



ANEXO N° 1. INFORME DE EMISIONES Y CALIDAD DEL AIRE EN CALAMA

**PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO REFUNDIDO 07-10-2020
(PdC Refundido 07-10-2020)**

ROL D-031-2020

**GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE
RECIMAT**

OCTUBRE 2020

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. SITUACIÓN CALIDAD DEL AIRE.	1
2.1. RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	1
2.2. ESTACIONES DE MONITOREO CALIDAD DEL AIRE EN CALAMA.	2
2.3. NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DEL AIRE Pb EN MP10 Y CO.	4
2.4. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CONTAMINANTES MONITOREADOS (CO Y Pb EN MP10).	5
2.4.1 PARÁMETRO MP ₁₀ .	5
2.4.2 PARÁMETRO CO.	8
2.4.3 PARÁMETRO Pb EN MP10.	10
2.5. CONCLUSIÓN	10
3. SITUACIÓN DE EMISIONES MP10, CO Y PB-MP10.	11
3.1. NORMATIVA.	11
3.2. INVENTARIO DE EMISIONES MP10 EN RE 0496/2019 MMA.	11
3.3. EXIGENCIAS DE MONITOREOS A RECIMAT.	12
3.4. FUENTES DE EMISIÓN RECIMAT.	12
3.5. RESULTADOS DE MUESTREOS DE EMISIÓN.	13
3.5.1 SCRUBBER HORNO FUNDICIÓN	13
3.5.2 FILTRO ESCORIADO.	14
3.5.3 FILTRO CAMPANAS.	15
3.5.4 RESUMEN EMISIONES.	16
4. EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LAS EMISIONES DE RECIMAT SOBRE CALAMA.	16
5. CONCLUSIÓN	18

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación estaciones de monitoreo Calama. Fuente elaboración propia en Google Earth.....	3
Figura 2. Variación de la norma trianual MP10 en Calama. Fuente: Elaboración propia.	6
Figura 3. Zona Saturada por MP 10 Calama y área circundante. Fuente elaboración propia en Google Earth.	7
Figura 4. Inventario emisiones RE 0496/2019 MMA, año base 2016 (Tabla 4)...	12

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de Monitoreo en Línea - SINCA	1
Tabla 2. Estaciones de Monitoreo – SINCA MMA	2
Tabla 3. Listado de fuentes de emisión atmosféricas.	12
Tabla 4. Emisión de MP Scrubber Horno Fusión.	13
Tabla 5. Emisión de MP Chimenea Filtro Escoriado.	14
Tabla 6. Emisión de MP Chimenea Filtro Campanas.	15
Tabla 7. Resumen de las emisiones por fuente RECIMAT.	16

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Concentraciones 8 h máximas diarias Estación Centro. Fuente Elaboración propia de datos SINCA – MMA.	8
Gráfico 2. P99 de las máximas concentraciones diarias de 8 h. Estación Centro. Fuente Elaboración Propia datos SINCA -MMA.	9
Gráfico 3. P99 de las máximas concentraciones 1 8 h. Estaciones Monitoreo Calama. Fuente Elaboración Propia datos SINCA -MMA.....	9
Gráfico 4. Concentración promedio bianual Pb-MP10. Estaciones Monitoreo Escuela Básica D-126. Fuente Elaboración Propia.	10
Gráfico 5. Emisiones MP Scrubber Horno Fusión.....	13
Gráfico 6. Emisiones MP Chimenea Filtro Escoriado.	14
Gráfico 7. Emisión MP Chimenea Filtro Campanas.	15

1. Introducción

El presente informe, corresponde al análisis para descartar la afectación respecto de la calidad del aire en la ciudad de Calama, para los contaminantes material particulado respirable (MP10), monóxido de carbono (CO) y plomo en material particulado respirable (Pb en MP10), emitidos por la planta de tratamiento de Procesadora de Residuos Industriales Limitada ("RECIMAT").

Los datos de calidad del aire utilizados son extraídos de información disponible en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio de Medio Ambiente (MMA), tanto de la red de monitoreo en línea como de la información histórica disponible, además, de la información recolectada en las campañas de monitoreo realizadas por "RECIMAT" en la estación localizada en la Escuela Básica D-126.

La red de monitoreo corresponde a estaciones públicas y privadas, cuya información está disponible en línea para el seguimiento y verificación de las normas primarias y secundarias de calidad del aire.

2. Situación Calidad del Aire.

2.1. Red de monitoreo de calidad del aire región de Antofagasta.

La red de monitoreo de calidad del aire en línea de la región de Antofagasta, está compuesta por doce estaciones de monitoreo, de las cuales 1 solo de ellas es de propiedad pública, y de las cuales 4 estaciones están instaladas en la ciudad de Calama, en donde en todas estas se mide MP10 y material particulado fino respirable (MP2,5), y el resto de los contaminantes monitoreados: ozono (O₃), anhídrido sulfuroso (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y CO, solo en algunas de éstas, las que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Estaciones de Monitoreo en Línea - SINCA

Red	Estaciones en línea	MP 2,5	MP 10	Ozono	SO ₂	NO ₂	CO
Ciudad Tocopilla	4	3	3	1	2	1	1
Comuna Sierra Gorda	1	1	1	0	0	0	0
Ciudad Calama	4	4	4	1	2	1	1
Red ENAEX	2	0	2	0	0	2	0
Red MMA	1	1	1	0	1	0	0

Fuente: SINCA -MMA.

2.2. Estaciones de monitoreo calidad del aire en Calama.

En la tabla siguiente se indican las estaciones de monitoreo asociadas a Calama, que corresponden a 3 estaciones que se localizan en la ciudad de Calama y una estación en la localidad de Chiu Chiu, localizada a aproximadamente 30 km en línea recta a Calama, todas las estaciones son de propiedad de Codelco División Chuquicamata y operadas por CIMM Tecnologías y Servicios S.A.:

Tabla 2. Estaciones de Monitoreo – SINCA MMA

Estación	MP 10	MP 2,5	SO₂	CO	O₃	NO₂
Club Deportivo 23 de Marzo	X	X	-	-	-	-
Centro Calama	X	X	X	X	X	-
Colegio Pedro Vergara Keller	X	X	-	-	-	-
Chiu Chiu	-	-	X	-	-	-

Fuente: SINCA -MMA.

La estación de monitoreo de la Escuela Básica D-126, se localiza en el sector de la Población Kamac Mayu, en las coordenadas UTM WGS 84 Huso 19: E 509.286 y N 7.518.685.

El análisis del parámetro contaminante CO, se realizará en la Estación Centro Calama y en la Estación Escuela Básica D-126, que son las únicas que realizan dicho monitoreo, y el análisis respecto al Pb en MP10, solo en ésta última estación, que es la única que monitorea el señalado parámetro contaminante.

En la Figura 1 siguiente, se muestra la ubicación de las estaciones Centro Calama, Club Deportivo 23 de Marzo, Colegio Pedro Vergara Keller y Escuela Básica D-126, en relación a la ubicación de las plantas RECIMAT e INPPAMET.

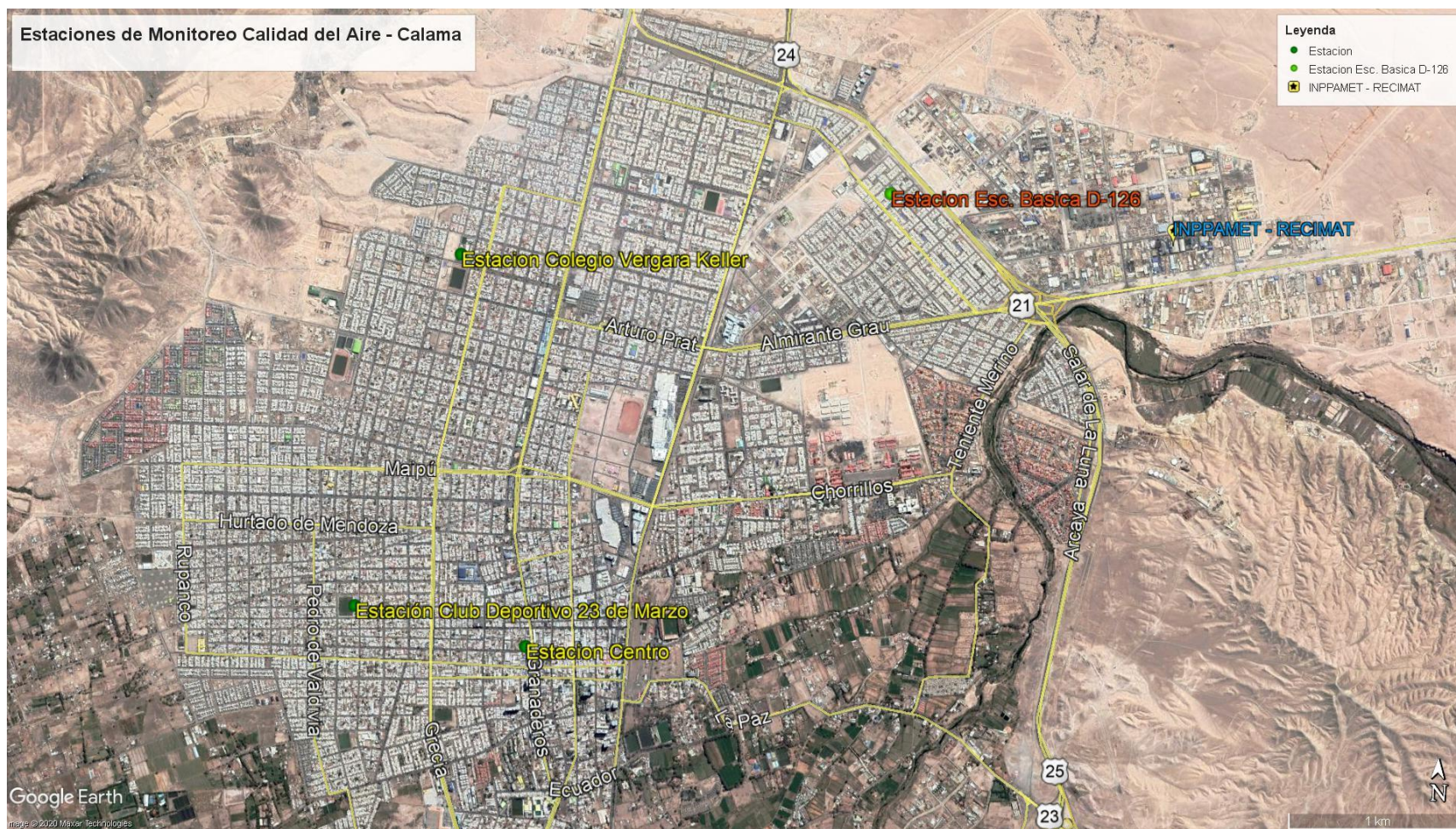


Figura 1. Ubicación estaciones de monitoreo Calama. Fuente elaboración propia en Google Earth.

2.3. Normas primarias de calidad del aire Pb en MP10 y CO.

Los parámetros contaminantes Pb en MP10 y CO, son regulados mediante las siguientes normativas:

- Decreto Supremo N°136 del año 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Que establece norma de calidad primaria para plomo en el aire (Pb), en adelante D.S. 136/00 MINSEGPRES.
- Decreto Supremo N°115 del año 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República: Que establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO), en adelante DS 115/02 MINSEGPRES.

Los decretos antes señalados establecen las siguientes normas primarias:

El DS 115/02 MINSEGPRES, establece que la norma primaria de calidad del aire para **CO** como concentración de 8 horas será de 9 ppmv (**10 mg/m³N**) y que la norma primaria de calidad del aire para monóxido de carbono de 1 hora será de 26 ppmv (**30 mg/m³N**).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono 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 monitora EMRPG fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono 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 al nivel indicado en el párrafo precedente.

En el DS 136/00 MINSEGPRES, se establece la norma primaria de calidad para el plomo en el aire cuyo valor es de **0,5 µg/m³N** como concentración anual. Se considerará sobrepasada la norma cuando el promedio aritmético de los valores de concentración de dos años sucesivos supera el nivel de la norma en cualquier estación EMPB (estación de monitoreo de plomo con representatividad poblacional).

Así mismo se considerará sobrepasada la norma de concentración anual correspondiente al primer periodo anual contado desde la entrada en vigencia de la presente norma, es superior en más de un 100 % al nivel de la norma en cualquier estación EMPB.

2.4. Análisis de los parámetros contaminantes monitoreados (CO y Pb en MP10).

2.4.1 Parámetro MP₁₀.

Los valores de las concentraciones trianuales de MP10 para las estaciones de monitoreo de Calama, incluida la estación Escuela Básica D-126 de RECIMAT, para distintos periodos de evaluación desde el periodo trianual 2013-2015 al 2017-2019, se muestra en la Figura 2 siguiente.

La situación de la calidad del aire, se encuentra definida por la declaratoria de zona saturada por MP₁₀, como concentración anual, a la ciudad de Calama y su área circundante, mediante el D.S. N° 57/2009 del MINSEGPRES, el que establece los límites de la mencionada zona saturada, que abarca una superficie de 1.440 km², la cual se muestra en la Figura 3 siguiente.

Con relación a los resultados de la variación de la norma trianual, que se muestra en la Figura 2 siguiente, se debe realizar el análisis respecto a las estaciones de la Red SINCA (Centro, Club Deportivo 23 de Marzo y Colegio Pedro Vergara Keller), ya que los resultados de la Estación Escuela Básica D-126 son solo de carácter referencial, en consideración que con esta estación no es posible determinar la concentración promedio anual ni trianual, pues no cuenta con la cantidad de valores mínimos requeridos, dado que se trata de 4 campañas de monitoreo, con un mes de duración cada una en un año calendario.

En relación a la variación de la concentración trianual de MP10 para las estaciones de la Red SINCA, es posible notar algunas mejorías, pues, en el periodo 2013-2015 se verificaba una estación sobre norma (saturada) y dos sobre latencia (mayor al 80% y menor al 100% de la norma), en la actualidad, para el periodo 2017-2018, es posible verificar que dos de las tres estaciones se encuentran superando los valores de latencia, las estaciones Colegio Pedro Vergara Keller y Club Deportivo 23 de Marzo, y esta ultima muy levemente (2,25% sobre latencia), y ninguna de estas en saturación.

