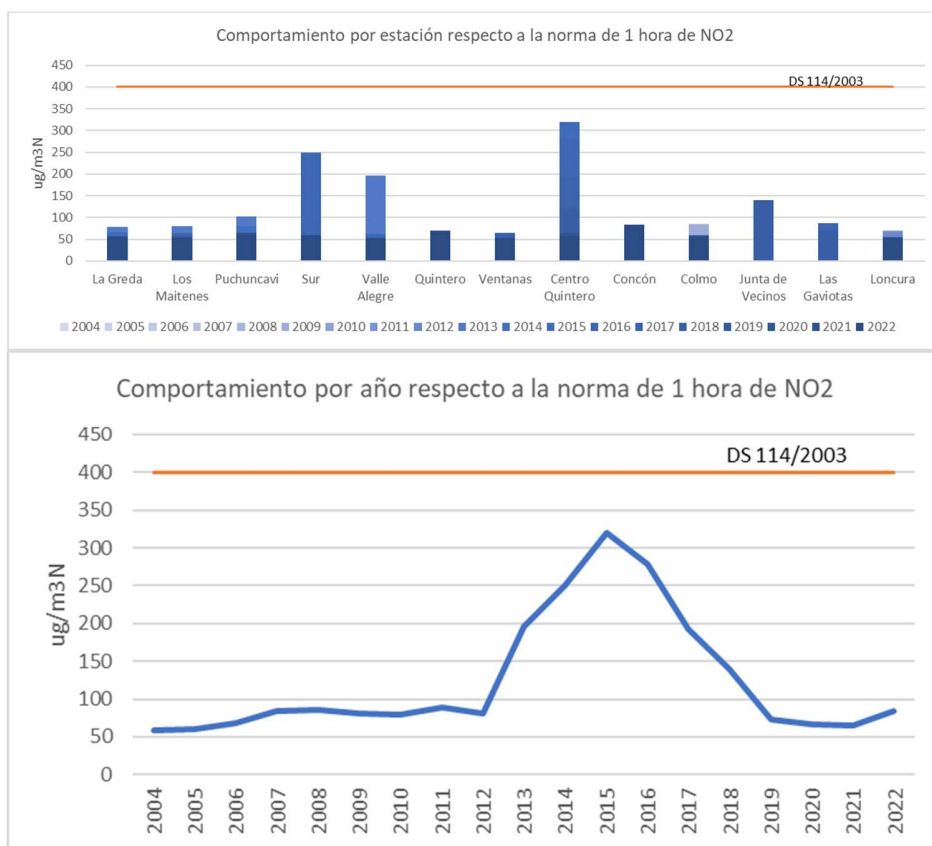


Figura N°11: Evolución norma de 1 hora de NO₂, metodología continua.

¹¹ <https://bcn.cl/3l56i>

¹² <https://bcn.cl/3uk2p>

1.6.2. Norma Anual

En la Figura N°12 se observa que, para todos los años, todas las estaciones están muy por debajo del nivel que establece la norma, siendo la estación Centro Quintero la que presenta mayores concentraciones, aunque solo alcanza un 40% del límite establecido en la norma. Además, se observa que es durante los años 2016 y 2017 cuando se alcanzan los mayores promedios trianuales.

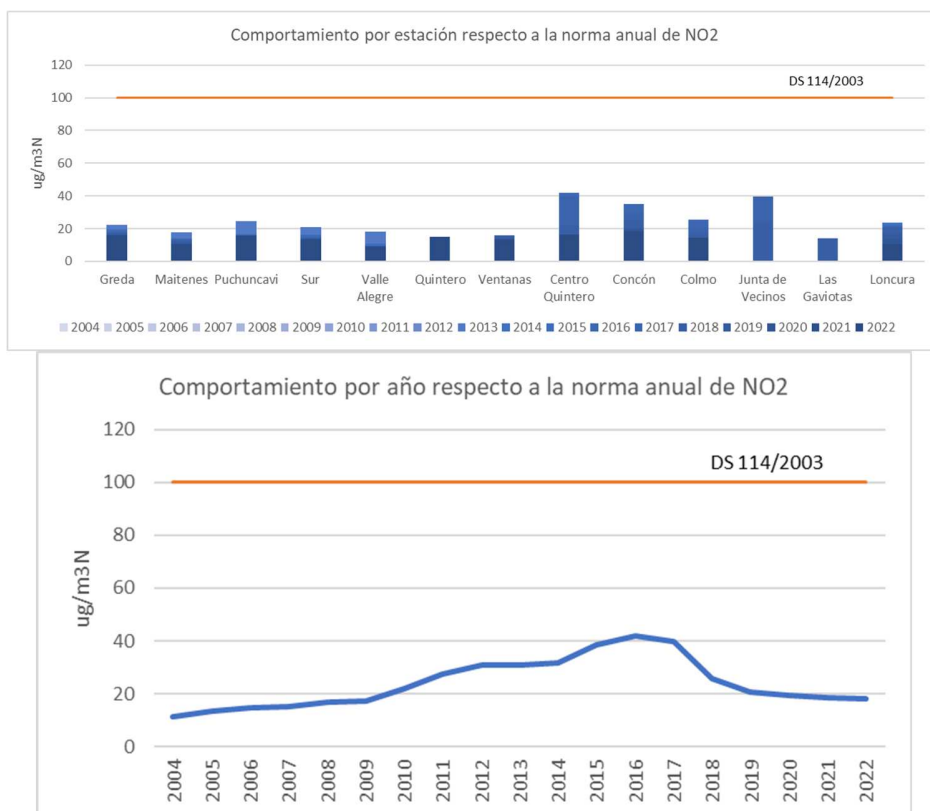


Figura N°12: Evolución norma anual de NO2, metodología continua.

1.7. Plomo (Pb)

En la zona, se realiza análisis de este contaminante con las mediciones realizadas en las estaciones Quintero, La Greda, Puchuncaví, Los Maitenes y Valle Alegre. La normativa vigente, el Decreto N° 136/2001, del MINSEGPRES¹³ que establece norma de Calidad Primaria para Plomo en aire, indica límite anual de 0.5 µg/m³N como promedio bianual.

En la Figura N°13, se muestra que los valores bianuales de Plomo están muy por debajo del valor límite en todas las estaciones y para todos los años.

¹³ <https://bcn.cl/2av7a>

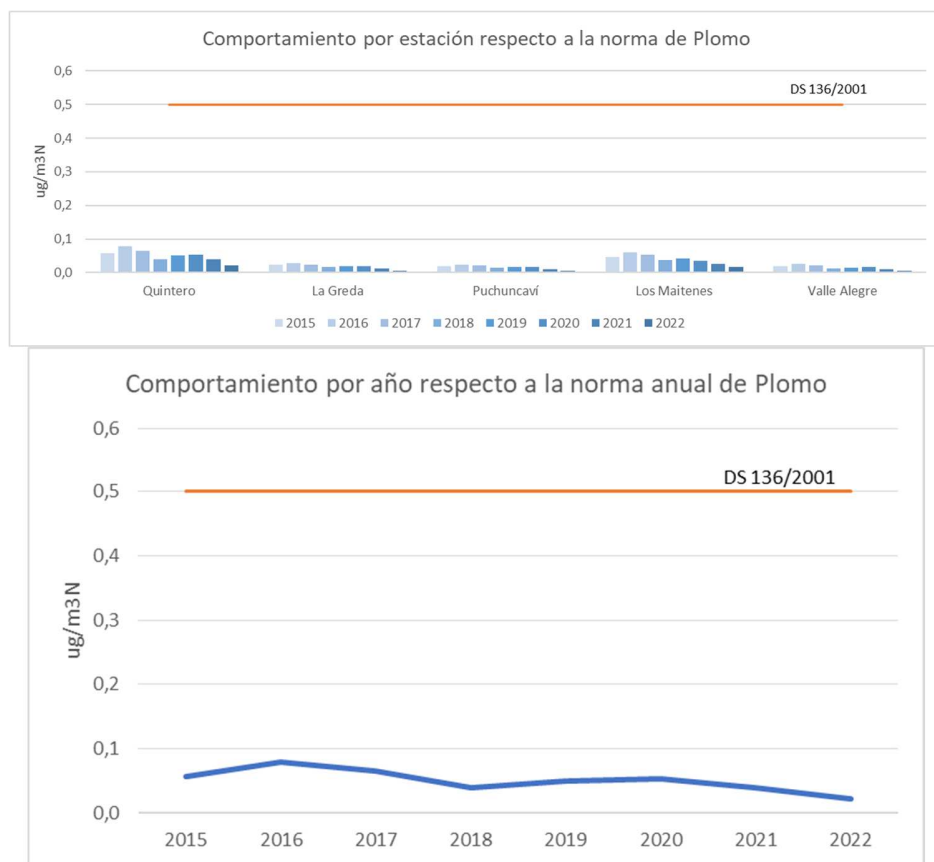


Figura N°13: Evolución norma anual de Plomo.

2. Análisis de Calidad del Aire para Contaminantes No Normados

2.1. Estudios Anteriores y Posteriores al Trienio 2015-2017

Entre los contaminantes no normados, se encuentran los parámetros CH₄ (metano), HCNM (hidrocarburos no metánicos) y HCT (hidrocarburos totales), los que se miden a través de analizadores continuos a partir del año 2002 en la estación Concón y Colmo y posteriormente entre 2010 a 2017 se incorporan siete estaciones de las comunas de Concón, Puchuncaví y Quintero, completando un total de nueve estaciones en la red industrial. Los máximos horarios históricos de CH₄, se ha registrado en la estación Colmo el 13 de noviembre de 2013 con 10 ppm, Centro Quintero con 9,3 ppm el 3 de febrero de 2017 y Concón el 22 de junio de 2011 con 8,3 ppm. Mientras que para HCNM y HCT los máximos horarios históricos en la estación Centro Quintero con 19,7 ppm y 22,3 ppm respectivamente el 5 de mayo de 2021.

	CH4 (ppm)			HCNM (ppm)			HCT (ppm)		
	Máximo	Promedio	Mediana	Máximo	Promedio	Mediana	Máximo	Promedio	Mediana
Los Maitenes	8,0	1,9	1,9	8,0	0,1	0,0	8,0	1,9	1,9
Sur	4,2	1,9	1,9	6,5	0,1	0,0	7,5	1,9	1,9
Ventanas	3,1	1,8	1,8	3,1	0,1	0,1	5,0	1,9	1,9
Colmo	10,0	1,9	1,9	8,7	0,2	0,1	10,1	2,0	2,0
Las Gaviotas	3,4	1,8	1,9	3,9	0,1	0,1	5,6	2,0	2,0
Concón	8,3	1,9	1,9	7,5	0,3	0,3	9,7	2,3	2,2
Junta de Vecinos	3,5	1,9	1,9	6,6	0,2	0,1	9,1	2,1	2,1
Centro Quintero	9,3	2,0	1,9	19,7	0,1	0,1	22,3	2,0	2,0
Loncura	2,0	1,7	1,7	1,0	0,2	0,2	2,9	1,9	2,0

Además, el MMA, desde su fundación en el año 2010, cuenta con información proveniente de cinco estudios enfocados en determinar concentraciones de contaminantes que no se encuentran normados en la actualidad, a excepción del benceno y arsénico, cuya normativa se estableció el año 2023. Estos estudios se han enfocado en dos tipos de contaminantes: los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y los elementos químicos presentes en el material particulado.

Los primeros datos recopilados en la zona, que incluyen antecedentes proporcionados al Ministerio, se remontan a un estudio iniciado en 2011 por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Este estudio se consideró como uno de los fundamentos técnicos para el desarrollo del PPDA, siendo parte de los documentos incluidos en el expediente electrónico del Plan¹⁴.