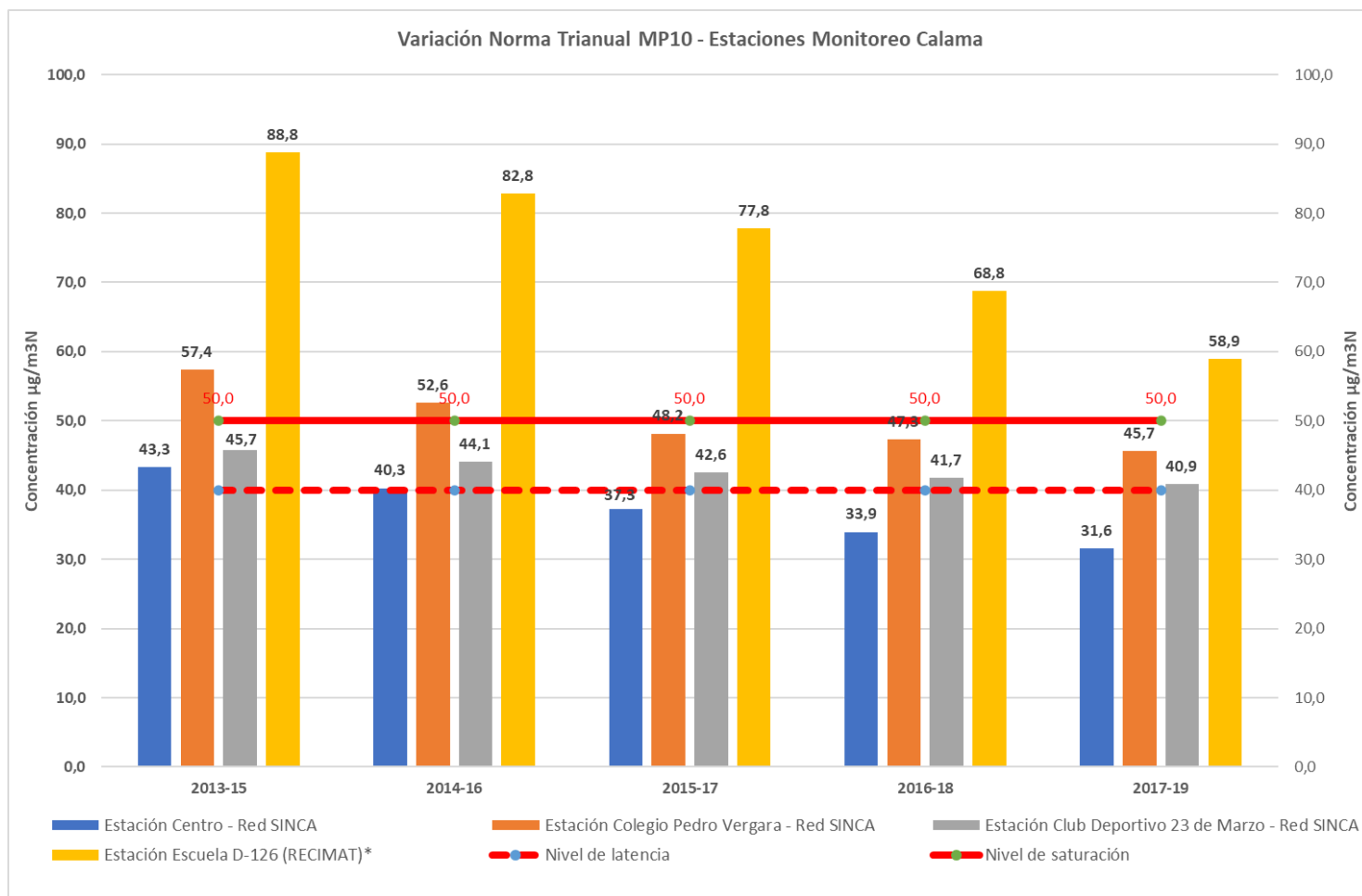


Figura 2. Variación de la norma trianual MP10 en Calama. Fuente: Elaboración propia.

*: Los resultados de la Estación Esc. Bas. D-126 (RECIMAT) corresponden a 4 campañas de 1 mes de duración.

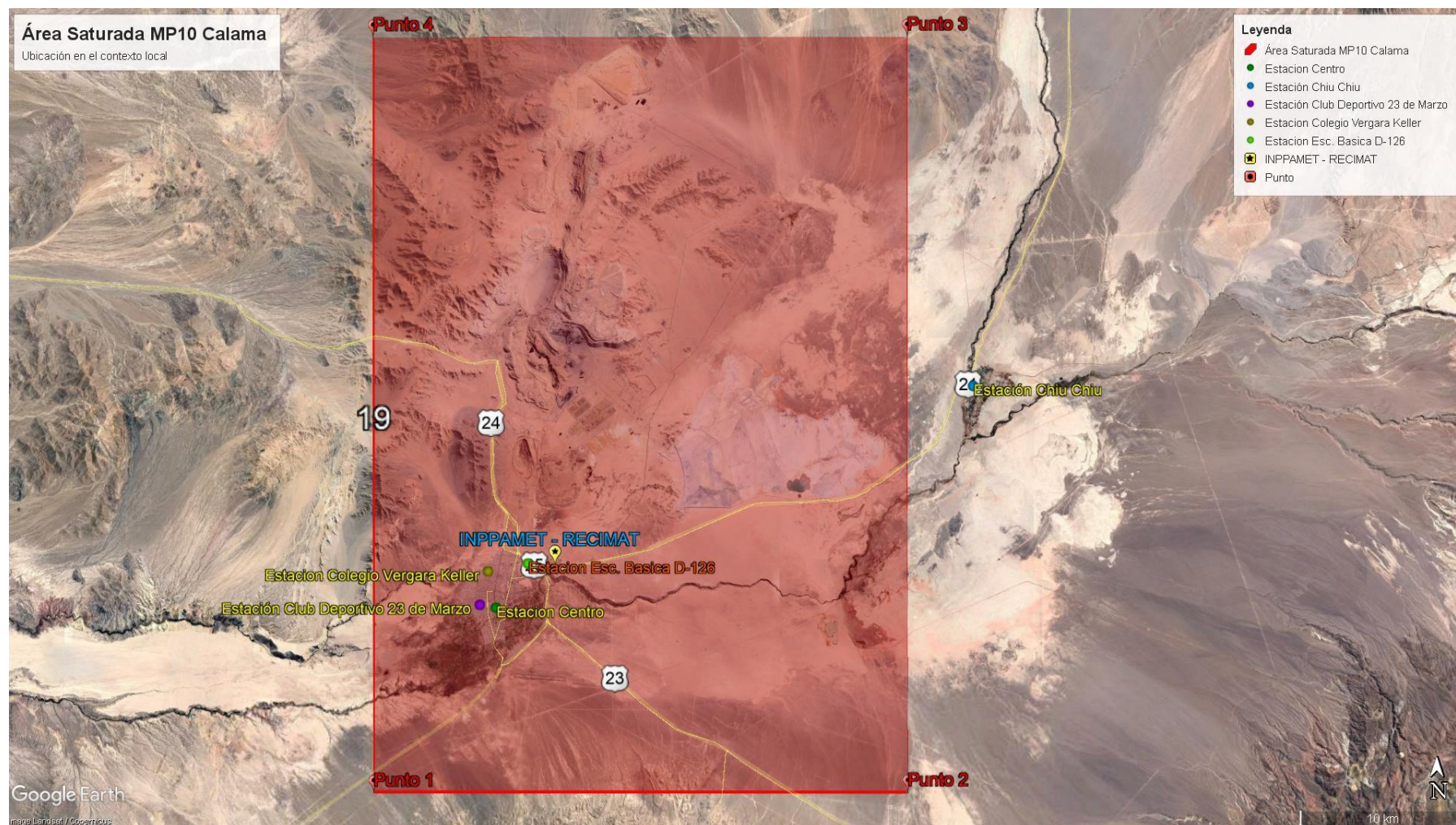


Figura 3. Zona Saturada por MP 10 Calama y área circundante. Fuente elaboración propia en Google Earth.

2.4.2 Parámetro CO.

Los resultados generados en la estación Centro, la que comenzó con el monitoreo de CO a fines del año 2012, se presentan en los gráficos siguientes:

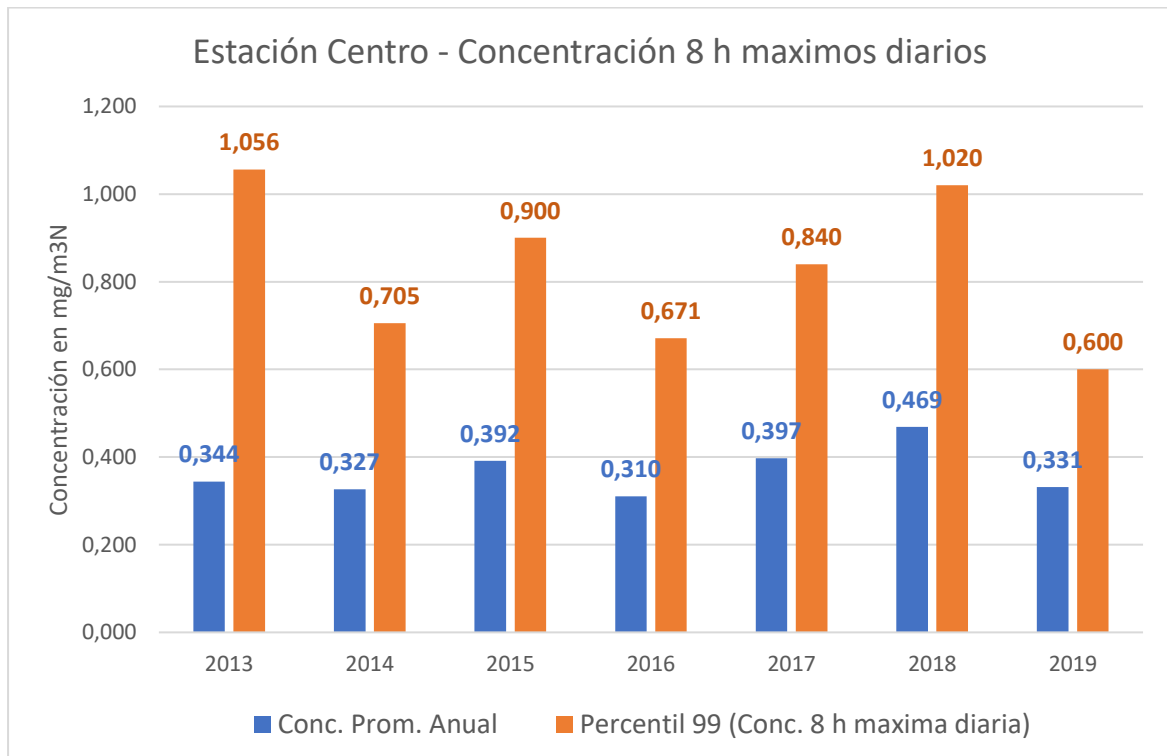


Gráfico 1. Concentraciones 8 h máximas diarias Estación Centro. Fuente Elaboración propia de datos SINCA – MMA.

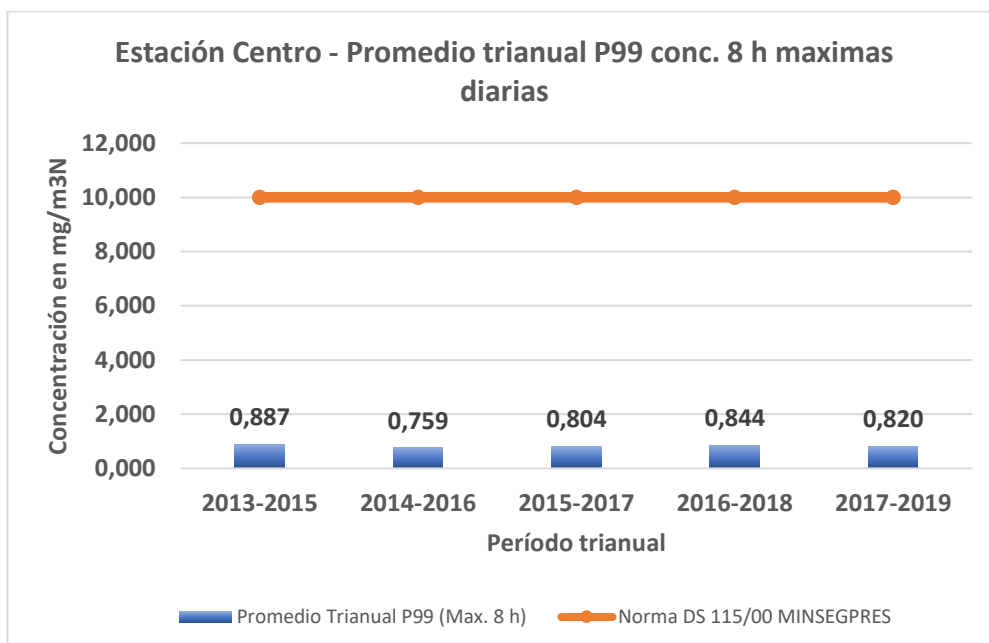


Gráfico 2. P99 de las máximas concentraciones diarias de 8 h. Estación Centro. Fuente Elaboración Propia datos SINCA -MMA.

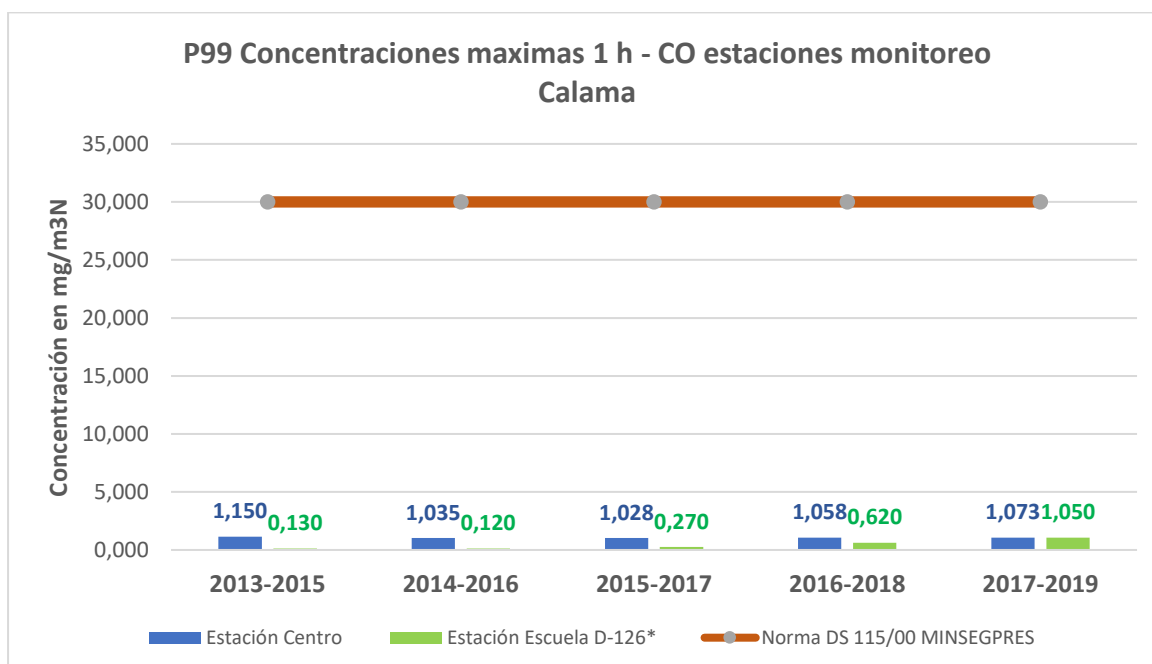


Gráfico 3. P99 de las máximas concentraciones 1 h. Estaciones Monitoreo Calama. Fuente Elaboración Propia datos SINCA -MMA.

*: Valores referenciales, corresponden a 4 campañas de 1 mes de monitoreo por año.

En conformidad a los resultados obtenidos, se verifica que la calidad del aire respecto al CO es buena, cumpliéndose ampliamente las normas horaria y de 8 horas, cuyos valores para el periodo trianual 2017-2019, representan el 3,57% (1,073 mg/m³N) y el 8,2% (0,82 mg/m³N), respectivamente.

2.4.3 Parámetro Pb en MP10.

El monitoreo de Pb en MP10 esta supeditado exclusivamente a la Estación Escuela D-126 de propiedad de RECIMAT.

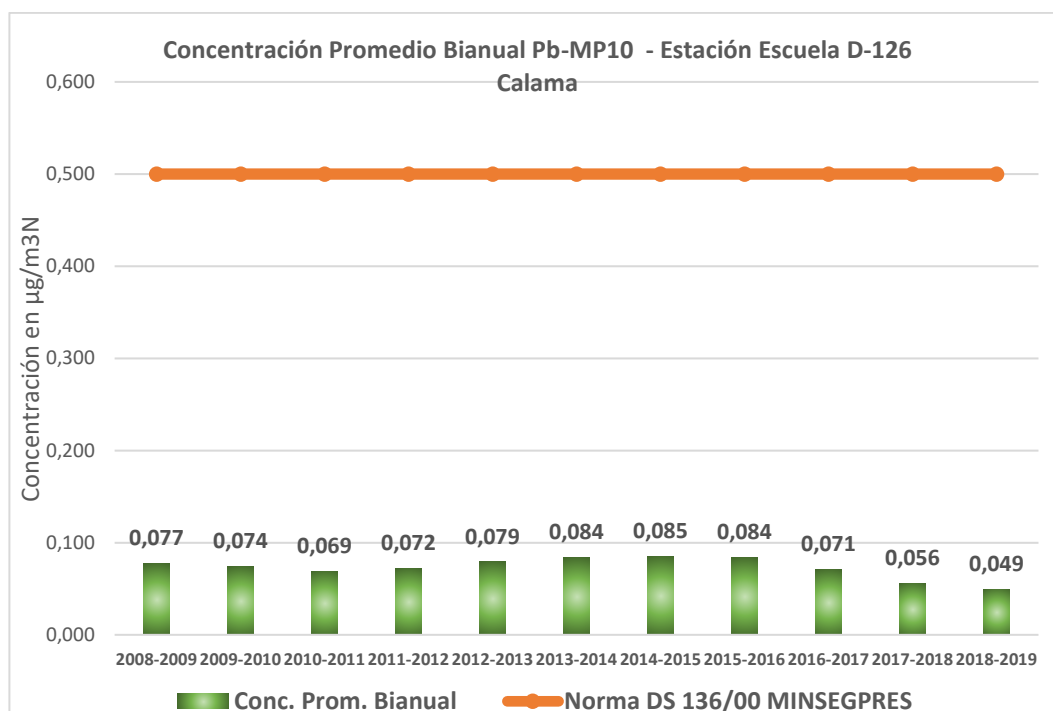


Gráfico 4. Concentración promedio bianual Pb-MP10. Estaciones Monitoreo Escuela Básica D-126. Fuente Elaboración Propia.

Si bien, es necesario señalar que los valores son de carácter referencial, ya que los monitoreos corresponden a 4 campañas de 1 mes de duración, los valores muestran una clara tendencia a la mejora de la calidad del aire, correspondiendo el último período de promedio de concentraciones bianual de plomo represente un 9,8% (0,049 µg/m³N) del valor normado.

2.5. Conclusión

Respecto de los niveles de calidad del aire, para los parámetros contaminantes, se puede concluir que no existe riesgo para la salud de la población, ya que los niveles actualmente monitoreadas, se encuentran en niveles inferiores al 10% del valor normado para CO y Pb-MP10, y respecto al MP10, se ha evidenciado una mejoría gradual.

Los datos monitoreados en la estación Escuela D-126, son solo de carácter referencial y no se utilizan para realizar el seguimiento del cumplimiento de las normas de calidad del aire para MP10, MP2,5, Pb-MP10 y CO, ya que solo corresponde a 4 campañas en un año, con un mes de duración cada una.

3. Situación de Emisiones MP10, CO y Pb-MP10.

3.1. Normativa.

No existe norma de emisión asociada a este tipo de fuentes emisoras en el país, sin embargo, como la Planta RECIMAT se localiza en un área declarada saturada por MP10, como se señaló anteriormente (numeral 2.4.1 precedente), se establecieron metas de emisión y un inventario con las fuentes aportantes a las emisiones de MP10, en la Resolución Exenta N° 0496 del 17/05/2019, del MMA "Aprueba Anteproyecto del Plan de Descontaminación para la ciudad de Calama y su Área Circundante", en adelante RE 0496/2019 MMA, el que fija las condiciones para la aprobación del Plan de Descontaminación, y una vez que éste último se apruebe oficialmente, las normas establecidas para todas las fuentes involucradas deberán ser cumplidas. Se adjunta en el "**Anexo 1.1. Anteproyecto del Plan de Descontaminación para la ciudad de Calama y Área Circundante**"

3.2. Inventario de Emisiones MP10 en RE 0496/2019 MMA.

La fuente de emisión de RECIMAT, corresponde a las fuentes emisoras de MP10 de la ciudad de Calama, ver Figura 4 siguiente, donde la totalidad de las fuentes de la ciudad, incluida RECIMAT, corresponden al 1,27% del total de las emisiones en el Área Saturada, que totalizan 37.098 t/año.

Las emisiones de MP10 consideradas para el caso base de RECIMAT (2016), corresponden a 3,42 t/año (Artículo 10 de la RE 0496/2019 MMA), valor que corresponde a solo el **0,009%** de las emisiones totales, y el **0,72%** de las emisiones de las fuentes de la ciudad de Calama.

En el mismo Artículo 10 de la RE 0496/2019 MMA, se estableció por parte de la autoridad el límite de emisión de MP a RECIMAT, el que estará definido en **2,84 t/año**, el que deberá cumplirse al cabo de 4 años de la publicación del Decreto del Plan de Descontaminación.

Agrupación	Categoría	Emisión (ton/año)				
		MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x
Minería	DRT	47.312	12.607	1.688	131	184
	DCH	43.862	16.254 (*)	4.860	85.970	351
	DMH	11.475	4.217 (**)	587	1.940	100
	Talabre	6.757	3.377	507	-	-
Ciudad	Calama	2.168	472	116	274	1,014
Otros	Producción de Áridos	603	171	17	-	-
TOTAL		112.177	37.098	7.775	88.315	1.649

(*) Corresponde a 3.134 ton/año de MP₁₀ de la Fundición y 13.120 ton/año de MP₁₀ del resto de la División.

(**) Corresponde a 47 ton/año de MP₁₀ de la Planta de Tostación y 4.170 ton/año de MP₁₀ del resto de la División.

DCH: División Chuquicamata, CODELCO

DMH: División Ministro Hales, CODELCO

DRT: División Radomiro Tomic, CODELCO

Fuente: Inventario de Emisiones Dictuc S.A., 2019.

Figura 4. Inventario emisiones RE 0496/2019 MMA, año base 2016 (Tabla 4).

3.3. Exigencias de monitoreos a RECIMAT.

En la RE N° 125/2004 de la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA), actual Comisión de Evaluación (CE), de la región de Antofagasta, calificó favorablemente el proyecto "Recicladora y Refinadora de Residuos Mineros y Metales no Ferrosos", de RAM Limitada, actual RECIMAT Limitada, en la letra d) del numeral 6.4 de los considerandos, el cual se reproduce a continuación, donde se establece la obligación de realizar mediciones de emisiones isocinéticas:

"d) Adicionalmente, dentro del marco del programa de Calidad del Aire, se realizarán mediciones isocinéticas semestrales. Adicionalmente, dentro del marco de nuestro programa de Calidad del Aire, se realizarán mediciones isocinéticas semestrales, que incluirán mediciones gases de combustión de petróleo en las ollas de fundición y horno rotatorio."¹

3.4. Fuentes de emisión RECIMAT.

La Planta RECIMAT, cuenta con 3 fuentes de emisión que tienen compromisos de reportar sus emisiones:

Tabla 3. Listado de fuentes de emisión atmosféricas.

Fuente	Planta	Parámetros
Scrubber Horno Fusión	RECIMAT	MP, SO ₂ , CO, NO _x , CO ₂ .
Chimenea Filtro Escoriado	RECIMAT	MP, SO ₂ , CO, NO _x , CO ₂ .
Chimenea Filtro Campanas	RECIMAT	MP, SO ₂ , CO, NO _x , CO ₂ .

¹ Sic.

3.5. Resultados de muestreos de emisión.

3.5.1 Scrubber Horno Fundición

En la página WEB de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), es posible encontrar los resultados de monitoreo a partir del año 2013, y de acuerdo a lo preceptuado en la letra d) del numeral 6.4 de la RE 124/2004, que considera la realización de muestreos semestrales.

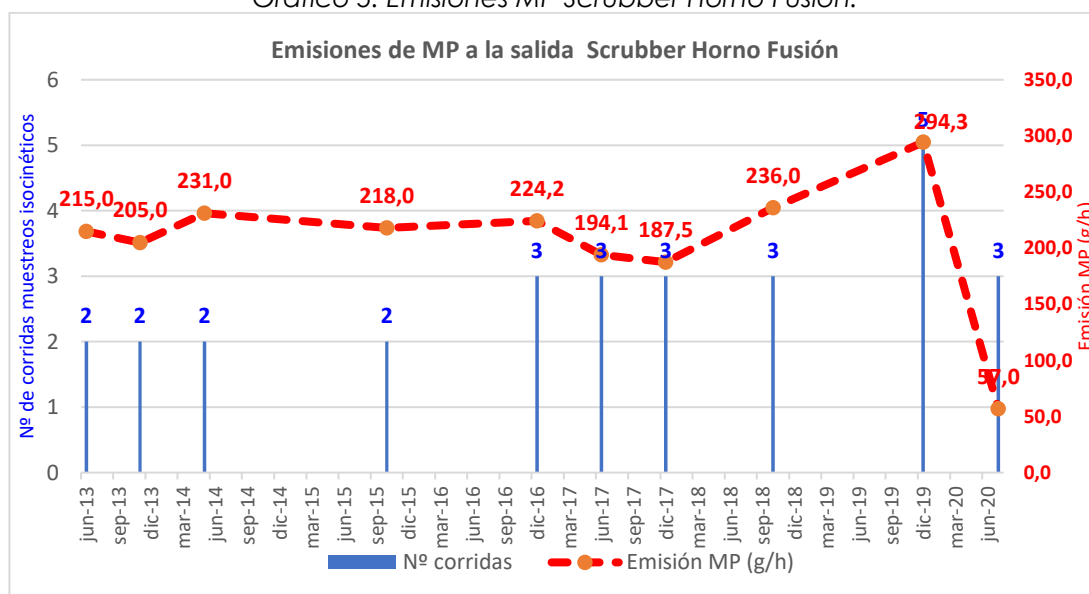
En la tabla y grafico siguiente se muestran los resultados para la emisiones de MP.

Tabla 4. Emisión de MP Scrubber Horno Fusión.

Período Medición	Nº corridas	Emisión MP (g/h)	Emisión MP10 (t/año)
jul-20	3	57,0	0,48
dic-19	5	294,3	2,47
oct-18	3	236,0	1,98
dic-17	3	187,5	1,58
jun-17	3	194,1	1,63
dic-16	3	224,2	1,88
oct-15	2	218,0	1,83
may-14	2	231,0	1,94
nov-13	2	205,0	1,72
jun-13	2	215,0	1,81
Promedio todas los muestreos		206,2	1,7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Emisiones MP Scrubber Horno Fusión.



3.5.2 Filtro escoriado.

En la página WEB de la SMA es posible encontrar los resultados de monitoreo a partir del año 2013, y de acuerdo a lo preceptuado en la letra d) del numeral 6.4 de la RE 124/2004, que considera la realización de muestreos semestrales.

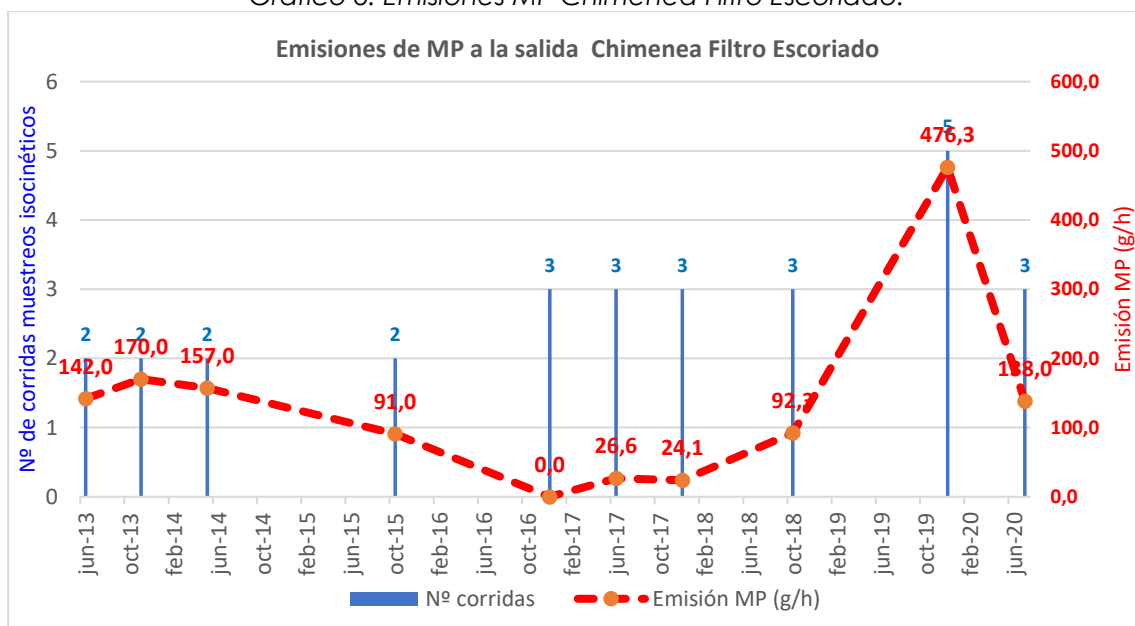
En la tabla y grafico siguiente se muestran los resultados para la emisiones de MP.

Tabla 5. Emisión de MP Chimenea Filtro Escoriado.

Período Medición	Nº corridas	Emisión MP (g/h)	Emisión MP10 (t/año)
jul-20	3	138,0	1,2
dic-19	5	476,3	4,0
oct-18	3	92,3	0,8
dic-17	3	24,1	0,2
jun-17	3	26,6	0,2
dic-16	3		0,0
oct-15	2	91,0	0,8
may-14	2	157,0	1,3
nov-13	2	170,0	1,4
jun-13	2	142,0	1,2
Promedio total muestreos		146,4	1,1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Emisiones MP Chimenea Filtro Escoriado.



3.5.3 Filtro Campanas.

En la página WEB de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), es posible encontrar los resultados de monitoreo a partir del año 2013, y de acuerdo a lo preceptuado en la letra d) del numeral 6.4 de la RE 124/2004, que considera la realización de muestreos semestrales.