Los estudios subsiguientes se llevaron a cabo con posterioridad al lanzamiento del Plan. Entre ellos, se incluye un estudio del año 2019 a cargo del Instituto Noruego para la Investigación del Aire (NILU), enfocado en la identificación de compuestos orgánicos volátiles (COVs). En 2020, DICTUC realizó un análisis químico del MP2.5 proveniente de filtros recolectados en estaciones privadas de la zona. Adicionalmente, el mismo año, el Ministerio del Medio Ambiente efectuó un muestreo de COVs, específicamente para los compuestos BTEX.

La Tabla N°2 presenta un resumen de estos estudios, los cuales se presentan en forma de resumen en las siguientes secciones.

Tabla N°2. Estudios de contaminantes no normados en Concón, Quintero y Puchuncaví.

Título del Estudio	Ejecutor	Año de muestreo	Compuestos analizados
Evaluación de Exposición Ambiental a Sustancias Potencialmente Contaminantes Presentes en el Aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví	CENMA	2011 - 2013	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX)

¹⁴ Expediente disponible en:
https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=934394

Huella Digital de Compuestos Orgánicos Volátiles en el Área de Concón y Quintero-Puchuncaví	Instituto Noruego para la Investigación del Aire (NILU)	2018 y 2019	COVs livianos: etano, eteno, etino, propano, propeno, i-butano, n-butano, i-pentano, n-pentano. BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. Orgánicos sulfurados: COS, H ₂ S, CS ₂ , CH ₃ SH. Halogenados: CH ₂ Cl ₂ , CHCl ₃ , CH ₃ CCl ₂ , TCE, PCE.
Análisis de la Composición Química y Determinación del Aporte por Fuentes al Material Particulado MP _{2,5} en las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví	DICTUC	2017, 2018 y 2019	48 elementos en MP _{2,5} : Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, W, Au, Hg, Tl, Pb
Servicio de análisis químico que comprende el envío de captadores difusivos para la determinación de compuestos Orgánicos Volátiles en muestras de aire	Instituto Sueco de Investigación Ambiental (IVL)	2020	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno

- **Evaluación de Exposición Ambiental a Sustancias Potencialmente Contaminantes Presentes en el Aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (CENMA 2013)**

El estudio desarrollado por CENMA en 2012 se basó en muestreo de BTEX, por medio de tubos pasivos del tipo ORSA 5. Estos muestreadores (15 en total) se distribuyeron de forma equitativa en las tres comunas involucradas en el estudio. Se consideró un periodo de recolección de 14 días, y una vez finalizado el tiempo de exposición, los tubos fueron enviados al Laboratorio Passam en Suiza para su análisis mediante extracción con bisulfuro de carbono y cuantificación por cromatografía de gases.

La Tabla N°3 presenta los datos obtenidos en el estudio de CENMA realizado en 2012. En general, se destaca que los niveles de concentración detectados en este estudio son asimilables a los niveles de concentración detectados en investigaciones posteriores, tales como los realizados por el NILU e IVL, entre los años 2018 y 2020, respectivamente.

Tabla N°3. Concentraciones promedio de BTEX (µg/m³) resultantes del estudio CENMA.

Comuna	benceno	tolueno	etilbenceno	xileno
Concón	1,93	8,98	2,74	7,48
Quintero	1,60	7,61	2,14	5,81
Puchuncaví	1,59	8,34	2,45	7,26

Es importante destacar que estas concentraciones no excedieron los umbrales de riesgo definidos para salud. Incluso, las concentraciones promedio de benceno se encontraron por debajo del límite de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estipulado por la normativa chilena de calidad del aire para benceno que entró en vigencia en mayo del 2023 (D.S. N° 5/2023 del MMA¹⁵).

A nivel espacial, las concentraciones de los compuestos BTEX fue similar en todas las comunas, siendo relativamente mayor en la comuna de Concón, lo que en el estudio fue asociado al impacto de la Refinería de Petróleo Aconcagua.

En resumen, es posible inferir del estudio CENMA, que los niveles promedio de BTEX se presentan en concentraciones que no representan un riesgo para la salud. Esto se basa en extractos textuales, donde se concluye que:

- “Todos los lugares donde el benceno atmosférico fue monitoreado, la concentración no excedió al doble del valor de referencia, y los períodos de excedencia no son estadística ni biológicamente significativos. Mediciones más significativas se pueden lograr con monitoreos más extensos en el tiempo”.
- “De acuerdo con esta estimación y lo que se muestra en los resultados, las concentraciones atmosféricas de tolueno están muy por debajo el valor de referencia $5,0 \text{ mg}/\text{m}^3 = 5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ”
- “Las concentraciones de etilbenceno llegaron a un máximo de alrededor de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin alcanzar en ningún punto de muestreo ni en ninguna muestra recolectada durante el período de estudio la concentración de etilbenceno atmosférico de referencia $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ”
- “Las concentraciones de m-xileno llegaron a un máximo de alrededor de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones de o-xileno llegaron a un máximo de alrededor de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y las concentraciones de p-xileno llegaron a un máximo de alrededor de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin alcanzar en ningún punto de muestreo ni en ninguna muestra recolectada durante el período de estudio la concentración de xilenos atmosféricos de referencia $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.”

Dado que las observaciones anteriores son aplicables al periodo 2011-2012, es importante destacar que mediciones posteriores de BTEX han resultado en mediciones con concentraciones similares, y las cuales se asocian a valores que no son considerables como perjudiciales para la salud.

- **Huella Digital de Compuestos Orgánicos Volátiles en el Área de Concón y Quintero-Puchuncaví (NILU 2019 - 2020)**

El estudio de NILU, iniciado en respuesta a los casos de intoxicación reportados entre agosto y octubre de 2018, se enfocó en la recolección y análisis de muestras de aire para la determinación de un amplio rango de COVs. Utilizando canisters del tipo Summa, se colectaron las muestras durante periodos de 15 minutos y posteriormente se analizaron en el laboratorio de NILU en Noruega, mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS), acopladas al

¹⁵ <https://bcn.cl/3l598>

sistema de pre-concentración en frío MEDUSA. Con esta tecnología, el objetivo del estudio fue detectar COVs, incluso si se presentaban en concentraciones extremadamente bajas, en el nivel de partes por trillón (ppt).

El estudio se dividió en dos informes, correspondientes a las fases 1 y 2 (Fig. N°14). En la fase 1, o campaña de screening, se utilizaron muestras recolectadas en noviembre de 2018, lo que correspondió al periodo más cercano en fecha a los eventos de intoxicación. Los sitios de muestreo estuvieron ubicados cerca de industrias y en zonas residenciales, incluyendo un colegio en Quintero y viviendas en Concón. La recolección de datos fue realizada tanto por personal del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) como por miembros de la comunidad y en momentos en los cuales se percibía olores. Cabe mencionar que para la Fase 2, los equipos de muestreo fueron proporcionados a escuelas y residentes, permitiéndoles recoger muestras durante períodos en los que percibían olores inusuales o molestos.

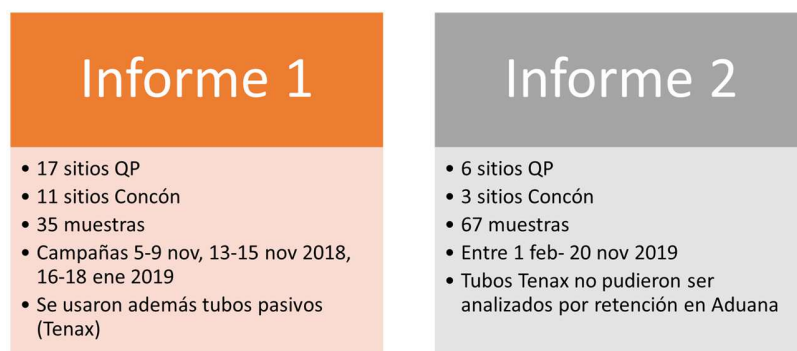


Figura N°14. Datos relacionados a las campañas de monitoreo de COVs realizada por el estudio NILU.

En ambos estudios del NILU se analizaron los mismos contaminantes, entre los que se encuentran compuestos halogenados (incluyendo metilcloroformo), 4 compuestos sulfurados, incluyendo H₂S, y 14 hidrocarburos ligeros como etano, propano, butano y pentano (C₂-C₅), y compuestos aromáticos de la familia BTEX.

En términos de resultados, se detectaron concentraciones significativamente bajas para representar un riesgo al medioambiente. Por ejemplo, se destacó que uno de los compuestos químicos mencionado en los medios durante los eventos de intoxicación (metilcloroformo) no se encontraba presente en la zona, y solo se pudo detectar concentraciones que se asocian al nivel background en el mundo. Por otra parte, el promedio de H₂S fue de 181 partes por trillón, equivalente a 0.18 partes por billón (ppb), lo cual no representa riesgo para la salud o concentraciones que se asocian a olores molestos.

En general, el estudio reveló que los principales compuestos emitidos desde las áreas industriales son hidrocarburos ligeros, principalmente propano, butano y pentano (Tabla N°4). En función de

estos compuestos, el NILU analizó el “ratio” o proporción con respecto al acetileno, otro COV monitoreado en las campañas, y el cual se consideró un trazador de COVs proveniente de residencias y no de industrias. En este sentido, el NILU detectó diferencias considerables en las proporciones de butano, isobuteno, pentano y acetileno, entre las masas de aire de los sitios industriales y los sitios residenciales. Las proporciones fueron entre 30 y 40 veces más altas en áreas industriales, por ello el estudio sugiere que la fuente de emisión de estos hidrocarburos estaría relacionada a fuentes provenientes del interior del parque industrial.

Tabla N°4: Concentraciones promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de COVs medidos por el NILU en cercanía a sitios industriales de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Compuesto	Promedio campaña 1	Promedio campaña 2
Etano	1.6	2.4
Eteno	0.6	0.8
Etino	0.3	0.4
Propano	7.4	14.0
Propeno	0.5	0.6
i-butano	5.2	2.8
n-butano	5.2	7.5
i-pentano	11.0	5.0
n-penteno	8.0	2.8
Benceno	1.0	0.4
Tolueno	4.9	1.2
Etilbenceno	4.6	2.0
m,p-xileno	20.9	6.5
o-xileno	7.4	2.3

De los resultados generales del estudio, se puede extraer los siguientes datos destacables:

- En la zona es factible encontrar concentraciones sobre $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVs totales. Según el estudio, se determinó que la suma de todos los hidrocarburos medidos fue inferior a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en áreas de fondo o background, aumentando a unos $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante episodios con olor perceptible a hidrocarburos.
- En cuanto a la situación en Concón, se observó un mayor impacto de la refinería en la zona residencial cercana, incluso en verano. La suma de los 14 hidrocarburos (livianos más BTEX) alcanzó hasta $325 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la noche y en condiciones de baja velocidad del viento.
- Las concentraciones de BTEX fueron similares a las detectadas por el estudio CENMA, resultando en concentraciones de benceno entre 0.1 y $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un promedio de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y niveles más altos de tolueno ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y xileno ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

- A partir del muestreo con tubo pasivo, se detectó que el ácido acético fue más alto de lo esperado. El estudio así también indica que las fuentes de ácido acético son probablemente naturales, con procesos de degradación de materia orgánica o residuos, como los que se pueden dar en sistemas de alcantarillados o de aguas servidas.
- En resumen, la principal conclusión del estudio es que a partir de los resultados de las mediciones se puede indicar que no hubo una influencia medible de las emisiones industriales de COVs hacia las áreas residenciales o en las escuelas cercanas.