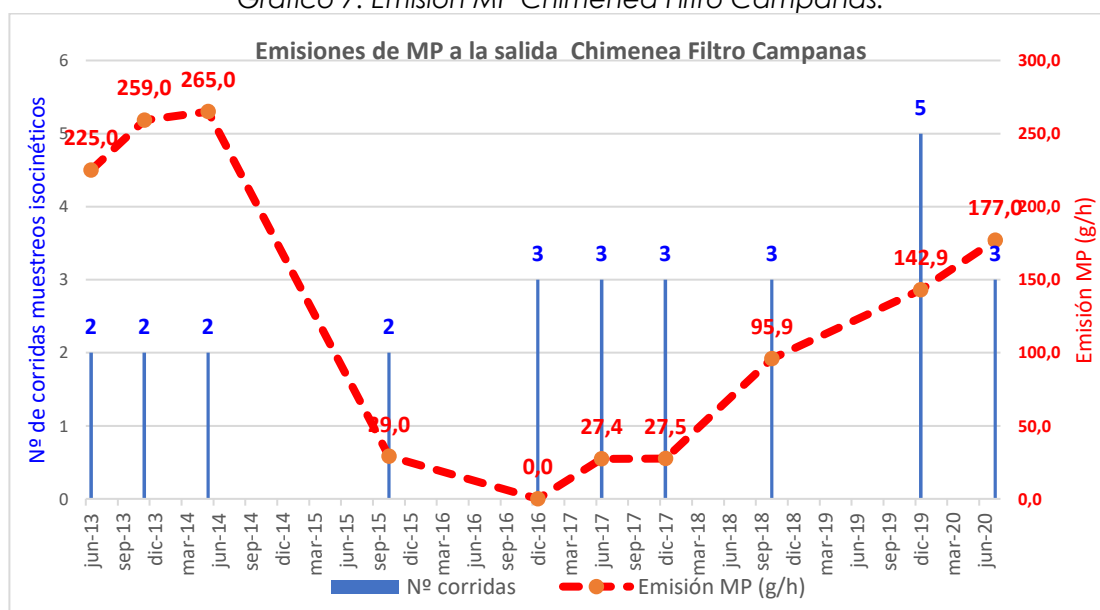
En la tabla y grafico siguiente se muestran los resultados para la emisiones de MP.

Tabla 6. Emisión de MP Chimenea Filtro Campanas.

Período Medición	Nº corridas	Emisión MP (g/h)	Emisión MP (t/año)
jul-20	3	177,0	1,49
dic-19	5	142,9	1,20
oct-18	3	95,9	0,81
dic-17	3	27,5	0,23
jun-17	3	27,4	0,23
dic-16	3		0,00
oct-15	2	29,0	0,24
may-14	2	265,0	2,23
nov-13	2	259,0	2,18
jun-13	2	225,0	1,89
Promedio últimos muestreos		134,0	1,00
Promedio total muestreos		138,3	1,05

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Emisión MP Chimenea Filtro Campanas.



3.5.4 Resumen emisiones.

Sobre la base de los resultados de los muestreos de emisiones realizados, se obtiene un valor promedio de 3,8 t/año de material particulado para RECIMAT. En la tabla siguiente se muestran los aportes anuales para cada una de las fuentes.

Tabla 7. Resumen de las emisiones por fuente RECIMAT.

Fuente	Emisión promedio MP t/año
Scrubber Horno Fusión	1,7
Chimenea Filtro Escoriado	1,1
Chimenea Filtro Campanas	1,0
Total RECIMAT	3,8

Fuente: Elaboración propia datos reportados.

4. Evaluación de impacto de las emisiones de RECIMAT sobre Calama.

Con la finalidad de analizar el impacto de las emisiones de RECIMAT respecto del aporte a las concentraciones de contaminantes en la calidad del aire de Calama, utilizaremos un estudio realizado para la evaluación de esta componente en el "INFORME MODELACION DE DISPERSION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS"² de la Declaración de Impacto Ambiental "PROYECTO COMPLEMENTO MODULO RAM" de RECICLADORA AMBIENTAL LTDA, actual RECIMAT, ingresada a evaluación ambiental en el año 2015, el que finalmente fue desistido, el cual se adjunta en el **Anexo 1.2** del presente **Anexo 1**.

Las emisiones consideradas para la evaluación se indican en el numeral 4.1.1 del citado informe, el cual considero el escenario con dos módulos para el tratamiento de plomo, las características de las fuentes se indican en la Tabla 14 y las emisiones consideradas en la Tabla 15, la cual se resume a continuación para las emisiones de MP, CO y Pb-MP10.

Tabla 8. Resumen emisiones Proyecto Complemento Modulo RAM

Fuente	Emisión MP t/año	Emisión CO t/año	Emisión Pb t/año
Horno RAM (RECIMAT) Existente	4,7	0,0	0,4
Horno RAM (RECIMAT) Evaluación	4,7	0,0	0,4
Total	9,4	0,0	0,8

Fuente: Tabla 15 Informe Modelación Proyecto Complemento Modulo RAM.

² Elaborado por la empresa Uasvision Ingeniería.

Las emisiones consideradas en esta modelación, corresponden a un escenario sobreestimado respecto de las emisiones actuales de RECIMAT, las emisiones proyectadas corresponde al 247,3%.

El modelo utilizado para determinar el efecto que tendrán las emisiones de material particulado y gases provenientes de la operación del Proyecto, corresponde al sistema de modelación "WRF-CALPUFF" tal como se recomienda en el Anexo 1 "Fundamentos de la Contaminación Atmosférica" de la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA" del Servicio de Impacto Ambiental (SEA).

Los resultados obtenidos para la modelación indicaron que el aporte de las emisiones proyectadas sobre los receptores en Calama, son muy bajas, con valores menores a 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que se muestra en la Figura siguiente:

Tabla 19 Concentración Anual PM10 - Aporte de ambas chimeneas de hornos RAM.

Receptor	Aporte del proyecto ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Norma	% Norma	LDB con proyectos + Proyecto RAM ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
Estación Centro	0,024	0,024	50	0,0	43,0986
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	0,103	0,11	50	0,2	57,8505
Chiu Chiu	0,002	0,00	50	0,0	---
Chuquicamata	0,001	0,00	50	0,0	---
Escuela Kamac Mayu	0,341	0,35	50	0,7	---
Hospital del Cobre	0,043	0,04	50	0,1	---

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Resultados modelación MP10 concentración anual de la Tabla 19 del Informe de Modelación.

Tabla 27 Concentración Pb anual en receptores discretos.

Receptor	Aporte del proyecto ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Norma ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	% Norma
Estación Centro	0,002	0,01	0,5	0,40%
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	0,0088	0,02	0,5	1,80%
Chiu Chiu	0,0002	0,01	0,5	0,00%
Chuquicamata	0,0001	0,01	0,5	0,00%
Escuela Kamac Mayu	0,029	0,04	0,5	5,80%
Hospital del Cobre	0,0037	0,01	0,5	0,70%

Figura 6. Resultados modelación Pb concentración anual de la Tabla 27 del Informe de Modelación.

5. Conclusión

Sobre la base de los resultados y antecedentes aportados en el presente Informe, es posible indicar que no se han producido efectos negativos sobre la calidad del aire, en consideración a lo siguiente:

- Con los resultados obtenidos en la modelación es posible señalar que las emisiones del Complejo RECIMAT, aun en la eventualidad de aumentar en más del doble de sus emisiones (2,47 veces), los aportes a la calidad del aire, serían de muy baja magnitud, y con mayor razón en la situación actual.
- Los resultados de calidad del aire, para los parámetros MP10, CO y Pb-MP10, en la estación Escuela Básica D-126 de RECIMAT, no permiten verificar el cumplimiento de la normativa en materia de inmisiones, ya que son resultados referenciales debido a que se trata de 4 campañas de 1 mes de monitoreo cada una.
- Los resultados de la calidad del aire en la red SINCA, se establece que respecto de los contaminantes CO y el Pb-MP, señalan que existe una buena calidad, ya que en ambos casos no se supera el 10% de la norma.
- Los resultados de la calidad del aire en la red SINCA, se establece que respecto del contaminante MP10, señalan que ha mejorado bastante la calidad, ya que en la actualidad no se supera la norma en ninguna de las tres estaciones.



**ANEXO N° 1.1. RE N° 0496/2019 MINISTERIO
DEL MEDIO AMBIENTE**

**PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO REFUNDIDO 07-10-2020
(PdC Refundido 07-10-2020)**

ROL D-031-2020

**GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE
RECIMAT**

OCTUBRE 2020

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE



APRUEBA ANTEPROYECTO DEL PLAN DE
DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA
LA CIUDAD DE CALAMA Y SU ÁREA
CIRCUNDANTE.

Resolución Exenta N°

0496

Santiago,

17 MAY 2019

VISTOS:

Lo establecido en la ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el D.S. N°39, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que Aprueba el Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación; en el D.S. N°57, de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que declara zona saturada por material particulado respirable MP₁₀, a la ciudad de Calama y su área circundante; en la Resolución Exenta N°4.002 de 10 de julio de 2009, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Calama y su área circundante; la Resolución Exenta N°497, de fecha 06 de junio de 2017 que pone término al proceso que se indica y da nuevo inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Calama y su área circundante; y en la Resolución N°1.600 de 2008 de la Contraloría General de la República, y

CONSIDERANDO:

Que el Plan de Descontaminación es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona calificada como saturada por uno o más contaminantes.

RESUELVO:

1. Apruébese el anteproyecto del Plan de Descontaminación Atmosférica de la ciudad de Calama y su área circundante, en adelante el "Plan", que es del siguiente tenor:

**PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA CIUDAD DE CALAMA Y SU
ÁREA CIRCUNDANTE.**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

Artículo 1. El presente Plan, regirá en la ciudad de Calama y su área circundante, y tiene como objetivo dar cumplimiento a los niveles de calidad ambiental establecidos por la norma de calidad ambiental para material particulado respirable MP₁₀ (D.S. N°59, de 1998, de MINSEGPRES), como concentración anual. Para ello, se considera un plazo de implementación de 5 años, periodo necesario para que las fuentes reguladas se adapten y den cumplimiento a las exigencias contenidas en el presente Plan.

Artículo 2. Los antecedentes que fundamentan el presente Plan se indican a continuación:

1. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA SUJETA AL PLAN

Características Geográficas

El área geográfica a la que aplica el Plan, comprende a la ciudad de Calama y su área circundante, ubicadas en la Región de Antofagasta, y corresponde a la zona saturada por material particulado respirable MP₁₀, como concentración anual, declarada mediante el D.S. N°57, de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, abarcando una superficie total de 1.440 km².

Los límites de la zona saturada se establecen en el mismo D.S. N°57, de 2009, y corresponden a los siguientes:

Tabla 1 Límites geográficos de la zona saturada

Vértices	WGS-84 Huso 19		Coordenadas Geográficas	
	UTM-E	UTM-N	Latitud	Longitud
Punto 1	500 KM	7505 KM	-22,56	-69,00
Punto 2	532 KM	7505 KM	-22,56	-68,69
Punto 3	532 KM	7550 KM	-22,15	-68,69
Punto 4	500 KM	7550 KM	-22,15	-69,00

Antecedentes demográficos de la zona a la que aplica el Plan

De acuerdo al informe "Resultados Censo 2017" del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile¹, la población total de la comuna de Calama, al año 2017, corresponde a 165.731 habitantes con una densidad poblacional de 10,63 habitantes/km². Del total de habitantes de la ciudad de Calama, 86.049 son hombres y 79.682 son mujeres. Un 95,6% (158.439) vive en el casco urbano; y el resto de la población, vive en zona rural.

¹<https://www.censo2017.cl/>

Antecedentes Meteorológicos

La Cordillera de los Andes es la cadena montañosa más grande y alta del hemisferio sur, comprendida entre los 11° de latitud N y los 56° de latitud S, atravesando Venezuela, Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia, Argentina y Chile. Este sistema montañoso está situado de forma continua muy cerca del océano pacífico afectando la circulación atmosférica del continente, ejerciendo una fuerte influencia sobre los sistemas meteorológicos en varias escalas, tanto espaciales como temporales.

La Región de Antofagasta, al oeste del Altiplano, presenta una extrema aridez y gran estabilidad atmosférica debido a la subsidencia en el borde oriental del anticiclón subtropical del Pacífico Sur. En contraste, las tierras bajas al este del Altiplano presentan un régimen tropical-continental, con un máximo de precipitación convectiva durante los meses de verano (diciembre, enero, febrero). En medio de estas condiciones climáticas contrastantes, el Altiplano exhibe un clima de perfecta transición.

La zona de interés se ubica a una altura aproximada de 2.200-2.600 metros, con cordones montañosos a su alrededor de alturas aproximadas entre 3.000-6.000 metros.

La climatología del lugar, en un 90% de los casos, está modulada por vientos anabáticos y catabáticos. Los vientos anabáticos son los que soplan desde el mar hacia la cordillera durante el día y los catabáticos son los que soplan de cordillera a mar durante la noche.

En las proximidades del suelo las acusadas cizalladuras del viento y el calentamiento superficial conducen continuamente al desarrollo de remolinos turbulentos. Estos remolinos constituyen agentes de mezcla sumamente efectivos que sirven para transferir calor y vapor de agua lejos de la superficie terrestre y momento lineal hacia ella, a un ritmo de muchos órdenes de magnitud mayor que la velocidad de mezcla por difusión molecular. Este transporte turbulento ejerce una apreciable influencia sobre el movimiento a través de una capa, denominada capa límite, cuyo espesor puede estar comprendido entre unos 30 metros, en condiciones de gran estabilidad de estratificación, y más de 3 Km en condiciones altamente convectivas. Para las condiciones que predominan en la región de Antofagasta, la capa límite se extiende a través del kilómetro inferior de la atmósfera y contiene, por lo tanto, alrededor del 10% de la masa de la misma.

En particular, es preciso mencionar que la ciudad de Calama, cuenta con una red de monitoreo de calidad del aire que además registra variables meteorológicas. La distribución de estas estaciones entrega una adecuada cobertura de monitoreo en la zona aludida. Por otra parte, se ha desarrollado un estudio² que ha

² "Antecedentes para elaborar el Plan de Descontaminación Atmosférico de la ciudad de Calama y su área circundante", Dictuc S.A, de 2019.

permitido definir aspectos meteorológicos que inciden en la dispersión de los contaminantes atmosféricos y la remoción del material particulado.

El análisis de la meteorología registrada en dichas estaciones, que relaciona la velocidad del viento y su dirección con la concentración de MP_{10} , entregan como resultado lo siguiente:

Con respecto a la relación entre las frecuencias de niveles³ de MP_{10} medidos en las estaciones Club Deportivo 23 de Marzo, Colegio Pedro Vergara Keller, Centro y Hospital el Cobre en relación a la dirección de viento medida, se observa que en la estación Club Deportivo 23 de Marzo y Colegio Pedro Vergara Keller la mayor frecuencia de mediciones de MP_{10} se perciben en relación con direcciones de viento Este y Oeste.

Con respecto al nivel de la concentración de MP_{10} según la dirección y velocidad del viento, desagregada por hora del día, hay una baja concentración durante la noche, a pesar de existir ráfagas de vientos de más de 6 m/s de velocidad. Por otra parte, desde vientos provenientes del este se observa una concentración mayor. Durante el día se observa una clara relación entre la velocidad del viento y la concentración de MP_{10} medida, predominantemente con viento proveniente del noroeste y oeste. Inclusive para vientos menores, es posible observar una concentración alta.

Finalmente, con respecto a la magnitud de la concentración de MP_{10} con la velocidad y dirección del viento, se observa que concentraciones altas de material particulado se asocian a vientos fuertes provenientes del oeste o noroeste, para todas las estaciones.

2. ANTECEDENTES DE CALIDAD DEL AIRE

El Servicio de Salud de Antofagasta aprobó la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de la División Chuquicamata de Codelco Chile (Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco Chile), mediante resolución N°1.273 de 1° de diciembre de 1986, del Director de dicho servicio.

Esta red, estaba compuesta por cinco estaciones, tres de ellas se localizaron en Chuquicamata, y las restantes en la ciudad de Calama, éstas últimas se denominaron Villa Caspana y Villa Ayquina. Posteriormente Villa Caspana fue relocalizada al Servicio Médico Legal, y Villa Ayquina al Hospital del Cobre Dr. Salvador Allende Gossens.