- **Servicio de análisis químico que comprende el envío de captadores difusivos para la determinación de compuestos Orgánicos Volátiles en muestras de aire” (MMA 2020)**

En el año 2020, el Ministerio llevó a cabo un muestreo nacional enfocado en los compuestos BTEX, como parte del proceso para recopilar datos para la creación de la Norma de Calidad Ambiental para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Este muestreo se desarrolló bajo el método de tubos pasivos (Carbopack B) y se llevó a cabo en diferentes ciudades del país, incluyendo las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Los tubos pasivos fueron provistos por el Instituto Sueco de Investigación Ambiental (IVL), organismo que luego se encargó del análisis químico por GC-MS. Las muestras se recogieron en distintos puntos, según se indica en la Figura N°15. Para esto se ubicaron sobre postes eléctricos a una altura aproximada de 3 metros, donde permanecieron expuestos durante dos semanas.

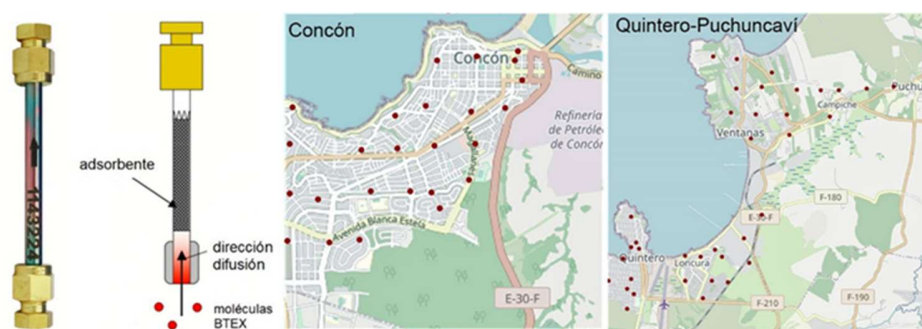


Figura N°15. Esquema de tubo pasivo y sitios de muestreo.

Los resultados obtenidos indican que los valores encontrados durante la campaña 2020 son homólogos a concentraciones encontradas por otros estudios elaborados para el MMA y que han sido desarrollados en la zona. En general, los valores promedio se encontraron por debajo de la unidad de concentración ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), para todos los compuestos, excepto tolueno que alcanzó aproximadamente $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Concón durante el invierno. En esta comuna, además, se detectaron

niveles levemente mayores, lo cual podría ser producto de la cercanía a la planta de refinación de petróleo.

Tabla N°5. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Quintero-Puchuncaví. Promedio ($\pm$ D.E.) campaña 2020.

	benceno	tolueno	etilbenceno	m+p-xileno	o-xileno
enero	0.47 ($\pm$ 0.19)	0.90 ($\pm$ 0.75)	0.18 ($\pm$ 0.16)	0.69 ($\pm$ 0.61)	0.27 ($\pm$ 0.22)
octubre	0.42 ($\pm$ 0.14)	1.64 ($\pm$ 1.70)	0.19 ($\pm$ 0.10)	0.69 ($\pm$ 0.37)	0.25 ($\pm$ 0.13)

Tabla N°6. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Concón. Promedio ($\pm$ D.E.) campaña 2020.

	benceno	tolueno	etilbenceno	m+p-xileno	o-xileno
enero	0.34 ($\pm$ 0.13)	1.28 ($\pm$ 0.76)	0.27 ($\pm$ 0.12)	1.09 ($\pm$ 0.49)	0.39 ($\pm$ 0.15)
agosto	0.83 ($\pm$ 0.49)	1.94 ($\pm$ 1.52)	0.46 ($\pm$ 0.49)	1.68 ($\pm$ 1.54)	0.65 ($\pm$ 0.65)

Comparando con los resultados de otras ciudades (Figura N°16) se observa que las concentraciones de BTEX en las tres comunas estudiadas son menores que las registradas en zonas más densamente pobladas, como la Región Metropolitana. Esto sugiere que factores como el transporte y las condiciones meteorológicas tienen un impacto significativo en las concentraciones de BTEX, evidenciado por los niveles más altos observados en la Región Metropolitana durante el invierno.

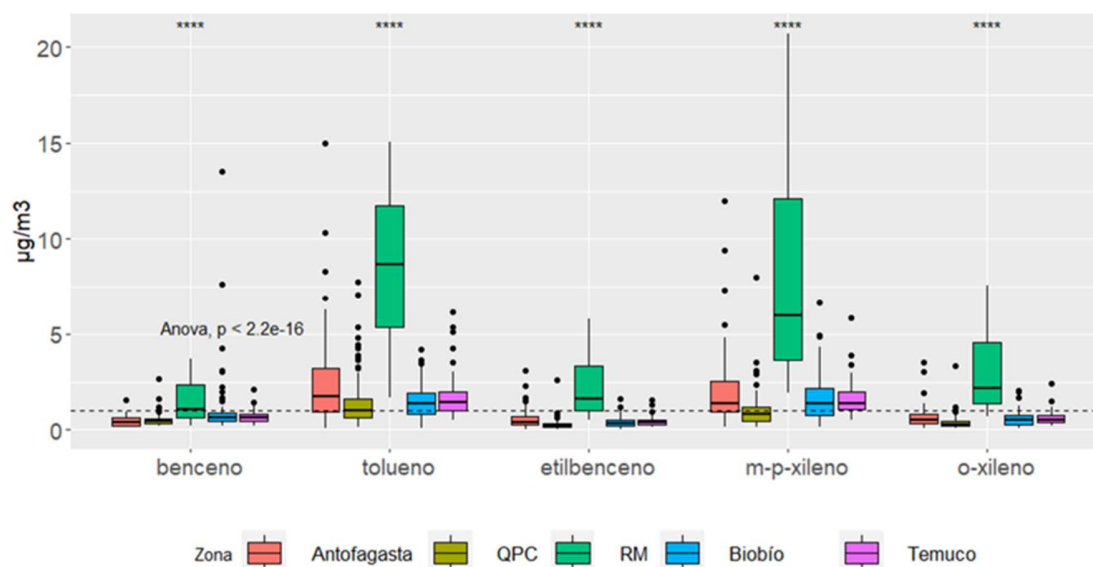


Figura N°16. Concentraciones de BTEX medidas por las campañas de tubos pasivos 2020.

A nivel espacial, la zona de Loncura resaltó como un área con los niveles más altos de BTEX total. Según es posible observar en la Figura N°17, en el entorno de Loncura sitio se registraron concentraciones máximas entre 6 y 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, coincidiendo geográficamente con el sector sur del parque industrial, particularmente en la zona de almacenaje de combustibles de ENAP y COPEC.

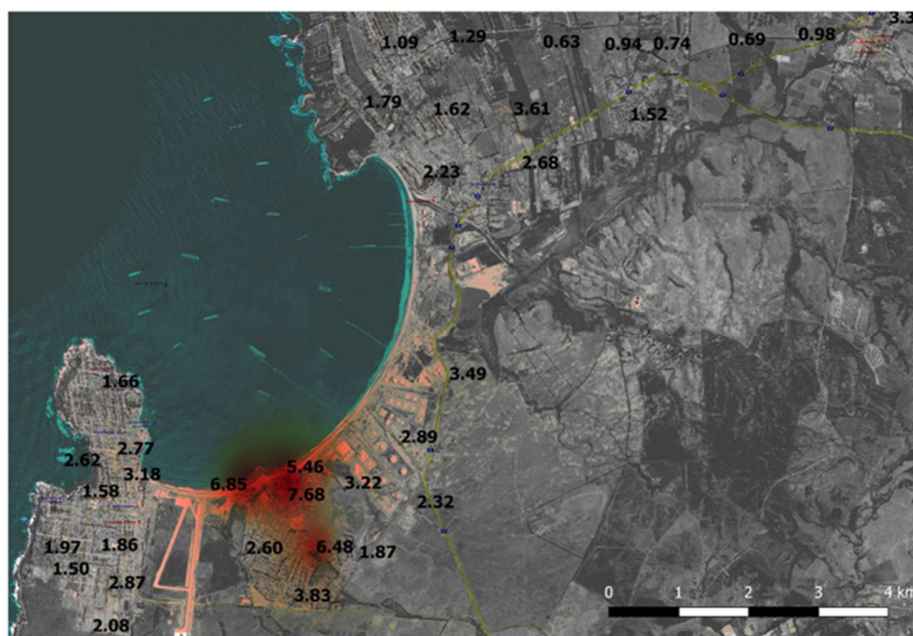


Figura N°17. Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la suma de BTEX en Quintero y Puchuncaví, campaña 2020

Por otra parte, en Concón se observaron tres sitios con máxima concentración de BTEX (Figura N°18), uno de ellos en el borde que limita con la refinería Aconcagua (ENAP). El resto corresponde a dos sitios ubicados al interior de la ciudad en zonas que presentan mayor tráfico vehicular, y en especial de transporte público.

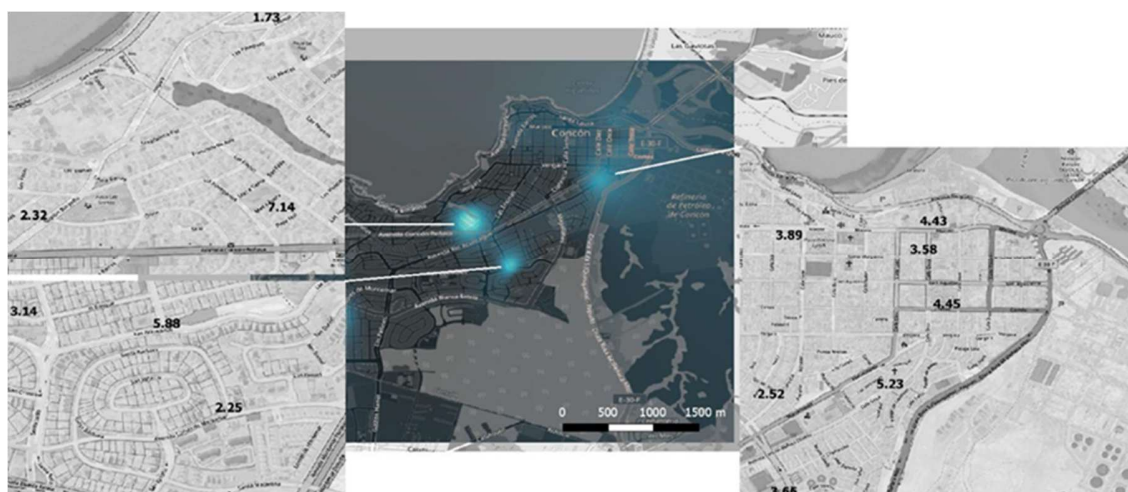


Figura N°18: Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la suma de BTEX en Quintero y Puchuncaví, campaña 2020.

En relación a estándares de calidad del aire, cuando se compara con normativa internacional, como por ejemplo la Unión Europea o en países con normativa estricta, como es el caso de Nueva Zelanda, se observa que **las concentraciones de BTEX encontradas en Quintero y Concón, se presentan en concentraciones por debajo de niveles que representen un riesgo para la salud** (Tabla N°7). Esto aplica para todos los resultados obtenidos en los estudios orientados a COVs, tales como el estudio CENMA, NILU y MMA.

Tabla N°7. Ejemplo de estándares de BTEX (µg/m3) en países con normativas en calidad del aire.

	benceno (anual)	tolueno (24 h)	etilbenceno (1 h)	xileno (24 h)
Ontario, Canadá ^[1]	3.0	400	2000	700
Nueva Zelanda ^[2]	3.6	-	-	-
Unión Europea ^[3]	5.0	-	-	-

^[1] <https://www.alberta.ca/ambient-air-quality-objectives.aspx>

^[2] <https://www.mfe.govt.nz/publications/air/health-effects-co-no2-so2-ozone-benzene-and-benzoapyrene-new-zealand/6-benzene>

^[3] <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

- **Análisis de la Composición Química y Determinación del Aporte por Fuentes al Material Particulado MP2,5 en las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví** (DICTUC, Informe Final agosto 2021)

El estudio, llevado a cabo por DICTUC, se centró en determinar la composición química del MP2.5. Para ello, se recolectaron 400 filtros muestreados, más 10 muestras de control (blancos), de las estaciones de monitoreo de Quintero, Ventanas, La Greda y Concón durante el periodo 2017-2019. El propósito principal fue identificar 40 elementos químicos¹⁶ y analizar la fracción de carbono, tanto en su forma elemental como orgánica.