Posteriormente, el año 2011 se propuso un rediseño de la red de monitoreo de la ciudad de Calama, en base al cual se llevó a cabo la optimización de la misma, dando forma a la red oficial de la zona sujeta al Plan, perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco Chile. Las estaciones se denominan:

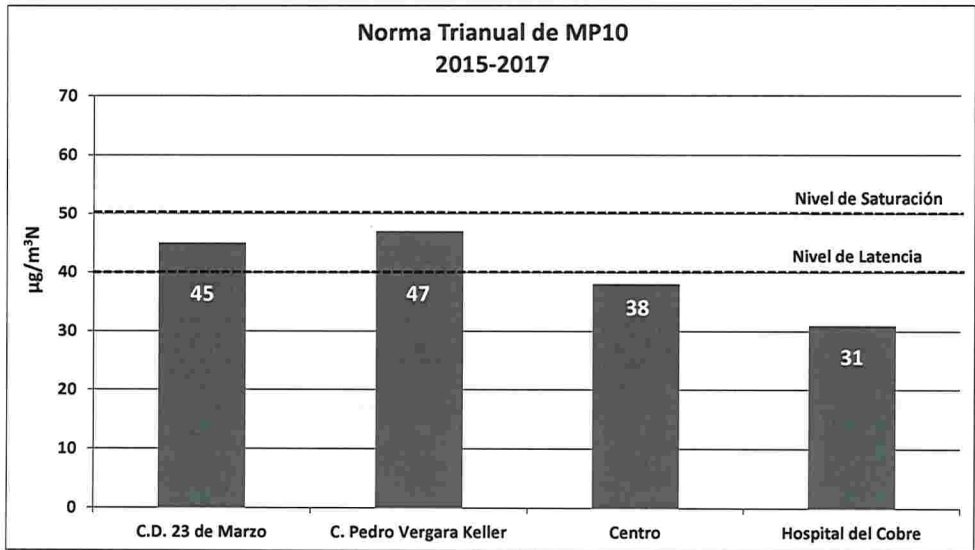
³ Frecuencia de tiempo (horas), en que la concentración de MP_{10} medida se encuentra en determinados rangos de concentración

Centro, Club Deportivo 23 de Marzo, Hospital el Cobre y Colegio Pedro Vergara Keller y miden MP_{10} y $MP_{2,5}$; Arsénico y Plomo en el MP_{10} y $MP_{2,5}$ y meteorología; La Estación Centro mide adicionalmente SO_2 , NO_2 , CO y O_3 . Cabe señalar que en el marco de dicho rediseño se instaló una quinta estación para verificar el cumplimiento de la norma secundaria de Dióxido de Azufre (SO_2).

Para la elaboración de este Plan se consideraron los registros de calidad del aire de las estaciones de monitoreo Centro, Club Deportivo 23 de Marzo, Hospital el Cobre y Colegio Pedro Vergara Keller, que permiten evaluar las normas de calidad primaria. Éstas cuentan con representatividad poblacional (EMRP) para material particulado respirable (MP_{10}) y material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$), de acuerdo a las resoluciones de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y la Secretaría Regional Ministerial de Salud.

La Figura 1 muestra la evaluación del promedio trianual de MP_{10} en la zona saturada para el periodo 2015 al 2017.

Figura 1: Promedio trianual de MP_{10} en zona saturada de Calama



Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente⁴.

Los resultados de la evaluación permiten concluir que, para el periodo 2015-2017, se observa un porcentaje superior al 80% de la norma anual en las estaciones: Club Deportivo 23 de Marzo, con una concentración de $45 \mu g/m^3N$ y en Colegio Pedro Vergara Keller, con una concentración de $47 \mu g/m^3N$.

La Tabla 2, muestra la evolución de la concentración anual de MP_{10} en la zona saturada.

⁴ Expediente DFZ-2018-1717-II-NC-EI;
<http://snifa.sma.gob.cl/v2/Fiscalizacion/Ficha/1041656>

Tabla 2: Evolución concentración anual de MP₁₀ en Calama

Estación	Promedio Anual 2015 (µg/m ³ N)	Promedio Anual 2016 (µg/m ³ N)	Promedio Anual 2017 (µg/m ³ N)	Promedio Trianual 2015 al 2017 (µg/m ³ N)	Porcentaje de Norma Anual 50 (µg/m ³ N)
Hospital El Cobre	32	29	32	31	62
Colegio Pedro Vergara Keller	47	48	46	47	94
Club Deportivo 23 de Marzo	45	47	44	45	91
Centro	41	38	36	38	77

Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente⁴.

Las mediciones efectuadas en dichas estaciones monitoras de calidad del aire, validadas por la Superintendencia del Medio Ambiente, permiten concluir que desde el año 2015 al 2017, las concentraciones anuales de MP₁₀ no han evolucionado significativamente en la mayoría de las estaciones, sólo una de ellas muestra una reducción importante, la Estación Centro.

3. METAS DE CALIDAD DEL AIRE

Considerando la evolución de la calidad del aire para MP₁₀, es necesario incorporar medidas de control de emisiones para material particulado, que permitan cumplir con las metas de calidad del aire del Plan en los plazos propuestos.

La meta del Plan es dar cumplimiento a los niveles de calidad ambiental para MP₁₀ como concentración anual, en un plazo de 5 años desde la entrada en vigencia del presente decreto, de acuerdo a las metas indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3 Metas de calidad del aire para MP₁₀

Estación	Periodo Trianual (2015-2016-2017) (µg/m ³ N)	Norma Anual (µg/m ³ N)	Meta del Plan (µg/m ³ N)	Reducción	
				(µg/m ³ N)	Porcentual
Hospital El Cobre	31	50	-	-	-
Colegio Pedro Vergara Keller	47	50	39	8	17%
Club Deportivo 23 de Marzo	45	50	39	6	13%
Centro	38	50	-	-	-

Para el cálculo del porcentaje de reducción de emisiones se considera el promedio trianual de la calidad del aire 2015-2017

para MP₁₀, en la estación de medición que registra los niveles más altos, es decir, la estación Colegio Pedro Vergara Keller.

4. INDICADORES

Se define como indicador para evaluar el efecto esperado del Plan en la calidad del aire de Calama, la disminución de las concentraciones trianuales de MP₁₀.

5. INVENTARIO DE EMISIONES

El inventario de emisiones permite determinar la contribución de emisiones de material particulado y emisiones de gases precursores por sector, de manera de establecer medidas para los distintos sectores acordes con sus respectivos aportes. Las emisiones de material particulado (MP₁₀) y de precursores de MP_{2,5} se presentan en la Tabla 4 diferenciadas por tipo de agrupaciones.

El inventario incorpora información de emisiones de las principales fuentes emisoras que representan los principales aportes al MP₁₀, SO₂ y NO_x, correspondientes al escenario base de emisiones 2016, realizado por Dictuc S.A.

Tabla 4: Inventario de emisiones Calama, año base 2016, por agrupación y fuente [ton/año], y principales contaminantes.

Agrupación	Categoría	Emisión (ton/año)				
		MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x
Minería	DRT	47.312	12.607	1.688	131	184
	DCH	43.862	16.254(*)	4.860	85.970	351
	DMH	11.475	4.217(**)	587	1.940	100
	Talabre	6.757	3.377	507	-	-
Ciudad	Calama	2.168	472	116	274	1,014
Otros	Producción de Áridos	603	171	17	-	-
TOTAL		112.177	37.098	7.775	88.315	1.649

(*) Corresponde a 3.134 ton/año de MP₁₀ de la Fundición y 13.120 ton/año de MP₁₀ del resto de la División.

(**) Corresponde a 47 ton/año de MP₁₀ de la Planta de Tostación y 4.170 ton/año de MP₁₀ del resto de la División.

DCH: División Chuquicamata, CODELCO

DMH: División Ministro Hales, CODELCO

DRT: División Radomiro Tomic, CODELCO

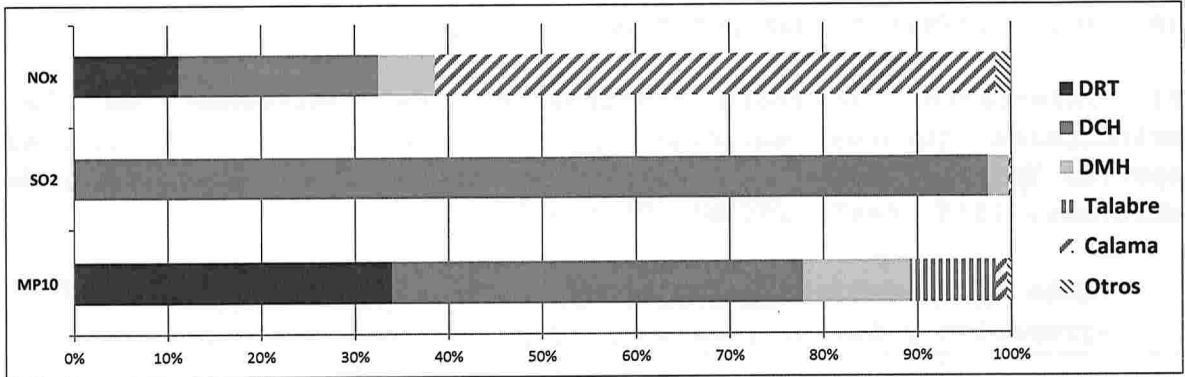
Fuente: Inventario de Emisiones Dictuc S.A., 2019.

En la comuna de Calama se emplazan distintas actividades económicas que aportan a las emisiones de material particulado y a los gases precursores de éste, entre las que se destacan: actividades asociadas a la minería, esto es CODELCO con sus Divisiones Chuquicamata, Ministro Hales y Radomiro Tomic; Fundición de concentrado de Cobre de CODELCO División Chuquicamata; Planta de Tostación de concentrados, de CODELCO División Ministro Hales; y Tranque Talabre, que en conjunto generan 36.456 ton/año de emisiones de material particulado respirable (MP₁₀), correspondiente a un 98% del total de emisiones

de MP₁₀. La División Chuquicamata y Radomiro Tomic son las principales fuentes emisoras con emisiones por sobre las 16 y 12 mil toneladas de MP₁₀ respectivamente, seguidas de la División Ministro Hales, que emite 4.217 ton/año de dicho contaminante y el Tranque Talabre⁵, con 3.377 ton/año. La mayor parte de las emisiones restantes corresponde al polvo resuspendido por el transporte al interior de la ciudad de Calama y a otras fuentes emisoras presentes en la zona, tales como extracción de áridos, empresas del sector Puerto Seco, fundición de plomo Recicladora Ambiental Limitada (RAM), entre otras instalaciones de menor tamaño.

La Figura 3, representa el aporte de las fuentes emisoras a las emisiones de MP₁₀, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.

Figura 3: Distribución de emisiones por fuente [ton/año]



Fuente: Elaboración propia en base al estudio Dictuc S.A., 2019

Como consecuencia del análisis de la información antes expuesta, se concluye que las principales fuentes emisoras de la zona corresponden a las tres Divisiones de CODELCO (Chuquicamata, Ministro Hales y Radomiro Tomic), el Tranque Talabre y la ciudad de Calama, por lo cual en el presente decreto se establecen medidas de reducción para fuentes emisoras de la ciudad de Calama y metas de reducción de emisiones para las actividades mineras.

6. Beneficios y costos del Plan

El Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación, dispone que el Plan debe contener, en su etapa de elaboración de Anteproyecto, un Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES), el cual evalúa los costos y beneficios de las medidas establecidas en el Plan.

Para la evaluación mencionada se consideraron las medidas de reducción de emisiones para las faenas mineras de Codelco: División Ministro Hales (DMH), División Chuquicamata (DCH),

⁵ Organizacionalmente Codelco considera el Tranque Talabre como parte de la DCH, sin embargo, para fines del Plan y dada la magnitud de sus emisiones, se considera como una fuente separada de DCH.

División Radomiro Tomic (DRT) y Tranque Talabre. Además, se consideraron las medidas sobre la extracción de áridos, de pavimentación de caminos y limpieza de caminos en la ciudad de Calama.

La reducción de emisiones de material particulado MP₁₀ requerida por el plan se traduce en reducción en concentración anual de MP₁₀. Estos resultados se muestran en la siguiente tabla. La reducción de concentraciones (Δ) debido a la implementación del Plan es progresiva, alcanzando a 4,53 ug/m³ de concentración de MP₁₀ para el año 2030.

Tabla 5: Reducciones en concentraciones del Plan por empresa o sector y medida al año 2030

Empresa o sector	Medidas	Concentración MP10 [µg/m³]		Δ relativo (%)	Δ Conc total (%)
		Línea Base 2030	Reducción (Δ)		
División Ministro Hales (*)	Límite de emisión	0,93	0,00	0,00%	0,00%
División Chuquicamata	Límite de emisión	12,41	2,56	20,59%	56,37%
División Radomiro Tomic	Límite de emisión	10,17	0,71	6,97%	15,64%
Tranque Talabre	Límite de emisión	3,57	1,04	29,10%	22,94%
Calama	Pavimentación, limpieza de calles, Puerto Seco	0,49	0,10	20,57%	2,21%
Sur Calama	Barrera vientos y caminos en extracción de áridos	0,16	0,13	83,18%	2,85%
Secundario (**)		0,38	-	-	-
Background		12,30	-	-	-
Concentración Total		40,40	4,53	11%	100%

(*): La línea base de emisiones proyectada para el año 2030 indica que las emisiones serán menores que las exigidas por el plan para ese año, ya que la proyección considera que la explotación del rajo terminaría el 2028. Sin embargo, el plan genera reducciones de emisiones y concentraciones entre el año 2020 y 2028.

(**): Corresponde a la concentración de MP secundario generado a partir de las emisiones de NOx y SOx.

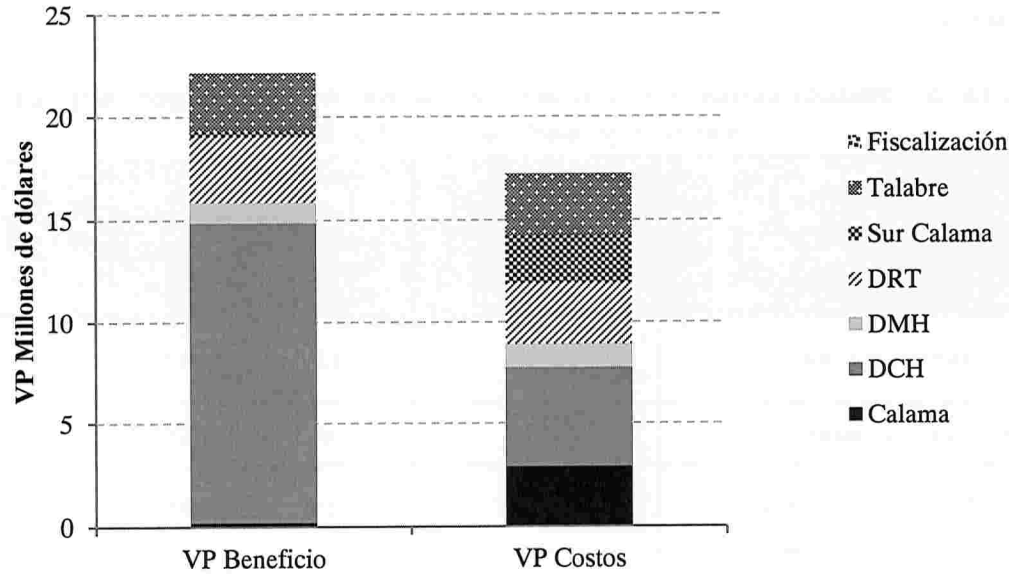
Fuente: Elaboración propia en base al Análisis General de Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación para la ciudad de Calama y su área circundante.