Para los análisis químicos, los filtros se enviaron al Air Quality Research Center de la Universidad de California, Davis, en Estados Unidos. Allí, se aplicaron técnicas de fluorescencia de rayos X (XRF) para identificar los elementos químicos inorgánicos y se utilizó espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) para medir el contenido de carbono (elemental y orgánico).

¹⁶ Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, W, Au, Hg, Tl, Pb

Además, para determinar la contribución de diversas fuentes a estas concentraciones, se analizaron los datos mediante el método estadístico PMF (Matriz de Factorización Positiva).

A modo de resumen, se señala que los resultados arrojaron que las fuentes que más aportan a la formación de MP2.5 corresponde a los vehículos y la quema de leña (~30%), seguido del sulfato particulado originado de las emisiones gaseosas de SO₂ (15 a 25%), que son de origen industrial (Figura N°19).

A partir del resultado del modelo PMF obtenido (R² entre 0.65-0.75, según estación) se puede concluir que en Concón el sulfato secundario tiene mayor relevancia, ya que alcanzó el 26% del MP2.5. Esto evidenciaría un mayor impacto por la refinería de petróleo, ya que el elemento azufre se correlacionó con metales trazas encontrados en el petróleo (vanadio, níquel), lo que indicaría su clara procedencia desde esta fuente.

El estudio también destacó la fuerte contribución del polvo de suelo en la composición del MP2.5, observando variaciones desde un 8% en Quintero-Ventana hasta un 16% en Concón. Esto sugiere que la resuspensión de polvo de tierra se puede considerar como una fuente importante en la contribución al MP2.5 en estas áreas. En contraste, las fuentes industriales mostraron tener una participación más limitada, aportando solo entre el 4% y el 6% del MP2.5. De forma particular, la estación de Quintero reveló que las emisiones de embarcaciones marítimas contribuyen con un 8% del MP2.5 recogido en esa estación. De manera general, se puede comentar que aproximadamente el 10% del MP2.5 en las comunas estudiadas proviene de fuentes naturales, como el aerosol marino, mientras que el 90% tiene origen antropogénico.

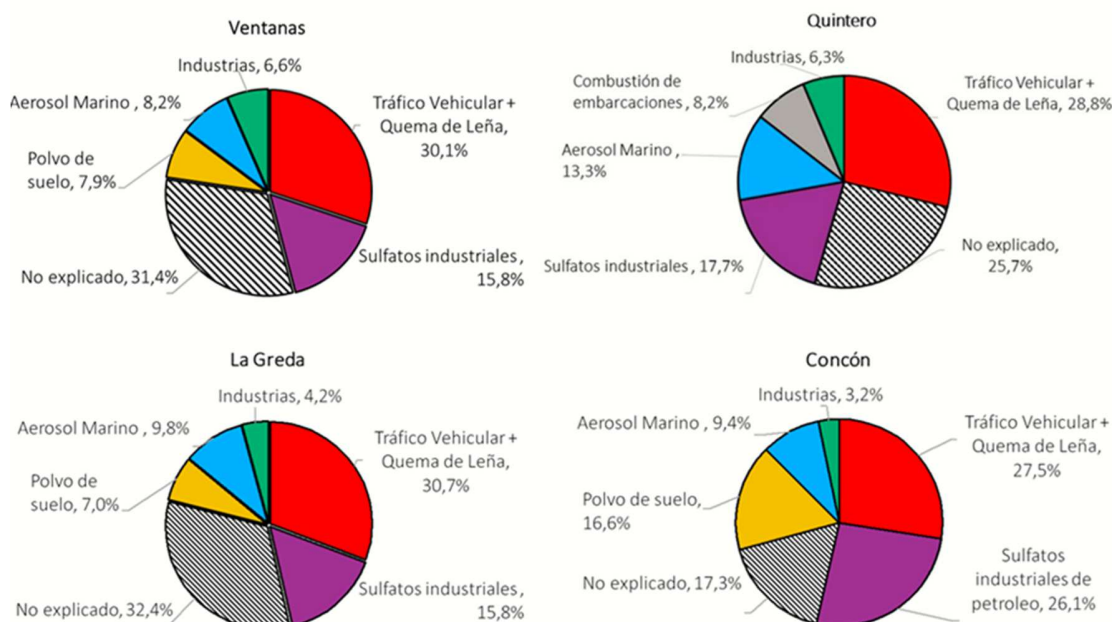


Figura N°19. Resultados del PMF que indica la contribución relativa (%) de las principales fuentes de MP2.5 en Concón, Quintero y Puchuncaví (periodo 2017-2019)

En cuanto al análisis de carbono, los resultados mostraron concentraciones que son común en zonas urbanas; valores que fluctúan entre 0-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de carbono elemental, y 0-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de carbono orgánico (ejemplos en Figura N°20). Resalta el hecho de observar incrementos y máximos diarios en invierno, lo cual respalda los resultados del PMF que indicaron que la quema de leña es una fuente significativa en el incremento del MP2.5 en estas comunas.

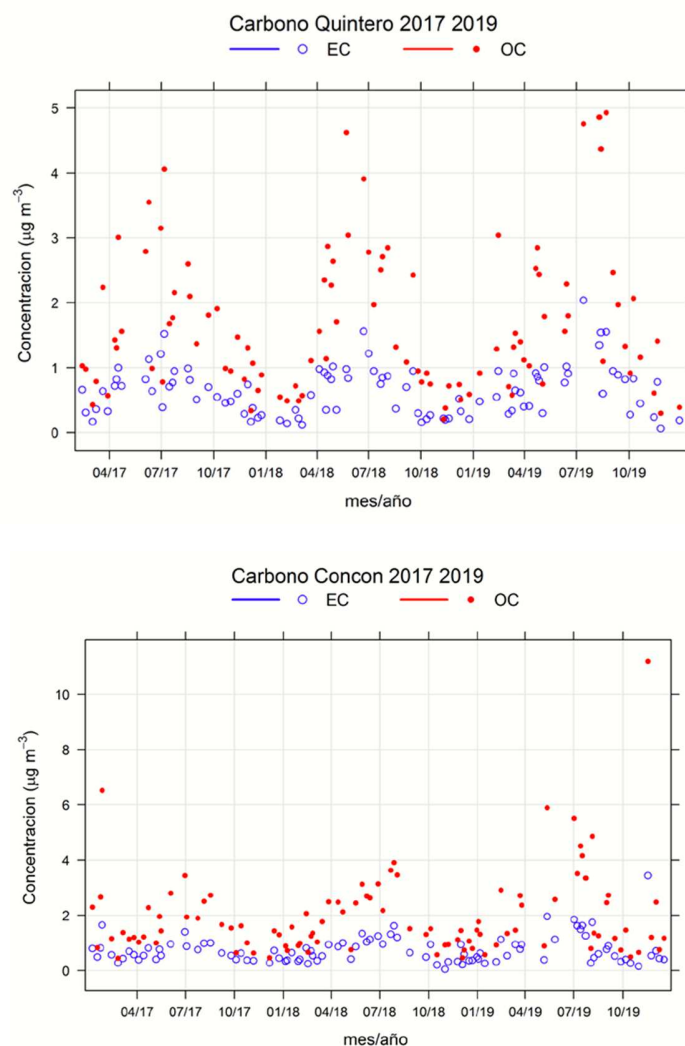


Figura N°20. Mediciones de Carbono Orgánico (OC) y Carbono Elemental (EC) medido en los filtros de MP2.5 del periodo 2017-2019 (estaciones Quintero y Concón)

En relación a los resultados específicos para cada compuesto químico analizado, se encontró que el azufre (S) es un componente mayoritario en el MP2.5, lo cual indica que las emisiones de SO_2 juegan un papel importante en la generación de partículas finas en la zona. No obstante, cabe destacar que

una de las principales fuentes de SO_2 , la fundición de cobre Ventanas, cesó sus operaciones en mayo de 2023. Por lo tanto, se anticipa que la contribución de esta fuente al $\text{MP}_{2.5}$, tienda a disminuir con el tiempo.

En cuanto a otros elementos químicos, especialmente aquellos metales pesados que están regulados en diferentes partes del mundo, se observó una alta concentración de arsénico (As). Las concentraciones de este elemento superaron el estándar establecido por la Unión Europea (en MP_{10}), que es de 6 ng/m^3 como promedio al año. La estación de Quintero mostró las cifras más elevadas, alcanzando un valor de 30 ng/m^3 como mediana durante todo el periodo estudiado. Este valor es significativamente mayor en comparación con las medianas reportadas en las otras estaciones, que oscilaron entre 7 y 8 ng/m^3 .

Respecto al elemento As, se encontró una correlación significativa con el plomo, zinc y cobre. Este patrón sugiere que el arsénico se asocia a las emisiones provenientes de fuentes que emiten estos compuestos, como, por ejemplo, la fundición de cobre y la combustión de carbón mineral en la termoeléctricas. Por otra parte, también podría deberse a la resuspensión de polvo de suelo enriquecido con la deposición acumulativa de estos elementos.

En el caso de otros elementos químicos regulados a nivel internacional, como el Plomo (Pb), Níquel (Ni) y Cadmio (Cd), se constató que sus concentraciones en el $\text{MP}_{2.5}$ de las estaciones de Concón, Quintero y Puchuncaví no excedieron los límites establecidos internacionalmente.

La Unión Europea, por ejemplo, fija un límite de 5000 ng/m^3 para el Pb (en MP_{10}), y este estudio encontró niveles que no superaron los 70 ng/m^3 . Cabe resaltar que al igual que en el caso del arsénico, la estación Quintero registró las mayores concentraciones de Pb, alcanzando una mediana de 32 ng/m^3 .

En cuanto al Ni, cuyo estándar en la U.E. es de 20 ng/m^3 , las estaciones registraron valores por debajo de los 10 ng/m^3 , y en dos de ellas, la mayoría de las mediciones estuvo incluso por debajo del límite de detección. Un comportamiento similar se notó en el caso del Cd, cuyo estándar en la UE es de 5 ng/m^3 ; en todas las estaciones, los niveles estuvieron por debajo del límite de detección.

A continuación, se disponen de los resultados de los elementos químicos con valores sobre el límite de detección y que fueron utilizados en el modelo PMF (Tablas N°8 a 11).

Tabla N°8. Estadística de elementos detectados en MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la estación Concón (concentración en ng/m^3 para los elementos químicos)

Elemento	N datos	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Rango	Bajo LOD
MP _{2.5}	100	15	14	39	7,0	5,7	32	-
Na	100	770	768	2731	81	476	2650	0
Mg	100	85	72	292	4,7	62	288	2
Al	100	88	78	303	2,4	61	300	0
Si	100	187	160	668	43	101	625	0
S	100	774	688	2270	151	391	2119	0
Cl	100	534	314	3488	0,7	652	3488	1
K	100	143	122	446	37	76	409	0
Ca	100	72	70	169	18	27	151	0
Ti	100	8,0	7,1	31	1,4	4,5	29	0
V	100	3,6	3,3	12	0,7	2,6	11	15
Mn	100	3,0	2,8	8,0	0,7	1,5	7,3	9
Fe	100	86	82	203	16	34	186	0
Cu	100	38	21	379	1,9	58	377	0
Zn	100	26	20	131	2,4	22	129	0
As	100	10	7,1	60	0,7	12	60	28
Br	100	3,0	2,6	16	0,7	2,4	15	23
Pb	100	12	9,2	60	1,2	10	59	5

Tabla N°9. Estadística de elementos detectados en MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la estación Quintero (concentración en ng/m^3 para los elementos químicos)

Elemento	N datos	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Rango	Bajo LOD
MP _{2.5}	100	16	15	28	7,1	5,1	21	-
Na	100	844	798	2480	8,2	463	2472	1
Mg	100	126	115	325	4,7	75	321	1
Al	100	38	31	121	0,9	26	120	4
Si	100	79	73	228	4,0	40	224	1
S	100	909	860	2732	195	443	2537	0
Cl	100	741	535	2446	0,7	642	2446	1
K	100	144	123	351	28	73	323	0
Ca	100	54	52	143	22	23	121	0
V	100	22	13	150	0,7	23	149	5
Fe	100	47	43	165	8,0	28	157	0
Ni	100	6,7	3,8	46	0,7	7,4	45	17
Cu	100	178	77	1693	0,7	271	1692	3
Zn	100	102	57	630	1,4	123	629	0
As	100	78	31	577	0,7	107	577	12
Se	100	17	6,8	93	0,7	21	92	24
Br	100	3,4	3,3	8,0	0,7	2,0	7,3	13
Pb	100	62	32	391	1,2	75	390	8

Tabla N°10. Estadística de elementos detectados en MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la estación La Greda (concentración en ng/m^3 para los elementos químicos)

Elemento	N datos	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Rango	Bajo LOD
MP _{2.5}	100	16	14	30	8,0	5,4	22	-
Na	100	643	521	1653	67	381	1586	0
Mg	100	102	100	351	4,7	74	347	9
Al	100	101	88	481	2,4	72	479	0
Si	100	193	159	909	19	142	889	0
S	100	746	685	2342	141	379	2201	0
Cl	100	558	418	1859	3,3	534	1856	0
K	100	159	127	457	39	94	418	0
Ca	100	77	68	263	23	39	241	0
Ti	100	6,8	5,4	30	0,7	678	29	1
V	100	11	10	46	0,7	8,6	45	8
Fe	100	90	77	398	10	62	388	0
Cu	100	84	40	1130	2,4	138	1128	0
Zn	100	36	23	232	2,8	38	229	0
As	100	21	7,8	205	0,7	33	205	21
Br	100	2,7	2,4	8,5	0,7	1,9	7,8	21
Pb	100	18	10	165	1,2	24	164	12

Tabla N°11. Estadística de elementos detectados en MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la estación Ventana (concentración en ng/m^3 para los elementos químicos)

Elemento	N datos	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Rango	Bajo LOD
MP _{2.5}	100	16	15	27	9,2	5,0	18	-
Na	100	705	625	2199	8,2	385	2191	1
Mg	100	108	103	292	4,7	60	287	3
Al	100	101	84	323	8,9	68	314	0
Si	100	208	165	1004	32	160	972	0
S	100	815	644	3339	172	496	3167	0
Cl	100	575	368	3469	0,7	610	3468	1
K	100	163	147	446	36	84	410	0
Ca	100	61	58	174	13	29	161	0
Ti	100	7,8	6,4	25	0,7	5,5	24	1
V	100	14	12	44	0,7	10	43	6
Mn	100	2,8	2,4	8,0	0,7	1,9	7	17
Fe	100	81	68	252	14	54	238	0
Ni	100	4,3	3,8	13	0,7	3,2	12	19
Cu	100	51	25	413	2,4	63	411	0
Zn	100	39	20	349	6,1	50	343	0
As	100	19	8,2	242	0,7	33	241	23
Br	100	3,7	3,3	26	0,7	3,4	25	15
Pb	100	19	10	163	1,2	26	162	6

2.2. Resultados de Monitoreo Continuo de COVs posterior al Trienio 2015-2017

En esta sección se analiza la información proporcionada por equipos de monitoreo continuo de COVs instalados en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, lo cual tiene ocurrencia durante el transcurso el año 2023. En la primera parte, se comienza analizando los datos del equipo PyxisGC BTEX (marca Pollution Analytical Equipment, Italia), un cromatógrafo de gases en miniatura con detector de fotoionización (PID). Mientras que en la segunda, se analizan los datos entregados por el equipo GC 5000 (marca AMA Instruments, Alemania), que corresponde a un cromatógrafo de gases asociados a un detector de llama (FID).

2.2.1. Equipo PyxisGC BTEX

Los datos de monitoreo de los equipos Pyxis se enmarca en una red que comprende siete instrumentos, que se encuentran distribuidos de manera que aproximadamente dos unidades por

comuna (Figura N°21). Cada equipo Pyxis está diseñado para medir específicamente cuatro compuestos: benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. El proceso de medición consta de ciclos continuos de seis minutos, seguidos de un análisis cromatográfico de diez minutos, lo que permite obtener un dato cada quince minutos.

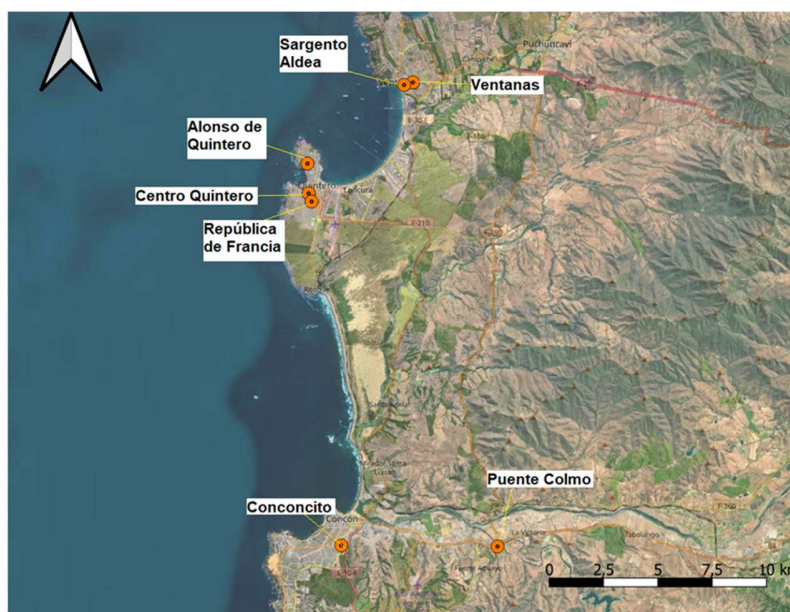


Figura N°21. Mapa de ubicación de los monitores Pyxis

Los datos usados en este informe fueron suministrados por la SMA, en forma de planillas que incluían el estatus de validación para cada conjunto de datos. Además, la información se presentó convertida a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ desde su formato original de ppb, utilizando para ello factores de conversión basados en condiciones estándares de presión y temperatura. Los resultados abarcan el período de abril a octubre de 2023, y para su análisis se consideraron únicamente los datos clasificados como "válidos". Posteriormente, se promedió en valores de 1 hora y se desarrolló la estadística que se muestra a continuación.

Respecto al estado de los datos, al comienzo del análisis se observó la presencia de un porcentaje considerable de datos inválidos en las mediciones, particularmente más notorio en los últimos meses de monitoreo. Por ejemplo, en Alonso de Quintero, para el mes de octubre se reportaron un 88% de datos inválidos (benceno). El perfil de datos inválidos es similar entre todos los equipos, y en general se asocia a invalidaciones constantes a lo largo de la serie de tiempo, sobre todo para datos bajos (Figura N°22) reportados como "valor fuera del intervalo". En algunos casos se identificaron máximos de concentración como datos válidos, como para el caso de Centro de

Quintero, donde se registraron máximos de hasta 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno, que fueron catalogados como dato válido.

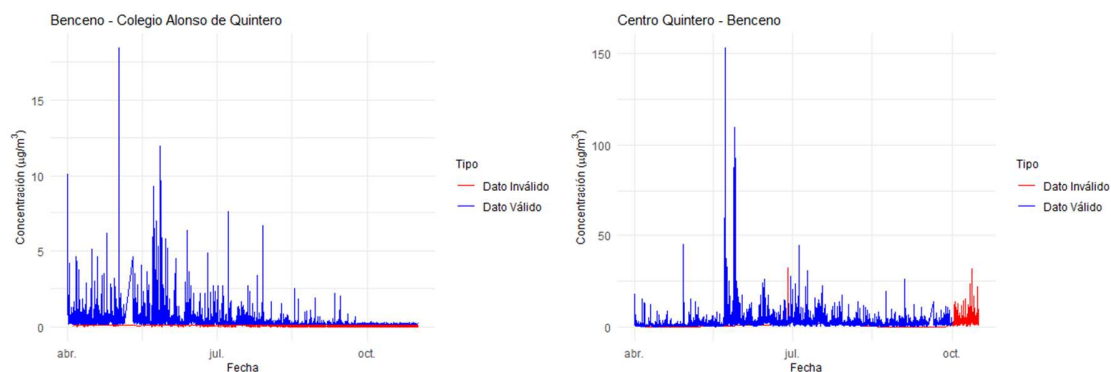


Figura N°22. Series de tiempo de benceno con marca del estado de la data.

Al analizar los datos se observó que para el benceno los valores coinciden con lo esperado para la zona, en línea con los niveles detectados en otros estudios, situándose en un rango de 0.5 a 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabla N°12). En los estudios del NILU y MMA se detectaron rangos de benceno entre 0.4 a 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante, resulta llamativo que en lugares como Centro Quintero y Conconcito se hayan registrado máximos horarios considerablemente más elevados que los máximos registrados en otras estaciones.

Tabla N°12. Estadística de benceno para datos entregado por equipos Pyxis.

Datos de 1 hora para Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Sitio	promedio	mínimo	máximo
Quintero	Colegio Alonso de Quintero	0.37	0.16	6.05
	Estación Centro Quintero	2.36	0.18	108
	Escuela Republica de Francia	0.72	0.16	41
Puchuncaví	Liceo Sargento Aldea	0.46	0.16	2.8
	Estación Ventanas	0.8	0.16	32
Concón	Escuela Puente Colmo	0.51	0.16	3.31
	Jardín Infantil Conconcito	0.92	0.17	36

Por otra parte, el análisis del perfil horario del benceno revela un patrón similar en todos los sitios (Figura N°23), con un perfil que muestra máximos durante la mañana (7-8 am) y otro en la tarde (7 pm). Ambos incrementos se pueden relacionar con mayores emisiones provenientes del tráfico vehicular. Se destaca del perfil horario, que los equipos situados en el colegio Alonso de Quintero, Republica de Francia y Puente Colmo muestran una tendencia a mantener concentraciones constantes durante la noche, lo que sugiere la posible influencia de emisiones residenciales o la quema de leña en el área cercana.