Los beneficios valorizados de la aplicación de las medidas del Plan se estiman en US\$22,1 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años (2021 a 2030). Es importante destacar que la mayoría de estos beneficios son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad debido a la reducción de MP_{2,5} asociada a la reducción de la concentración de MP₁₀. Otros beneficios no cuantificados en el análisis son: mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas y mejoras en la vulnerabilidad ambiental de la zona, en la actividad turística entre otros.

De acuerdo al análisis efectuado en el AGIES, los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, se estiman en US\$17,8 millones.

Considerando los resultados evidenciados, se obtiene que la implementación de este Plan tiene una razón beneficio-costo de 1,25.

Figura 4: Reducciones en concentraciones del Plan por empresa o sector y medida



Fuente: Elaboración propia en base al Análisis General de Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación para la ciudad de Calama y su área circundante.

En la siguiente tabla se observa el número de casos de mortalidad evitados durante todo el período de evaluación del plan (2021-2030). Los casos evitados son atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos (MP₁₀ y MP_{2,5}), para el percentil 50⁶.

Tabla 6: Casos evitados de mortalidad y morbilidad - Plan (2021-2030)

Evento	Casos evitados 2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2021-2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	6	[3,5 - 8,4]	45	[26,7 - 62,4]
Admisiones hospitalarias	13	[6 - 20,5]	110	[47,3 - 171,6]
Visitas Salas de Emergencia	147	[84,2 - 210,8]	1.235	[703,1 - 1766,5]
Productividad perdida (días)	13.080	[12.039 - 14.176]	109.492	[100.797 - 118.659]

Fuente: Elaboración propia en base al Análisis General de Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación para la ciudad de Calama y su área circundante.

⁶ Evaluación de la función dosis-respuesta con un valor de coeficiente de riesgo unitario para material particulado respirable y material particulado fino respirable correspondiente al percentil 50

CAPÍTULO II: DEFINICIONES

Artículo 3. Para efectos de lo dispuesto en el presente decreto, se entenderá por:

Caldera: Unidad generadora de calor a partir de un proceso de combustión, principalmente diseñada para la obtención de agua caliente, calentar un fluido térmico y/o para generar vapor de agua.

Caldera existente: Aquella caldera que se encuentre registrada ante la SEREMI de Salud de acuerdo al D.S. N°10, de 2012, del Ministerio de Salud, hasta cumplido un año desde la publicación del presente decreto.

Caldera nueva: Aquella caldera que se encuentre registrada ante la SEREMI de Salud de acuerdo al D.S. N°10, de 2012, del Ministerio de Salud, a partir del día siguiente de cumplido un año de la publicación del presente decreto.

Chancador Primario: Maquinaria que realiza el primer proceso de chancado de sustancias minerales y disminuye el tamaño de los fragmentos de roca mineralizada a un diámetro igual o menor a 8 pulgadas.

Chancador Secundario: Maquinaria que realiza el segundo proceso de chancado de sustancias minerales y disminuye el tamaño de los fragmentos de roca mineralizada a un diámetro igual o menor a 3 pulgadas.

Chancador Terciario: Maquinaria que realiza el tercer proceso de chancado de sustancias minerales y disminuye el tamaño de los fragmentos de roca mineralizada a un diámetro igual o menor a 1/2 pulgada.

Cogeneración: Generación en un sólo proceso, de energía eléctrica o mecánica, combinada con la producción de calor.

Condiciones normales (N): Condición donde la temperatura es de 25 grados Celsius (°C) y la presión es de 1 atmósfera (atm).

Correa Transportadora: Sistema de transporte continuo del material sólido que se utiliza en distintas etapas del proceso productivo, que hacen de la operación de transporte de mineral segura y eficiente. Tienen como una función mover el mineral desde una ubicación específica a otra ubicación determinada, y en algunos casos también funcionan como alimentadores a equipos como chancadores y harneros.

Emisión: Es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de gases o partículas.

Establecimiento: Recintos o locales vinculados a un mismo proceso productivo en el que se realiza una o varias actividades económicas, que producen una transformación de la materia prima o materiales empleados; o que no produciendo una transformación en

su esencia, dan origen a nuevos productos; y que en este proceso originan emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes; así como cualesquiera otras actividades directamente relacionadas con aquellas, realizadas o no en el mismo emplazamiento y que puedan tener repercusiones sobre la generación de emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes.

Fuente emisora: toda actividad, proceso, operación o dispositivo móvil o estacionario que, produzca o pueda producir emisiones.

Fuente estacionaria: Es toda fuente diseñada para operar en un lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento.

Fuente areal: Se considera fuente areal a aquellas fuentes emisoras, localizadas dentro de un área geográfica determinada, en donde no es posible medir las emisiones de cada una de ellas en forma directa, pero que en su conjunto generan emisiones que deben ser controladas, tales como plantas de áridos, acopio de graneles sólidos, entre otros.

Harnero: Superficie con una multiplicidad de aberturas de una cierta dimensión de tal forma que al pasar sustancias minerales sobre ella retendrá las partículas con tamaños mayores que la abertura, dejando pasar la de menor tamaño. El objetivo de los harneros es manipular la distribución de tamaño de flujos de una planta, con el fin de optimizar el comportamiento operacional.

Mediciones discretas: Son aquellas mediciones efectuadas a una muestra del caudal de una chimenea, bajo condiciones de operación preestablecidas para la fuente, sujeta a evaluación bajo una metodología determinada.

Molienda de sulfuros: Proceso de mayor reducción del tamaño de los fragmentos, que muele el material para que sea más fácil separar el cobre de otras sustancias y así acercarse a un mineral de mayor pureza.

Potencia térmica nominal: Corresponde a la potencia térmica calculada sobre la base de información del consumo nominal de combustible, determinado por las especificaciones técnicas del diseño o ingeniería desarrollada por el fabricante y/o constructor, y; del poder calorífico superior del combustible utilizado, determinado según los valores publicados en el Balance de Energía anual elaborado por el Ministerio de Energía⁷.

SEREMI de Bienes Nacionales: Secretaría Regional Ministerial de Bienes Nacionales de la región de Antofagasta.

SEREMI de Salud: Secretaría Regional Ministerial de Salud de la región de Antofagasta.

SEREMI de Obras Públicas: Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas de la región de Antofagasta.

⁷ Disponible en <http://energiaabierta.cl/reportes/>

SEREMI del Medio Ambiente: Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la región de Antofagasta.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.

Stock Pile: Acumulación de mineral que generalmente se utiliza en aquellos períodos en los que la mina debe paralizar (condiciones climáticas), permitiendo mantener el ritmo de producción y de alimentación a la planta de procesamiento.

CAPÍTULO III: CONTROL DE EMISIONES DE FUENTES ESTACIONARIAS

1. REGULACIÓN DE CALDERAS

Artículo 4. Las calderas existentes y nuevas, de potencia térmica nominal mayor o igual a 1 MWT⁸, deberán cumplir con los límites máximos de emisión que se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 7 Límites de emisión calderas nuevas y existentes.

Estado del combustible	MP (mg/m³N)						SO₂ (mg/m³N)						NOx (mg/m³N)					
	≥1 y <3 MWt		≥3 y <20 MWt		≥ 20 MWt		≥1 y <3 MWt		≥3 y <20 MWt		≥ 20 MWt		≥1 y <3 MWt		≥3 y <20 MWt		≥ 20 MWt	
	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E
Gaseoso	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100	NA	100	NA	50	NA	100	NA	100	NA	100	NA
Líquido	30	50	30	50	20	30	400	NA	400	NA	400	NA	200	NA	200	NA	200	NA
Sólido	50	75	50	50	30	50	400	NA	400	NA	400	400	300	NA	300	NA	300	NA

NA: No aplica
N: Caldera nueva
E: Caldera existente

El cumplimiento de los límites máximos de emisión se verificará en el efluente de la fuente emisora, el que puede considerar una o más calderas.

Las calderas nuevas deberán cumplir con las exigencias dispuestas en el presente artículo, desde la fecha de inicio de su operación y las calderas existentes en el plazo de 3 años contado desde la fecha de publicación del presente decreto.

Se exceptúan de los límites máximos de emisión señalados en la tabla anterior, las calderas que cumplan con las siguientes condiciones:

- a. Aquellas reguladas por el D.S. N°13 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas.
- b. Aquellas que acrediten un funcionamiento menor al 30% de las horas en base anual, considerando las horas de encendido y

⁸ MWT: Megawatt térmico

apagado, ante la Superintendencia del Medio Ambiente, conforme al procedimiento que este organismo establezca en el plazo de 6 meses contado desde la publicación del presente decreto.

- c. Aquellas calderas, nuevas y existentes, de potencia menor a 20 MWt, que cogeneran, siempre y cuando el titular demuestre una eficiencia térmica superior al 80%, se eximirán del límite de emisión de MP indicado en la tabla anterior.

En estos casos, deberán cumplir con el límite máximo de emisión de MP de 60 mg/m³N. Para dar cuenta de dicha eficiencia, el titular deberá enviar en enero de cada año, un informe a la Superintendencia del Medio Ambiente en el cual se acompañen antecedentes que permitan demostrar la eficiencia térmica requerida. En el caso de las calderas nuevas deberán acreditar el nivel de eficiencia térmica señalado, a través de un certificado emitido por el fabricante.

- d. Se eximen del límite máximo de emisión de SO₂, aquellas calderas de potencia mayor o igual a 1 MWt y menor a 20 MWt, que demuestren utilizar de manera permanente un combustible en estado líquido o gaseoso con un contenido de azufre menor o igual a 50 ppm o ppmv (partes por millón o partes por millón volumen).

Para acreditar su condición deberá presentar en enero de cada año a la Superintendencia del Medio Ambiente una declaración con el número de registro de la SEREMI de Salud, que identifica la fuente y el tipo de combustible utilizado, de acuerdo al D.S. N°10/2012 MINSAL, adjuntando la declaración de emisiones del D.S. N°138/2005 MINSAL, el certificado del combustible que especifique su contenido de azufre, y el informe técnico individual de la caldera, todos ellos vigentes.

Artículo 5. Para acreditar el cumplimiento de los límites máximos de emisión establecidos en el artículo precedente, las calderas nuevas o existentes cuya potencia sea mayor o igual a 1 MWt y menor a 20 MWt deben realizar mediciones discretas de MP, SO₂ y NO_x de acuerdo a los protocolos definidos por la Superintendencia del Medio Ambiente, con la periodicidad establecida en la siguiente Tabla:

Tabla 8 Periodicidad muestreo discreto por tipo de calderas

Tipo de combustible	Frecuencia de medición
Sólido	Cada 6 meses
Líquido	Cada 12 meses
Gas	Cada 12 meses

Las mediciones deben ser realizadas por entidades autorizadas por la Superintendencia del Medio Ambiente. Los informes deberán ser remitidos a dicha Superintendencia en los plazos que ésta determine. De la misma forma, podrá requerir que se informe en otros periodos y frecuencias sobre los mismos u otros contaminantes o parámetros de interés.

La Superintendencia del Medio Ambiente deberá definir los protocolos a que se hace referencia en este artículo en el plazo de 6 meses contado desde la publicación del presente decreto.

Artículo 6. Las calderas nuevas y existentes, cuya potencia sea mayor o igual a 10 MWt y menor a 20 MWt, deberán disponer de la instrumentación necesaria para cuantificar las variables que permitan estimar sus emisiones anuales. Las variables a considerar son: (i) consumo de combustible, (ii) caudal, (iii) horas de operación mensual, y (iv) otras que permitan estimar adecuadamente el nivel de actividad de las fuentes y sus emisiones.

Esta instrumentación deberá permitir el monitoreo continuo de estas variables y su registro, el que deberá estar en línea con los sistemas de información de la Superintendencia del Medio Ambiente.

En un plazo de 6 meses contado desde la publicación del presente decreto, la Superintendencia del Medio Ambiente elaborará y publicará un protocolo que determinará las características y condiciones que debe cumplir la instrumentación referida y los procedimientos de cálculo de emisiones. Dicho protocolo entrará en vigencia desde la publicación en el Diario Oficial de la resolución que lo apruebe.

Las calderas, nuevas y existentes, deberán cumplir con la exigencia señalada en el inciso primero, en el plazo de 12 meses contado desde la entrada en vigencia del protocolo respectivo.

Artículo 7. Para acreditar el cumplimiento de los límites máximos de emisiones de MP, NO_x y SO₂ establecidos en el artículo 4, las calderas de potencia térmica mayor o igual a 20 MWt, deberán implementar un sistema de monitoreo continuo desde su entrada en operación. Dicho sistema, deberá validarse de acuerdo al protocolo técnico establecido en la Resolución Exenta N°627/2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que Aprueba protocolo técnico para validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones "CEMS" requeridos por resoluciones de calificación ambiental (RCA) y planes de prevención y/o descontaminación (PPDA), o en la que lo reemplace.

Tratándose de calderas existentes, el plazo para la implementación y validación de este sistema, será de 12 meses contado desde la publicación del presente decreto.

Artículo 8. Con el objeto de tener un catastro actualizado de calderas, en un plazo de 6 meses contados desde la publicación del presente decreto, todos los titulares de establecimientos que cuenten con calderas de potencia mayor o igual a 1 MWt, ubicadas dentro de la zona saturada y que no hayan registrado su caldera conforme a lo dispuesto en el D.S. N°10 de 2012, del Ministerio de Salud, que Aprueba el Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que Utilizan Vapor de Agua, deberán presentar a la Superintendencia del Medio Ambiente, una declaración que detalle el tipo de calderas con las que cuentan.

Dicha declaración deberá incluir:

- i. número de calderas,
- ii. identificación de cada caldera con el número de registro,
- iii. potencia térmica nominal en KWT o MWt,
- iv. tipo de combustible,
- v. consumo y horas de operación anual por cada combustible en los últimos dos años,
- vi. emisiones de MP, SO₂ y NOx, medidas en mg/m³N en los últimos dos años,
- vii. georreferenciación de las calderas, y
- viii. código de establecimiento respectivo en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC.

Se eximen de este artículo las calderas reguladas por la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, D.S. N°13, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, ya que se encuentran obligadas a declarar sus calderas por esta norma.

Artículo 9. La SEREMI de Salud remitirá a la Superintendencia del Medio Ambiente, en un plazo de 6 meses contado desde la publicación del presente decreto, el listado de las calderas registradas de acuerdo al D.S. N°10 de 2012, del Ministerio de Salud, que Aprueba el Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que Utilizan Vapor de Agua.

Durante el mes de enero de cada año, la SEREMI de Salud deberá informar a la Superintendencia del Medio Ambiente el listado de calderas que se hubiesen registrado el año anterior de acuerdo al D.S. N°10, de 2012, del Ministerio de Salud, o el que lo reemplace.

Dicho listado debe incluir al menos la siguiente información: número de registro de la caldera, fecha del registro ante la Secretaría Regional Ministerial de Salud Valparaíso, tipo de combustible principal y potencia térmica nominal (MWt), según se indique en el catálogo a que hace referencia el artículo 3 literal q) del D.S. N°10, de 2012, del Ministerio de Salud.

La Superintendencia del Medio Ambiente mantendrá la información consolidada y sistematizada para efectos de su respectiva fiscalización.

2. CONTROL DE EMISIONES PARA PROCESADORA DE RESIDUOS INDUSTRIALES LIMITADA (HORNO FUNDIDOR DE PLOMO)

Artículo 10. A partir de la publicación del presente decreto, el límite de emisión de material particulado de Recicladora Ambiental Limitada será aquel correspondiente a las emisiones reportadas el año 2016 a la Superintendencia del Medio Ambiente en cumplimiento de su RCA N°0125/2004, que asciende a 3,42 ton/año.

Adicionalmente, en el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto, el límite de emisión de material particulado de Recicladora Ambiental Limitada será de 2,84 ton/año.

**Tabla 9.Emisiones máximas permitidas para RECICLADORA AMBIENTAL
LIMITADA**

Emisiones máximas permitidas	EMISIONES DE MP (ton/año)
Desde la publicación del presente decreto	3,42
En el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto	2,84

Las emisiones máximas permitidas de material particulado señaladas en la tabla precedente, consideran las emisiones de material particulado generadas anualmente en el proceso de fundición de materiales plomados por chimenea.

3. DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 11. La Superintendencia del Medio Ambiente deberá mantener un registro actualizado de todas las fuentes estacionarias de la zona afecta al plan.

Este registro deberá contener la información asociada a las emisiones atmosféricas de cada fuente, por establecimiento y contaminante, según corresponda. La SEREMI de Salud deberá poner a disposición de la Superintendencia de Medio Ambiente, en un plazo máximo de 3 meses de publicado el presente decreto, toda la información histórica de las fuentes estacionarias que se hayan registrado ante dicho organismo.

Artículo 12. Todos los valores de emisión medidos deben ser corregidos por oxígeno, según el estado del combustible que indican las siguientes tablas:

Tabla 10: Corrección de oxígeno medido en chimenea para calderas

Estado combustible	Corrección de oxígeno
Gas y líquidos	3%
Sólidos	6%

**Tabla 11: Corrección de oxígeno medido en chimenea, para otras
fuentes estacionarias con combustión**

Tipo de proceso	Corrección de oxígeno
Continuos	8%
Discontinuos	13%

Las correcciones en el cálculo y expresión de unidades de concentración de las emisiones, se referirán a 25°C y 1 atm.

Artículo 13. Las calderas y fuentes estacionarias con combustión deberán acreditar sus emisiones considerando los métodos de medición por contaminante que hayan sido oficializados y/o reconocidos como válidos por la Superintendencia del Medio Ambiente. Estos análisis deberán realizarse en laboratorios de medición y análisis autorizados por la Superintendencia del Medio Ambiente.

Las mediciones se realizarán de conformidad con las instrucciones que dicte la Superintendencia del Medio Ambiente.

Artículo 14. Las fuentes emisoras que deban implementar monitoreo continuo de algún contaminante y que se encuentren en el período previo a su implementación y validación, deberán acreditar anualmente sus emisiones a través de mediciones discretas bajo los métodos que defina la Superintendencia del Medio Ambiente.

Artículo 15. Los datos que se obtengan del monitoreo continuo de emisiones deberán estar en línea con los sistemas de información de la Superintendencia del Medio Ambiente, el que será implementado en un plazo de 6 meses desde publicado el presente decreto. Dicho sistema deberá estar en línea con la plataforma señalada en el artículo 68.

Artículo 16. En el caso del monitoreo continuo de las emisiones, la evaluación del cumplimiento de los límites de emisión se hará en base al promedio de los datos horarios. Los valores deberán cumplirse en el 95% de las horas de funcionamiento de las fuentes en el año calendario. A excepción de la evaluación del cumplimiento de los valores límite de emisión de NOx, donde la evaluación se desarrollará utilizando un 85% de horas de funcionamiento.

Se excluyen de los parámetros señalados, aquellas fuentes reguladas por los D.S. N°13, de 2011, y D.S. N°28, de 2013, ambos del Ministerio del Medio Ambiente, las que se regirán por lo allí establecido, respecto de los criterios para la verificación de límites de emisión expresados en concentraciones. Lo anterior, sin perjuicio de las exigencias adicionales y/o complementarias establecidas en el presente decreto.

CAPÍTULO IV: CONTROL DE EMISIONES DE FAENAS MINERAS

1. REGULACIÓN ASOCIADA A CODELCO DIVISIÓN MINISTRO HALES

Artículo 17. A partir de la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para CODELCO División Ministro Hales será de 4.170 ton/año, correspondiente a las emisiones calculadas para el escenario base 2016.

Adicionalmente, en el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para CODELCO División Ministro Hales será de 3.460 ton/año.

**Tabla 12. Emisiones máximas permitidas para CODELCO DIVISIÓN
MINISTRO HALES**

Emisiones máximas permitidas	EMISIONES DE MP₁₀ (ton/año)
Desde la publicación del presente decreto	4.170
En el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto	3.460

Las emisiones máximas permitidas de MP₁₀ señaladas en la tabla precedente, considera la suma de todas las emisiones de MP₁₀ generadas por esta División, exceptuando las emisiones asociadas a la planta de tostación, que debe regirse por las exigencias establecidas en el D.S. N°28, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico.

2. REGULACIÓN ASOCIADA A CODELCO DIVISIÓN CHUQUICAMATA

Artículo 18. A partir de la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para CODELCO División Chuquicamata será de 13.120 ton/año, correspondiente a las emisiones calculadas para el año base 2016.

Adicionalmente, en el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para CODELCO División Chuquicamata será de 10.890 ton/año.

**Tabla 13.Emisiones máximas permitidas para CODELCO DIVISIÓN
CHUQUICAMATA**

Emisiones máximas permitidas	EMISIONES DE MP₁₀ (ton/año)
Desde la publicación del presente decreto	13.120
En el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto	10.890

Las emisiones máximas permitidas de MP₁₀ señaladas en la tabla precedente considera la suma de todas las emisiones de MP₁₀ generadas por esta división, exceptuando las emisiones asociadas a la Fundición de Cobre, que debe regirse por las exigencias establecidas en el D.S. N°28, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico.

3. REGULACIÓN ASOCIADA A CODELCO DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC

Artículo 19. A partir de la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para CODELCO División Radomiro Tomic será

12.600 ton/año, correspondiente a las emisiones calculadas para el año base 2016.

Adicionalmente, en el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para CODELCO División Radomiro Tomic será de 10.460 ton/año.

**Tabla 14.Emisiones máximas permitidas para CODELCO DIVISIÓN
RADOMIRO TOMIC**

Emisiones máximas permitidas	EMISIONES DE MP ₁₀ (ton/año)
Desde la publicación del presente decreto	12.600
En el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto	10.460

Las emisiones máximas permitidas de MP₁₀ señaladas en la tabla precedente, considera la suma de todas las emisiones de MP₁₀ generadas por esta División.

4. REGULACIÓN ASOCIADA AL TRANQUE TALABRE DE CODELCO

Artículo 20. A partir de la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para el Tranque Talabre será 3.370 ton/año, correspondiente a las emisiones calculadas para el año base 2016.

Adicionalmente, en el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto, el límite de emisión de MP₁₀ para el Tranque Talabre será de 2.800 ton/año.

Tabla 15.Emisiones máximas permitidas para el TRANQUE TALABRE

Emisiones máximas permitidas	EMISIONES DE MP ₁₀ (ton/año)
Desde la publicación del presente decreto	3.370
En el plazo de 4 años contado desde la publicación del presente decreto	2.800

Las emisiones máximas permitidas de MP₁₀ señaladas en la tabla precedente, considera la suma de todas las emisiones de MP₁₀ generadas por el tranque.

Artículo 21. En un plazo máximo de 3 años contado desde la publicación del presente decreto, CODELCO deberá implementar y mantener una barrera verde (arbolado) que separe el Tranque Talabre de la localidad de Chiu Chiu, con la finalidad de reducir el impacto de las emisiones de polvo resuspendido por el viento.

Esta barrera deberá estar constituida por árboles y contar con una extensión de 3 kilómetros y un ancho mínimo de 10 metros, siendo de responsabilidad de Codelco, la implementación y mantención de la misma.

La Seremi de Medio Ambiente deberá coordinar, en un plazo máximo de 12 meses contado desde la publicación del presente decreto, con CODELCO y las autoridades competentes las actividades necesarias para la implementación de la barrera verde.

5. CONTROL DE EMISIONES PARA FUENTES ESPECÍFICAS ASOCIADAS A ACTIVIDADES MINERAS EN PLANTA

Artículo 22. En un plazo máximo de 3 años, contado desde la entrada en vigencia del presente decreto, las actividades mineras existentes en la zona saturada deberán cumplir con los siguientes límites mínimos de eficiencia de control de emisiones de MP en los procesos específicos que se indican. Por su parte, las actividades mineras nuevas, deberán cumplir con estas exigencias desde su puesta en marcha.

Tabla 16. Límites mínimos de eficiencia de captura de emisiones de MP para procesos de actividades mineras que se indican.

Proceso	Existentes	Nuevas
Chancadores Primarios Óxidos/Sulfuros	85%	90%
Chancadores Secundarios Óxidos/Sulfuros	80%	90%
Chancadores Terciarios Óxidos/Sulfuros	80%	90%
Harnero Grueso Óxidos/Sulfuros	90%	90%
Harnero Fino Óxidos/Sulfuros	98%	98%
Molienda Sulfuros	90%	90%
Transferencia Correas	95%	95%
Stock Pile	95%	95%

Adicionalmente, las correas transportadoras deberán estar cubiertas.

Artículo 23. Los procedimientos para acreditar el cumplimiento de las eficiencias exigidas en la Tabla precedente serán establecidos por la Superintendencia del Medio Ambiente en un plazo máximo de 12 meses contados desde la publicación del presente decreto.

6. CONTROL DE EMISIONES PARA FUENTES ESPECÍFICAS ASOCIADAS A ACTIVIDADES MINERAS EN MINA

Artículo 24. Control de emisión de material particulado en tronaduras. Para mitigar el impacto de las emisiones de material particulado en tronaduras, éstas se realizarán de acuerdo a lo que

disponga el reglamento interno de tronaduras aprobado para cada caso por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Sin perjuicio de lo anterior, las tronaduras deberán considerar la dirección y velocidad del viento de manera de evitar la dispersión de polvo a la ciudad de Calama. Esta medida será de implementación inmediata una vez que entre en vigencia el presente decreto y su aplicación será de carácter permanente para fuentes nuevas y existentes.

Artículo 25. Control de emisión de material particulado resuspendido en caminos mineros. Las faenas mineras deberán implementar en forma permanente mecanismos de control de emisiones de polvo resuspendido por tránsito de camiones (CAEX), con una eficiencia mínima de abatimiento del 75%.

Esta medida será de implementación inmediata una vez que entre en vigencia el presente decreto y su aplicación será de carácter permanente para fuentes nuevas y existentes.

CAPÍTULO V: CONTROL DE EMISIONES DESDE FUENTES AREALES

1. CONTROL DE EMISIONES DE PUERTO SECO

Artículo 26. Los titulares de las instalaciones ubicadas al interior de Puerto Seco, dependiente del Ministerio de Bienes Nacionales, deberán implementar en un plazo de 24 meses contado desde la publicación del presente decreto, sistemas que reduzcan la resuspensión de polvo por efecto del tráfico de fuentes móviles. Las medidas que podrán implementar son las siguientes: pavimentación, estabilización de bermas y veredas, áreas verdes, entre otras.

2. MEDIDAS ASOCIADAS A PLANTAS DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS E INSTALACIONES QUE MANEJAN ÁRIDOS PARA HORMIGONES, ASFALTOS O SUELO.

Artículo 27. Las actividades realizadas al interior de la zona saturada que impliquen extracción de áridos e instalaciones que manejan áridos para hormigones, asfaltos o suelo, deberán cumplir con las medidas que se indican a continuación:

- i) Todos los procesos de trituración, chancado o reducción mecánica de materiales y/o separación de distintos tamaños de éstos, deberán estar equipados con sistemas de captación de polvo, con el objetivo de disminuir las emisiones fugitivas de material particulado.
- ii) Humectar material de excavación, carga y descarga, de modo tal de evitar la dispersión de material particulado, durante el periodo que se realicen dichas actividades, o bien utilizar barreras cortaviento para su ejecución.
- iii) Las correas transportadoras deberán ser cerradas.
- iv) El transporte del material árido fuera de las faenas de

extracción e instalaciones que utilizan árido, deberá efectuarse en vehículos acondicionados para ello y que cumplan con los requisitos establecidos para el transporte de carga. Además, deberán transportar la carga con carpas resistentes que impidan la dispersión y derrame del material.

- v) El material transportado fuera de la planta de extracción de áridos, deberá transportarse al menos bajo 10 cm contados desde el límite superior de la tolva.
- vi) Se deberá construir y mantener en buenas condiciones una barrera cortaviento, en todo el perímetro de las plantas de áridos e instalaciones que manejan áridos para obras de construcción, la que deberá tener una altura mínima de 2.5 metros y estar constituido por un material con una porosidad certificada de 0,35.
- vii) Los caminos de circulación de camiones deberán mantenerse estabilizados y/o humectarse permanentemente, o bien aplicar supresores de polvo que eviten la resuspensión de material particulado.

Artículo 28. Las actividades e instalaciones existentes a la fecha de publicación del presente decreto, deberán dar cumplimiento a las medidas señaladas, en el plazo de 8 meses contado desde dicha publicación.

Artículo 29. Las demás actividades e instalaciones deberán dar cumplimiento a las medidas señaladas, desde el momento de su entrada en operación.

Artículo 30. La SEREMI de Bienes Nacionales, la Ilustre Municipalidad de Calama, la SEREMI de Obras Públicas y el Servicio de Vivienda y Urbanismo, elaborarán un catastro de las plantas de áridos e instalaciones que manejan áridos para hormigones, asfaltos o suelo, el cual deberá ser remitido a la SEREMI de Salud. El plazo para ello será de 4 meses luego de publicado el presente decreto en el Diario Oficial. Posteriormente, y durante el último trimestre de cada año, cada servicio deberá actualizar y remitir dicho catastro a la SEREMI de Salud. Con el primer catastro, y en el plazo de 6 meses de recibido, la SEREMI de Salud diseñará un programa de fiscalización, y posteriormente, en caso que alguno de los servicios modifiquen el catastro inicial, la SEREMI de Salud deberá actualizar el programa de fiscalización señalado, dentro del primer trimestre de cada año.

Artículo 31. Posterior al primer programa de fiscalización elaborado, la SEREMI de Salud, deberá remitir a la SMA y a la SEREMI del Medio Ambiente de la región de Antofagasta, durante el primer trimestre de cada año, un informe anual que incorpore los resultados de las fiscalizaciones del año anterior, e incluya el programa de fiscalización.

3. MEDIDAS ASOCIADAS A PLANTAS DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS ILEGALES QUE SE LOCALICEN EN TERRENOS FISCALES.

Artículo 32. La Seremi de Bienes Nacionales elaborará un programa de fiscalización a terrenos fiscales enfocado en el desalojo de las plantas de extracción de áridos ilegales localizados al interior de la zona saturada.

Las fiscalizaciones se realizarán con una frecuencia trimestral durante cada año en que se encuentre vigente el Plan, y se oficiará a la Gobernación Provincial de El Loa quien deberá realizar los desalojos respectivos. El plazo para elaborar este programa será de 3 meses contado desde la publicación del Plan en el Diario Oficial.