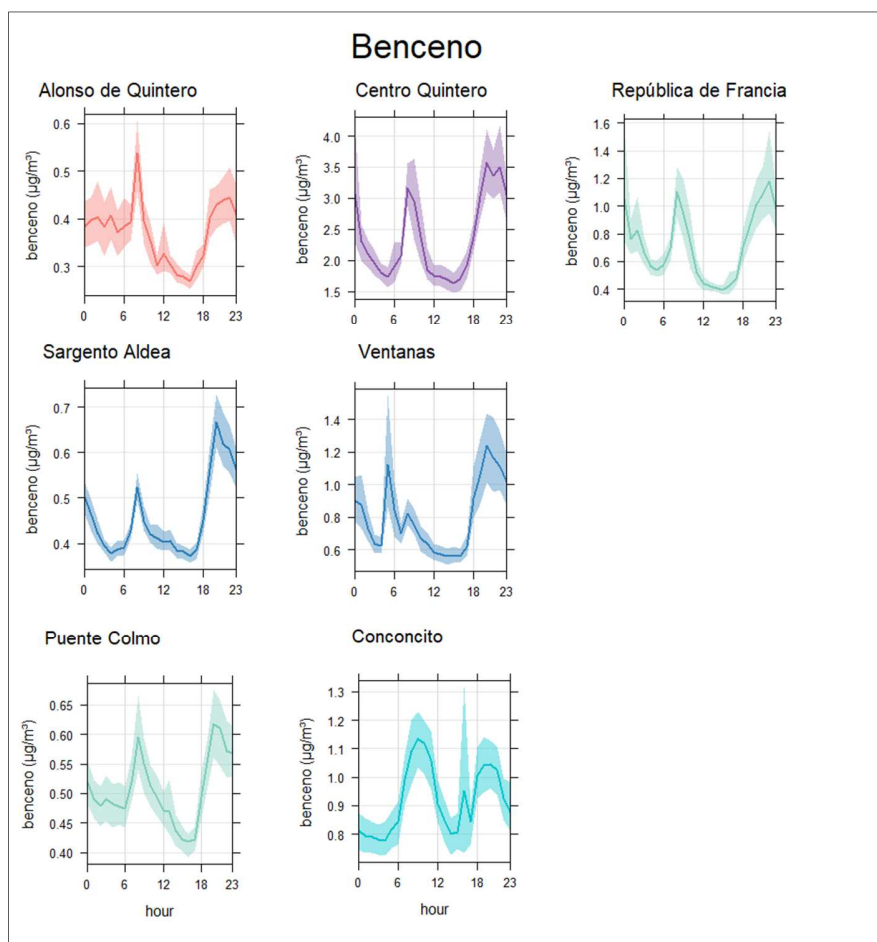


Figura N°23. Perfil horario del benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para datos del equipos Pyxis

A partir de los datos, se constata que el tolueno también presenta un perfil horario correlacionado con el tráfico vehicular. Las concentraciones promedio de este compuesto se mantienen dentro de los rangos esperados, con valores que se detallan en la Tabla N°13. De la Figura N°24 se observa un perfil atípico para la estación Puente Colmo, que capturó un máximo de concentración durante un día del fin de semana. En forma similar, la estación Centro Quintero es la que presentó un promedio más alto, sin embargo, podría deberse al efecto del máximo de concentración capturado en este sitio, que particularmente es muy alto con respecto a otros máximos que se han medido en la zona (ej. $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con el equipo AMA Instruments).

Tabla N°13. Estadística de tolueno para entregado por equipos Pyxis.

Datos de 1 hora para tolueno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Sitio	promedio	mínimo	máximo
Quintero	Colegio Alonso de Quintero	0.56	0.19	34
	Estación Centro Quintero	3.2	0.23	326
	Escuela Republica de Francia	1.05	0.19	191
Puchuncaví	Liceo Sargento Aldea	1.42	0.19	174
	Estación Ventanas	0.79	0.19	19
Concón	Escuela Puente Colmo	0.63	0.19	95
	Jardín Infantil Conconcito	1.19	0.19	351

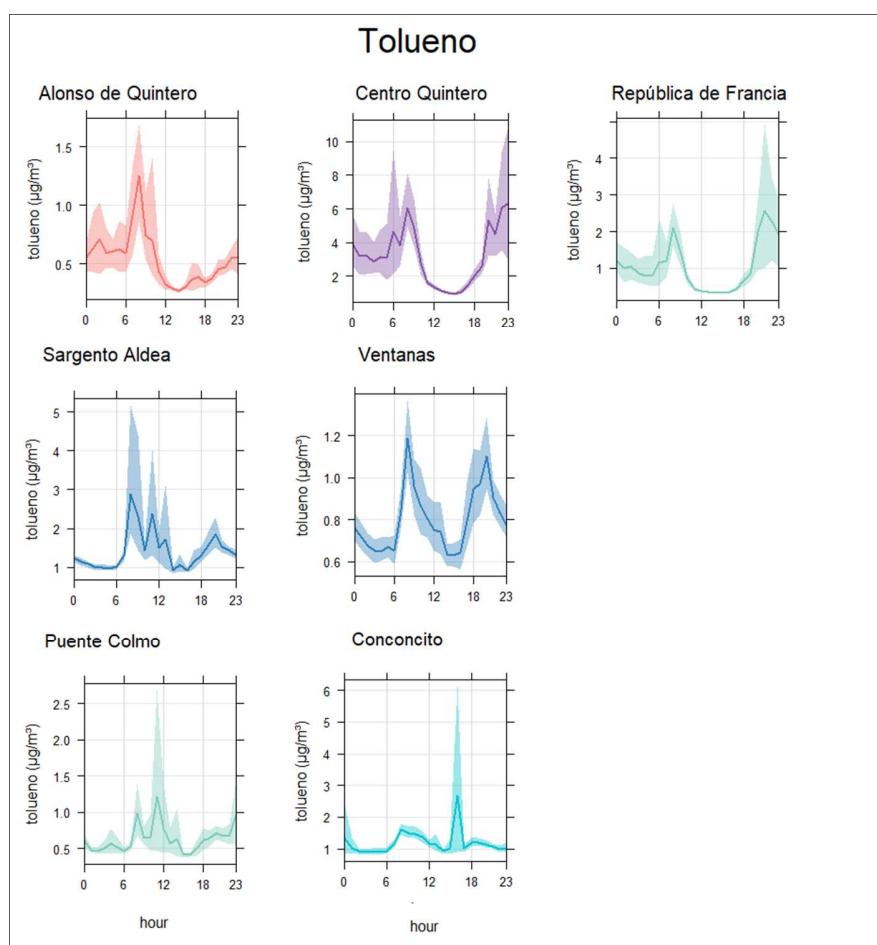


Figura N°24. Perfil horario del tolueno($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para datos del equipos Pyxis

El compuesto etilbenceno se detectó en concentraciones bajas, específicamente en el rango de concentraciones entre 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabla N°14). Este valor es ligeramente superior a cifras reportadas por otros estudios, que han mostrado que etilbenceno se presentaría en niveles de 0-1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ej. NILU y MMA).

Tabla N°14. Estadística de etilbenceno para datos entregados por equipos Pyxis.

Datos de 1 hora para etilbenceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Sitio	promedio	mínimo	máximo
Quintero	Colegio Alonso de Quintero	0.35	0.22	3.3
	Estación Centro Quintero	2.48	0.40	12
	Escuela Republica de Francia	0.43	0.22	3.2
Puchuncaví	Liceo Sargento Aldea	0.84	0.22	9.6
	Estación Ventanas	1.46	0.23	12
Concón	Escuela Puente Colmo	2.12	0.23	2264
	Jardín Infantil Conconcito	1.34	0.23	102

El perfil horario del etilbenceno (Figura N°25) también sugiere una asociación con las emisiones que provienen del parque vehicular. La estación Ventanas muestra un perfil horario irregular para el etilbenceno, lo que podría indicar un problema de calibración del equipo de monitoreo, como se infiere de la Figura analizada. En esta estación también se destaca de manera inusual una serie de tiempo que sugiere problemas con la calidad de los datos considerados válidos (Figura N°26).

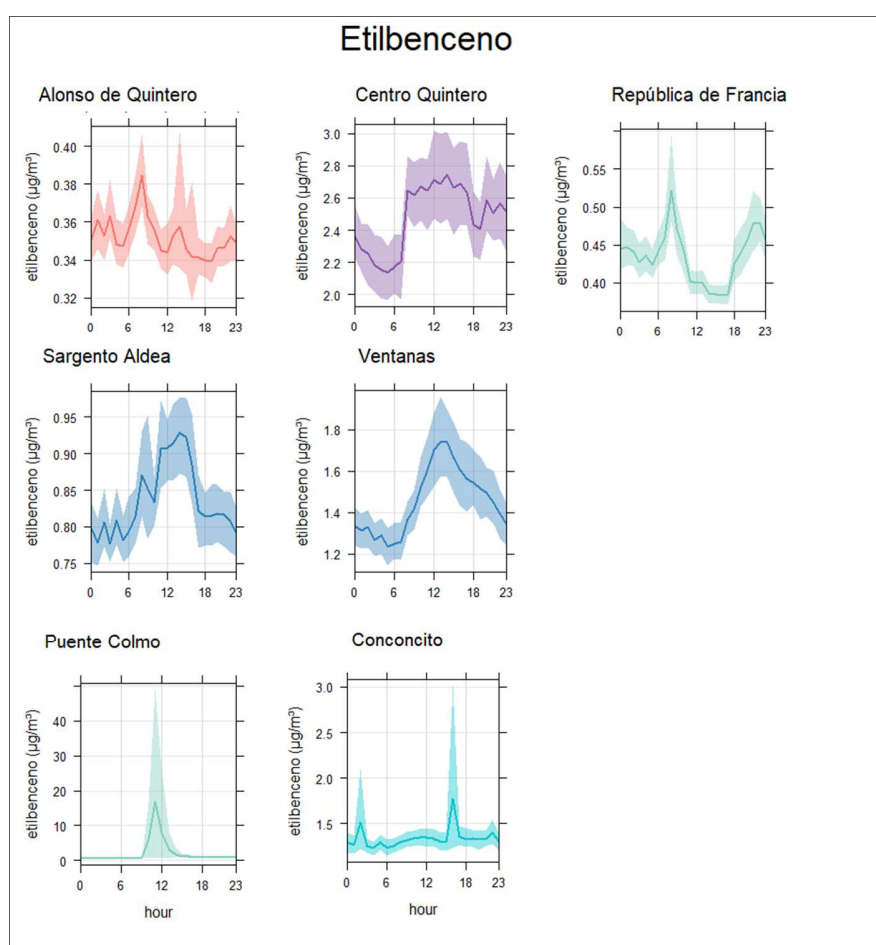


Figura N°25. Perfil horario del etilbenceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para datos del equipos Pyxis

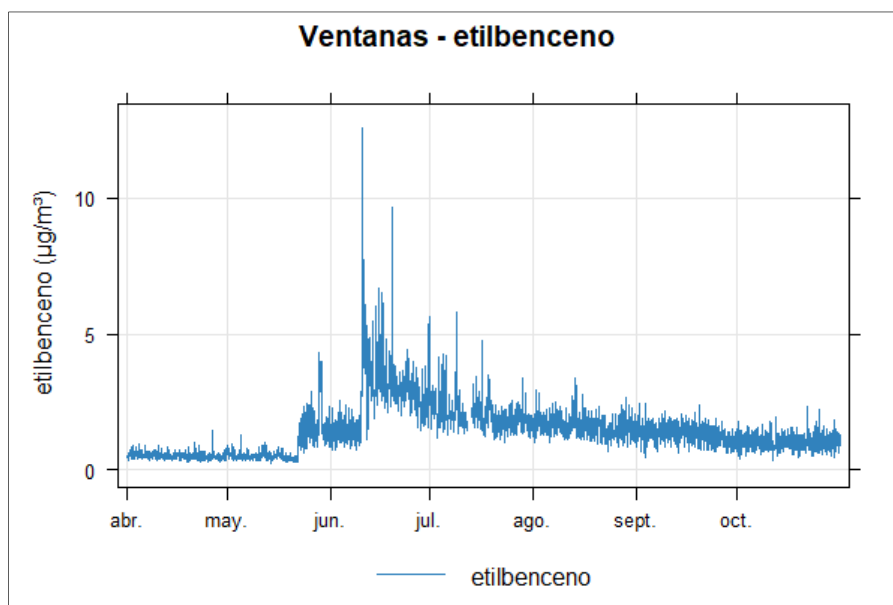


Figura N°26. Serie de tiempo (validada) del etilbenceno para datos capturados por el equipo Pyxis en la estación Ventana.

En el caso de las concentraciones registradas para el compuesto xileno (Tabla N°15), los promedios registrados en las estaciones son inferiores a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que resulta un tanto diferente a lo entregado por otros estudios, como el realizado por NILU, donde se reportaron valores promedio en el orden de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa un perfil horario que podría indicar que las emisiones vehiculares son una fuente significativa de este compuesto, debido a los incrementos en la mañana y en la tarde, que son más evidentes en las estaciones de Quintero. A pesar de que algunas estaciones evidencian series temporales que podrían sugerir problemas en la calidad de los datos para xileno, como, por ejemplo, en Ventanas y Sargento Aldea (Figura N°27).

Tabla N°15. Estadística de xileno para datos entregados por equipos Pyxis.

Datos de 1 hora para xileno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Sitio	promedio	mínimo	máximo
Quintero	Colegio Alonso de Quintero	0.64	0.23	17.9
	Estación Centro Quintero	2.77	0.39	25.8
	Escuela Republica de Francia	0.45	0.22	9.9
Puchuncaví	Liceo Sargento Aldea	2.34	0.35	6.9
	Estación Ventanas	1.08	0.22	21
Concón	Escuela Puente Colmo	0.87	0.23	1144
	Jardín Infantil Conconcito	2.60	0.23	620

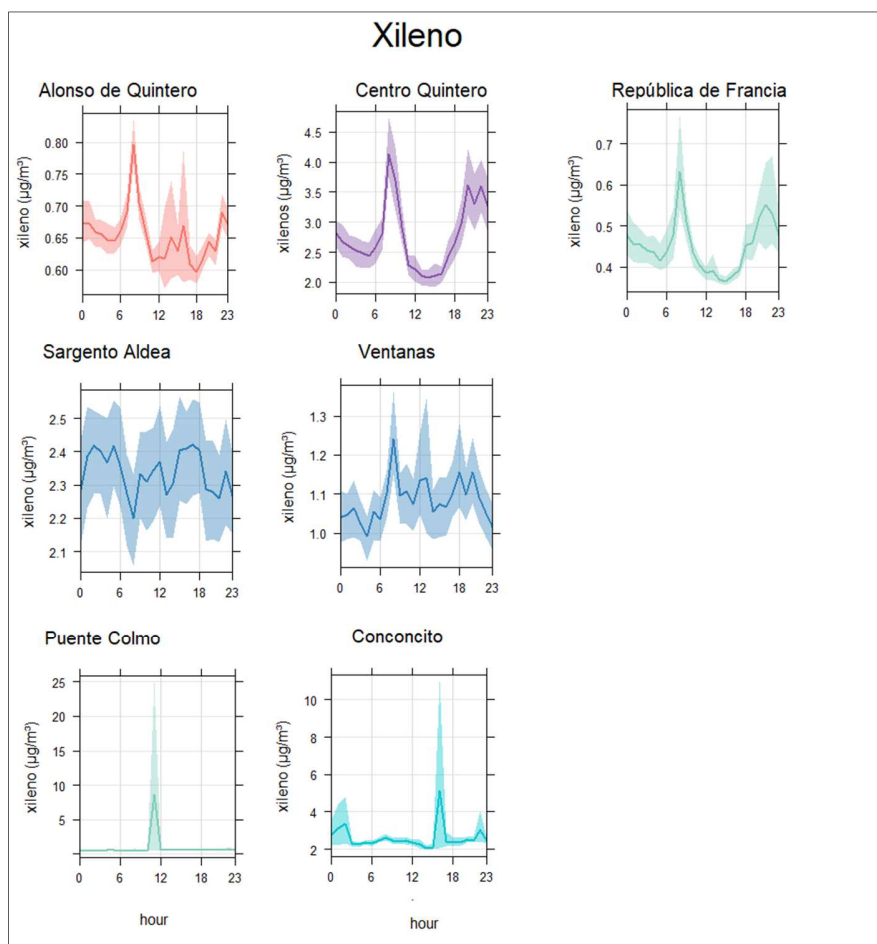


Figura N°27. Perfil horario del xileno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para datos del equipos Pyxis

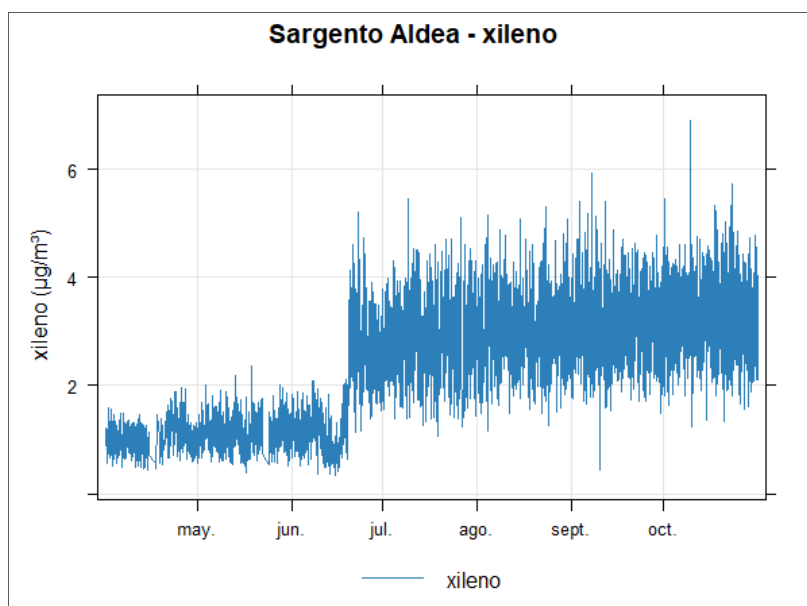


Figura N°28. Serie de tiempo (validada) del xileno para datos capturados por el equipo Pyxis.

2.2.2. Equipo AMA GC 5000

El segundo sistema de monitoreo continuo de COVs que se ha instalado en la zona, corresponde al equipo AMA Instruments. Este equipo se encuentra instalado en la estación de monitoreo al interior del recinto educacional Sargento Aldea. El instrumento tiene un rango de medición abarca 60 compuestos, en ciclos de medición que duran 1 hora. A grandes rasgos, tiene la capacidad de medir hidrocarburos ligeros, comenzando con aquellos que tienen al menos dos átomos de carbono, como el etano. En el extremo opuesto de su rango de medición, puede detectar hidrocarburos de mayor tamaño, como el dodecano, que consta de 12 átomos de carbono.

Los datos del equipo AMA Instruments analizados en este informe son posteriores al 21 de junio del 2023, fecha en la que se realizó la última actualización del software. En la serie de datos disponible, se observa una tendencia predominante de concentraciones más altas en hidrocarburos ligeros como el propano, butano y pentano (Fig. N° 29). Aunque estas concentraciones son relativamente bajas, en el orden de 2 ppb, este perfil es consistente con los hallazgos del estudio NILU, que también reportó mayores concentraciones de estos compuestos en las muestras colectadas con canisters.

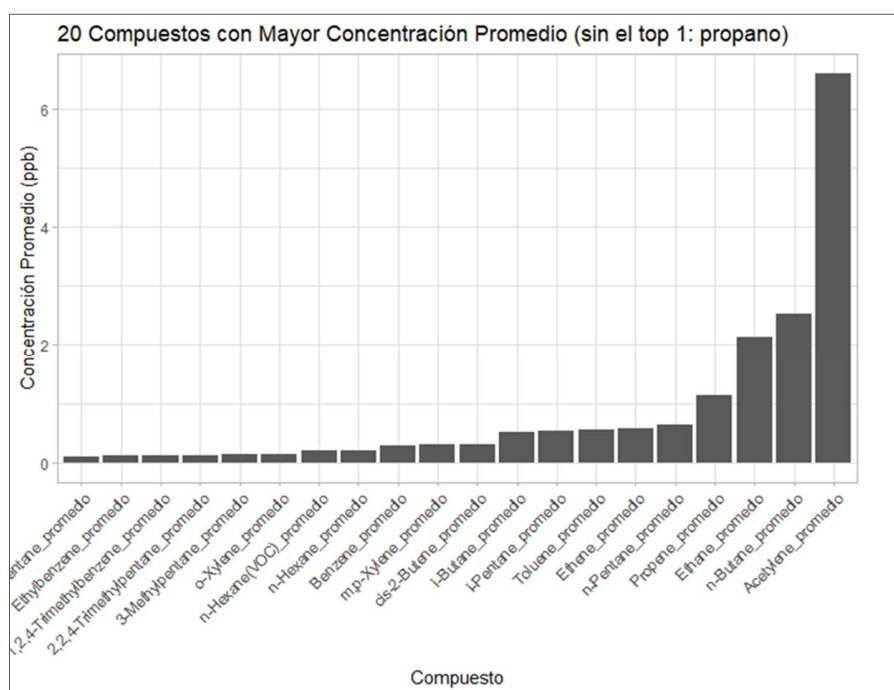
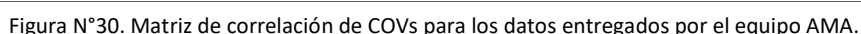


Figura N°29. Histograma de concentraciones promedio de los COVs medidos por el equipo AMA.

El etano se registró como el tercer compuesto en mayor abundancia, sin embargo, su presencia no resulta extraña, ya que después del metano, es el hidrocarburo más abundante en la atmósfera terrestre y no tiene fuentes naturales conocidas. A nivel mundial se estima que las emisiones dominantes de etano están asociadas a la producción y transporte de gas natural y petróleo, que

Para evaluar si los datos medidos para los compuestos orgánicos tienen alguna similitud entre sí, se elaboró una matriz de correlación que se muestra en la Figura N°30. Dado el gráfico, se puede evidenciar que algunos compuestos tienen correlaciones fuertes entre sí, mientras que otros tienen correlaciones débiles o ninguna correlación. Por ejemplo, las celdas que muestran un azul más oscuro sugieren compuestos que probablemente tienen patrones de variación similares en el conjunto de datos analizado, lo que podría ser indicativo de fuentes comunes. Se observan correlaciones fuertes entre compuestos que son cercanos en estructura molecular, por ejemplo, esto se observa para hexano con hexeno, o heptano con octano. Otros compuestos, como el isopreno, no muestra correlaciones con otros compuestos, lo que es esperable, ya que es el único compuesto que mide el equipo para un compuesto orgánico biogénico, es decir que se emite por la naturaleza, por ende, se espera un patrón distinto. El etano tampoco muestra correlaciones fuertes, y podría ser indicativo de que los valores medidos corresponden a un nivel background en la atmósfera.



Para estimar el potencial origen de los compuestos orgánicos, se calculó la relación entre las concentraciones de BTEX. En general el valor de la relación entre tolueno y benceno (T/B) puede ayudar a diferenciar emisiones, como el tráfico vehicular, actividades industriales y la quema de biomasa. Esto se debe a que diferentes fuentes emiten distintas proporciones de compuestos, que pueden servir como huella digital para identificar el principal contribuyente a las concentraciones observadas. Por ejemplo, las emisiones de vehículos a gasolina suelen tener una relación T/B más alta, ya que el tolueno es más abundante en la gasolina que el benceno. Una relación T/B mayor que 1 indica que el tráfico vehicular es la fuente predominante de benceno y tolueno. Por otra parte, valores de T/B mayores a 4 puede ser un indicador de emisiones de procesos industriales¹⁷. En el caso de la quema de biomasa, donde se libera una amplia gama de COVs, incluidos benceno y tolueno, la relación T/B suele ser inferior a 1.

A partir de estas relaciones, se puede observar en la Figura N°31, que existe una correlación moderada entre el benceno con los demás compuestos BTEX, lo que apoyaría la idea de que su presencia se debe a fuentes residenciales en una parte, y a fuentes móviles por otra. No obstante, también se destaca la presencia de datos dentro del polígono del borde izquierdo del gráfico ternario, lo cual representa datos que se pueden asociar a alguna fuente industrial.

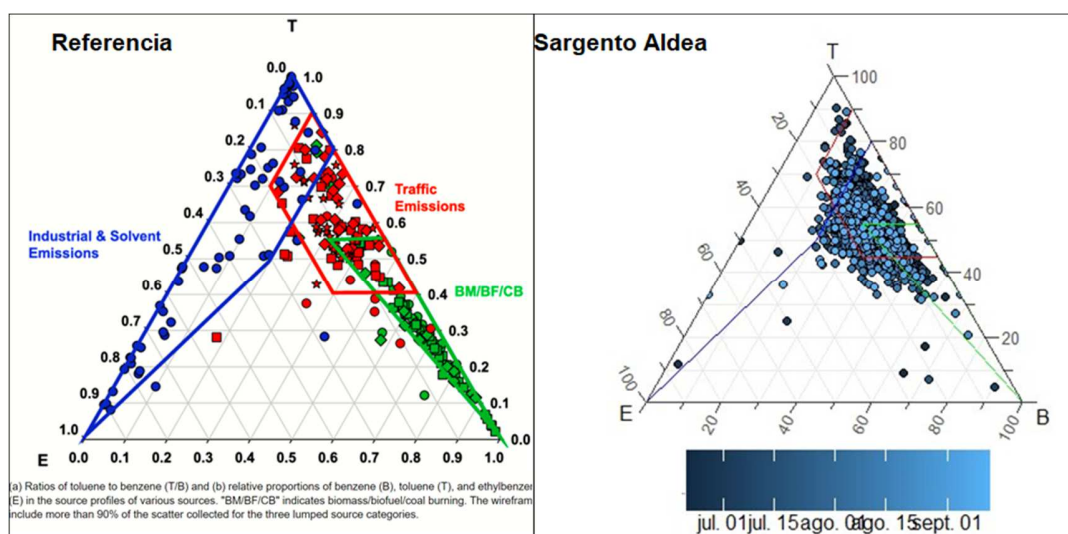


Figura N°31. Gráfico ternario para estimar fuentes de emisión a partir de las relaciones entre benceno, tolueno y etilbenceno.

Un ejemplo de potenciales emisiones industriales capturadas por el instrumento AMA se puede visualizar en la Figura N°32, en la cual se evidencia un máximo de etilbenceno ocurrido el 28 de

¹⁷ Li, M., Pozzer, A., Lelieveld, J., and Williams, J.: Northern hemispheric atmospheric ethane trends in the upper troposphere and lower stratosphere (2006–2016) with reference to methane and propane, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 4351–4364, <https://doi.org/10.5194/essd-14-4351-2022>, 2022

junio, periodo en el cual se capturó un máximo de este compuesto, pero no en tolueno o benceno.

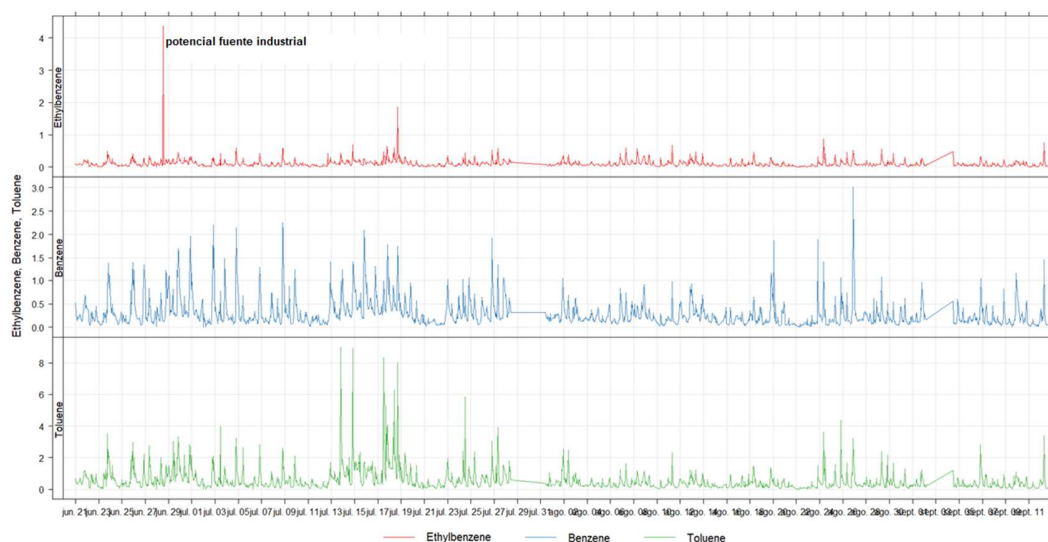


Figura N°32. Series de tiempo para benceno, tolueno y etilbenceno capturadas por el equipo AMA.

A grandes rasgos, se señala que las mediciones efectuadas por el instrumento AMA en lo que respecta a los compuestos BTEX muestran una alta concordancia con los valores obtenidos por otros equipos de monitoreo, como el equipo Pyxis instalado en el mismo sitio. En ambos equipos se registran mediciones que presentan un rango de concentraciones que generalmente no exceden el 1 ppb (3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta similitud en los valores medidos también se extiende a otros compuestos orgánicos volátiles, como se evidencia en la Tabla N°16 que muestra la comparación con en el estudio de Seguel et al¹⁸.

Tabla N°16. Promedio de concentración (ppb) reportados para compuestos orgánicos volátiles en Quintero-Puchuncaví.

	Seguel et al. (2023) Prom. (máx)	AMA GC 5000 Prom. (máx)
Benceno	0.49 (5.6)	0.29 (3.1)
Tolueno	1.0 (19)	0.55 (9)
1-buteno	3.1 (130)	2.52 (24)
Isopreno	0.98 (30)	0.04 (4.4)
Estireno	0.20 (3)	0.07 (0.81)

¹⁸ Rodrigo J. Seguel, René Garreaud, Ricardo Muñoz, Deniz Bozkurt, Laura Gallardo, Charlie Opazo, Héctor Jorquera, Lucas Castillo, Camilo Menares, Volatile organic compounds measured by proton transfer reaction mass spectrometry over the complex terrain of Quintero Bay, Central Chile, Environmental Pollution, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121759>

De acuerdo con la tabla, se observa que el promedio y los valores máximos reportados para el benceno por el instrumento AMA GC 5000 fueron de 0.29 ppb y 3.1 ppb, respectivamente, mientras que Seguel et al. reportaron 0.49 ppb y 5.6 ppb. Para el tolueno, el AMA GC 5000 mostró un promedio de 0.55 ppb y un máximo de 9 ppb, comparados con el 1.0 ppb y 19 ppb del estudio de Seguel et al. Esta tendencia se mantiene con compuestos como 1-buteno e isopreno, y difiere para el estireno, que mostró una concentración promedio y máxima menor en las mediciones del AMA, aunque de todas formas en un nivel poco significativo.

En base a los datos y el análisis proporcionado para los datos disponibles a la fecha, se concluye que las mediciones efectuadas por el equipo AMA en Puchuncaví sugieren una predominancia de fuentes móviles en la zona. No obstante, los máximos observados en compuestos orgánicos volátiles ligeros como butano y pentano podrían indicar emisiones de origen industrial. El uso de gráficos ternarios también apoya la idea de potenciales emisiones industriales esporádicas que son posibles de registrar en la zona.

3. Anexos

3.1. Datos análisis Norma MP10 metodología gravimétrica.

Norma diaria (Percentil 98) µg/m3N																								
Discreto	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
La Greda	166	137	131	118	88	88	87	144	92	101	88	92	89	77	77	69	77	58	72	80	68	74	71	68
Los Maitenes	113	92	73	121	57	63	76	101	66	89	68	65	65	56	54	47	54	54	55	47	57	52	59	46
Puchuncaví	78	73	54	57	67	64	66	70	75	68	61	67	73	71	61	67	65	56	75	66	59	69	70	65
Valle Alegre	61	58	65	50	60	62	48	58	78	59	55	54	67	54	49	58	66	49	55	46	59	47	52	48
Sur	68	90	60	61	54	53	53	55	52	69	65	67	66	61	52	49	57	51	62	46	85,8	58	59	61
Quintero															82	72	66	73	67	65	61	77	69	77
Ventanas															87	73	79	70	88	85	75	72	76	95
Centro Quintero											43	60	79	82	78	86	86	69	75	71	70	68	79	91
Concon				77	76	80	70	75	82	76	75	62	78	71	72	67	74	63	74	79	81	64	71	64
Junta de Vecinos				103	102	104	80	72	80	77	69	70	65	62	69	60	66	64	60	67	64	52	59	60
Colmo				72	74	77	75	73	83	78	82	80	84	81	78	67	119	67	72	74	80	81	73	70
Las Gaviotas															72	59	69	59	87	63	70	69	69	59
Loncura																		71	89		74	61	56	57

Norma Anual (Promedio trianual) µg/m3N																								
Discreto	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
La Greda	52	48	46	43	42	42	44	47	48	47	47	46	45	42	41	40	39	37	38	39	39	38		
Los Maitenes	36	34	33	32	31	33	35	36	36	35	34	32	31	29	28	28	28	28	28	28	28	27		
Puchuncaví	32	30	30	31	31	31	33	35	37	36	37	37	38	38	38	37	37	36	37	37	37	37		
Valle Alegre	28	27	28	29	31	30	30	28	30	29	31	31	30	30	30	30	29	27	28	27	28	27		
Sur	30	28	28	28	29	28	29	29	31	33	34	32	31	29	28	27	27	26	28	29	30	28		
Quintero															42	41	40	39	37	38	39	40	39	
Ventanas																42	41	42	43	44	43	41	41	
Centro Quintero														40	39	38	37	38	38	41	40	41	39	
Concon	55	46	45	44	43	43	44	45	46	44	44	44	45	43	43	42	43	42	44	42	40	37		
Junta de Vecinos				56	51	46	43	43	43	41	39	38	38	38	38	38	37	37	37	36	33	31		
Colmo				36	38	37	40	42	45	43	43	42	42	39	39	39	40	39	42	41	41	40		
Las Gaviotas															34	33	33	33	34	34	34	33		
Loncura																						39	38	

3.2. Análisis Norma MP2.5 metodología gravimétrica

Norma diaria (Percentil 98) µg/m3																					
Discreto	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
La Greda										36	42	30	34	36	37	33	34	37	46	37	
Los Maitenes										32	37	25	30	30	28	25	28	29	32	28	
Puchuncaví										37	40	30	33	30	30	38	36	32	39	36	
Valle Alegre										30	32	26	29	25	27	24	22	27	33	28	
Sur										28	37	24	31	25	26	25	29	30	33	25	
Ventanas											50	33	40	33	36	38	30	35	42	35	
Quintero										36	40	47	38	35	34	34	31	31	48	42	
Centro Quintero												45	47	34	46	47	38	33	45	40	
Loncura														34	37	42	39	26	20	19	
Colmo																	34	41	45	42	
Concón	39	42	35	51	46	41	44	38	45	40	50	38	44	40	32	41	35	34	42	39	
Las Gaviotas																	29	35	40	38	
Junta de Vecinos																	36	34	38	35	

Norma anual (Promedio trianual) $\mu\text{g}/\text{m}^3$																		
Discreto	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
La Greda										16	16	16	16	15	15,4	16	16	15
Los Maitenes										14	14	13	13	13	12,5	13	13	12
Puchuncaví										15	15	15	15	14	14,9	15	16	15
Valle Alegre										13	13	12	12	12	11,6	12	12	12
Sur										13	13	12	12	12	12	12	12	12
Ventanas											17	16	16	16	16	16	16	15
Quintero										17	17	17	16	15	16	16	16	16
Centro Quintero												16	17	17	17	17	17	17
Loncura														16	17			11
Colmo																	17	16
Concón	17	17	18	18	17	16	18	19	21	20	21	19	18	16	16	16	16	15
Las Gaviotas																	15	15
Junta de Vecinos																	15	14

3.3. Informes cumplimiento normativo realizados por SMA entre años 2014 al 2024.