Artículo 33. La Gobernación Provincial de El Loa se coordinará con Carabineros de Chile para requerir el desalojo, lo que se deberá ejecutar a más tardar 3 meses luego de recepcionado el requerimiento por parte de la SEREMI de Bienes Nacionales.

Artículo 34. Para el caso de denuncias que ingresen a la SEREMI de Bienes Nacionales, relacionadas con extracción de áridos ilegales en terrenos fiscales, dicha SEREMI creará un registro de cada denuncia, el que al menos contendrá las acciones ejecutadas y resultados para cada una de las denuncias realizadas.

4. MEDIDAS ASOCIADAS A OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Artículo 35. Las faenas de construcción, remodelación, modificación, demolición y demás obras semejantes que contemplen movimientos de tierra, tránsito de camiones, palas mecánicas, excavadoras y otras similares, que se ejecuten al interior del polígono de la zona saturada tendrán que cumplir con las siguientes medidas para controlar sus fuentes emisoras temporales de material particulado.

Artículo 36. Las obras públicas o privadas que se encuentren en construcción a la fecha de publicación del presente decreto deberán cumplir lo siguiente:

i) Respecto de las emisiones generadas por el tránsito de vehículos, camiones y maquinarias en caminos no pavimentados de las obras públicas o privadas:

1. Humectar los caminos de tránsito internos de la faena, desvío de tránsito, vías de circulación de acceso a los frentes de trabajo y de acceso a las obras anexas asociadas en caso que corresponda, tales como instalación de faenas, botaderos, campamento, entre otros, para lo cual se deberá mantener en la obra, los registros sobre la ejecución de dicha actividad.
2. Implementar sistema de lavado de ruedas de transporte de carga para obras que consideren un camino de salida hacia caminos pavimentados.

- ii) Humectar material de excavación, de modo tal de evitar la dispersión de material particulado, durante el periodo que se realice la actividad, o bien utilizar barreras cortaviento para su ejecución.
- iii) Utilizar encarpado de tolva de camiones cargados, el cual deberá cubrir toda la carga y encontrarse en perfectas condiciones, de modo tal que impida la dispersión y derrame del material.
- iv) La instalación de tela en la fachada de la obra, total o parcialmente, u otros revestimientos, para minimizar la dispersión del polvo e impedir la caída de material hacia el exterior la que debe mantenerse en perfectas condiciones.
- v) Evacuar los escombros desde una altura mayor a 3 metros desde el suelo, mediante un sistema cerrado, para evitar la dispersión de material particulado.
- vi) Hacer uso de procesos húmedos en caso de requerir faenas de molienda y mezcla de materiales.
- vii) Comprar material empréstito a empresas que posean los permisos correspondientes para su extracción y venta, para lo cual deberá mantener una copia de dichos permisos y compra respectiva.
- viii) La SEREMI de Obras Públicas, generará espacios de participación ciudadana, para los proyectos de su tuición, con el fin de recoger opiniones, observaciones y/o denuncias, en la ejecución de los mismos.

Artículo 37. Las obras públicas o privadas cuya construcción se inicie con posterioridad a la publicación del presente decreto, deberán dar cumplimiento a lo siguiente:

- i) Emisiones generadas por el tránsito de vehículos, camiones y maquinarias en caminos no pavimentados de las obras en construcción:
 - 1. Humectar los caminos de tránsito internos de la faena, desvío de tránsito, vías de circulación de acceso a los frentes de trabajo y de acceso a las obras anexas asociadas en caso que corresponda, tales como instalación de faenas; botaderos; campamento, entre otras, para lo cual se deberá mantener en la obra, los registros sobre la ejecución de dicha actividad.
 - 2. Implementar sistema de lavado de ruedas de transporte de carga para obras que consideren un camino de salida hacia caminos pavimentados.
 - 3. Restringir la velocidad máxima de circulación de los vehículos a 30 km/hr., manteniendo en la faena, los respectivos letreros de modo legible.
- ii) Humectar material de excavación, carga y descarga, de modo tal de evitar la dispersión de material particulado, durante el periodo que se realicen dichas actividades, o bien utilizar barreras cortaviento para su ejecución.
- iii) Utilizar encarpado de tolva de camiones cargados, la que deberá cubrir toda la carga y encontrarse en perfectas

condiciones, de modo tal que impida la dispersión y derrame del material. El material transportado fuera de la obra, deberá transportarse al menos bajo 10 cm contados desde el límite superior de la tolva.

- iv) Contar con una barrera cortaviento en todo el perímetro de la obra, de una altura mínima de 2.5 m, la que deberá estar constituida por un material con una porosidad tal que impida el paso de polvo en suspensión y/o contaminante, y mantenerse en perfectas condiciones. Con excepción de las obras viales que signifiquen construcción de calles o carreteras.
- v) Contar con sistemas de barreras cortaviento u otro similar a una altura superior a la altura de las pilas de almacenamiento, para reducir las emisiones generadas por el manejo de acopios de materiales estériles a granel al aire libre o en canchas de almacenamiento, la que se debe mantener en perfectas condiciones. Se requiere una altura de acopio no mayor a 2.5 m.
- vi) Evacuar los escombros desde una altura mayor a 3 metros desde el suelo, mediante un sistema cerrado, para evitar la dispersión de material particulado.
- vii) Para las faenas que internamente manejen empréstitos para las obras de construcción, deberán dar cumplimiento a lo señalado en el artículo 36.
- viii) Comprar material empréstito a empresas que posean los permisos correspondientes para su extracción y venta, para lo cual deberá mantener una copia de dichos permisos y compra respectiva.
- ix) La SEREMI de Obras Públicas, generará espacios de participación ciudadana, para los proyectos bajo su tuición, con el fin de recoger opiniones, observaciones y/o denuncias, en la ejecución de los proyectos MOP.

Artículo 38. Será la SEREMI de Salud quien se encargue de fiscalizar y sancionar el cumplimiento del presente número. En caso que alguna de las medidas señaladas precedentemente para obras nuevas no pueda ser aplicada a la fuente emisora temporal, el titular deberá informar a la SEREMI de Salud, indicando los fundamentos de ello y propondrá una o más medidas alternativas para reducir sus emisiones, las que deberán ser aprobadas por dicho Servicio, en un plazo no superior a un mes.

La Ilustre Municipalidad de Calama, la SEREMI de Obras Públicas y el Servicio de Vivienda y Urbanismo, elaborarán un catastro de las obras de construcción, el cual deberá ser remitido a la SEREMI de Salud. El plazo para ello será de 4 meses contado desde la entrada en vigencia del presente decreto. Posteriormente y durante el último trimestre de cada año, cada servicio deberá actualizar y remitir dicho catastro a la SEREMI de Salud. Con el primer catastro, y en el plazo de 6 meses de recibido, la SEREMI de Salud diseñará un programa de fiscalización, y posteriormente, en caso que alguno de los servicios modifiquen el catastro inicial, la SEREMI de Salud deberá actualizar el programa de fiscalización

señalado, dentro del primer trimestre de cada año.

Posterior al primer programa de fiscalización elaborado, la SEREMI de Salud deberá remitir a la SMA y a la SEREMI del Medio Ambiente de la región de Antofagasta, durante el primer trimestre de cada año, un informe anual que incorpore los resultados de las fiscalizaciones del año anterior, e incluya el programa de fiscalización.

5. MEDIDAS ASOCIADAS A RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR TRÁNSITO DE VEHÍCULOS

Artículo 39. La SEREMI del Medio Ambiente se coordinará con la Ilustre Municipalidad de Calama, para que ésta elabore y ejecute un Programa de Limpieza de calles, de acuerdo a lo siguiente:

- i) El Gobierno Regional de Antofagasta apoyará técnicamente la formulación del Programa de Limpieza de Calles para la solicitud de financiamiento, respecto a las alternativas existentes.
- ii) El Programa deberá ser formulado en un plazo máximo de 12 meses contado desde la entrada en vigencia del presente decreto.
- iii) La Ilustre Municipalidad de Calama deberá gestionar y administrar los recursos para la ejecución del Programa Limpieza de Calles.
- iv) El Programa deberá contar con una evaluación del desempeño anual, incluyendo entre otros aspectos, la cantidad de material particulado recolectado por los camiones barredores aspiradores.
- v) El Programa deberá mantenerse en funcionamiento al menos durante 3 años. Antes que finalice dicho periodo la Ilustre Municipalidad de Calama deberá realizar una evaluación que determine la pertinencia de continuar con este programa y remitir dicha evaluación al Gobierno Regional de Antofagasta.

Artículo 40. La SEREMI de Vivienda y Urbanismo, mantendrá cada año a disposición de vecinos con déficit de pavimentos, organizados en Comités de Pavimentación, a sus organizaciones vecinales, y a la Ilustre Municipalidad de Calama, el Programa de Pavimentación Participativa, fondo concursable para la construcción de pavimentos nuevos y repavimentación de calles y pasajes sin pavimentar o con alto deterioro. Además, el programa incentivará proyectos para pavimentar veredas faltantes o repavimentar veredas con alto deterioro, destinado especialmente para los peatones, particularmente a aquellos que presentan alguna dificultad de desplazamiento.

Artículo 41. La SEREMI del Medio Ambiente solicitará a la Ilustre Municipalidad de Calama se compromete a postular al menos 40 iniciativas anuales de pavimentación de calles al Programa de Pavimentación Participativa.

Artículo 42. La SEREMI del Medio Ambiente solicitará a más tardar al sexto mes contado desde la fecha de publicación del Plan en el Diario Oficial, a la Ilustre Municipalidad de Calama elaborará un catastro de al menos un 60% de la superficie habitada urbana de Calama, para estimar la cantidad de veredas a intervenir. Posteriormente, en un plazo máximo de 2 meses informará a la SEREMI de Vivienda y Urbanismo, un número mínimo anual de iniciativas que postulará para pavimentación o repavimentación de veredas.

Artículo 43. La Seremi de Vivienda y Urbanismo mantendrá dentro de los criterios para la distribución de los recursos regionales del Programa, una variable de ponderación adicional que beneficia directamente a la zona saturada de Calama, lo que permitirá incrementar un mayor financiamiento en ellas.

Artículo 44. La Seremi de Vivienda y Urbanismo y el Gobierno Regional de Antofagasta, a través del Convenio Plurianual de Conservación de Vías Urbanas, ejecutará 57 kilómetros como mínimo de conservación de vías y aceras de la ciudad de Calama, al año 2023.

Artículo 45. La Dirección de Vialidad realizará el diseño de 3,5 km. de calles de servicio de la Ruta 25 y Ruta 21. El plazo para su cumplimiento será de 4 años a partir de la publicación del presente decreto.

Artículo 46. El SEREMI del Medio Ambiente solicitará a la Ilustre Municipalidad de Calama incluir en la actualización del Plan Regulador Comunal de Calama, las siguientes vías como zonas de afectación de utilidad pública, con la finalidad de poder implementar en ellas medidas de control de emisiones de polvo:

- i) Vía proyectada, entre calles Punta de Rieles y Av. Circunvalación.
- ii) Vía Proyectada, caletería adyacente a población Francisco Segovia.
- iii) Vía proyectada, continuación de Hernán Cortés, sector Frei Bonn.

Artículo 47. El Gobierno Regional de Antofagasta, conformará y coordinará una mesa de trabajo con la SEREMI de Bienes Nacionales, la SEREMI de Vivienda y Urbanismo, el Servicio de Vivienda y Urbanismo y la Ilustre Municipalidad de Calama, así como con las organizaciones no gubernamentales, para la planificación y consolidación de los barrios industriales dentro de límite urbano de la comuna, en un plazo máximo de 2 meses contado desde la publicación del presente decreto

6. MEDIDAS PARA REDUCIR RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN SITIOS ERIAZOS

Artículo 48. El Gobierno Regional de Antofagasta, apoyará las

solicitudes de financiamiento mediante subsidios, indicado en Glosa 02, numeral 2.3 de la Ley Presupuesto de Gobiernos Regionales, para la mantención de parques, jardines botánicos y áreas verdes actuales,

La postulación y obtención de recomendación favorable estará a cargo de Ilustre Municipalidad de Calama, en un plazo máximo de 12 meses contado desde la publicación del presente decreto.

Artículo 49. El Gobierno Regional de Antofagasta, apoyará a la Ilustre Municipalidad de Calama, en la formulación del proyecto de diseño y ejecución de nuevas áreas verdes para presentar a fondos públicos, de forma tal de implementar una superficie total de 24.835 m² de nuevas áreas verdes, durante todo el periodo de implementación del Plan.

Esta formulación deberá ser presentada por la Ilustre Municipalidad de Calama en un plazo no superior a 3 años contado desde la publicación del presente decreto.

Las áreas verdes deberán estar completamente implementadas, en un plazo de cinco años, contado desde la entrada en vigencia del presente decreto. La Ilustre Municipalidad de Calama solicitará el financiamiento a través de subsidios para la mantención de áreas verdes, indicado en Glosa 02, numeral 2.3 de La Ley Presupuesto de Gobiernos Regionales.

Artículo 50. El Gobierno Regional de Antofagasta, convocará una mesa de trabajo con la SEREMI de Salud, Superintendencia de Servicios Sanitarios e Ilustre Municipalidad de Calama, así como con las organizaciones no gubernamentales, para incorporar medidas de reciclaje de agua para riego de áreas verdes de uso público. Dicha mesa se conformará en un plazo máximo de 2 meses contado desde la publicación del presente decreto.

Artículo 51. La SEREMI de Vivienda y Urbanismo gestionará recursos para diseñar y ejecutar el Parque René Schneider en la ciudad de Calama, el cual tendrá una superficie aproximada de 7,11 hectáreas, que comprende área de parque, espacios públicos y vialidad colindante. El plazo para la ejecución de la Primera Etapa, será de 5 años, contado desde la publicación del presente decreto.

CAPÍTULO VI: CONTROL DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

Artículo 52. La Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones, elaborará en el plazo de un año contado desde la publicación del Plan, una resolución exenta que incorpore la obligatoriedad de contar con una superficie de rodado para vehículos livianos y buses urbanos, que debe evitar la emisión de material particulado al ambiente, esta se exigirá a terminales de transporte público, depósitos de vehículos y recintos ajenos a la vía pública. Esta medida deberá implementarse en un 30% al tercer año contado desde la publicación del Plan en el Diario Oficial y

en un 100% antes del quinto año.

Artículo 53. Se dictará dentro del primer año de vigencia de plan, una Resolución Exenta complementaria a la Resolución Exenta N° 75 de 1987 del Ministerio de Transportes y telecomunicaciones que establece las condiciones de Transporte de cargas. Esta Resolución complementaria tendrá como referencia la obligatoriedad de encarpado para los camiones que transporten áridos de todo tipo, escombros y residuos de construcciones que circulen en áreas urbanas, esta medida aplicará al segundo año desde la publicación en el Diario Oficial, fundamentada en el Plan de Descontaminación atmosférico de la comuna de Calama.

Artículo 54. El Gobierno Regional de Antofagasta, en coordinación con la SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones y el SEREMI de Vivienda y Urbanismo, desarrollará un Plan de Movilidad Urbana Sustentable, en ámbitos de, transporte público, bicicleta y caminata, comprometiendo un Plan Plurianual de Inversión, que deberá estar terminado el 31 de diciembre del año 2020.

En este Plan de movilidad urbana sustentable se modificarán las actuales bases de los Programas de Renovación de Flota de Transporte público en el perímetro de exclusión de Calama, fomentado la incorporación de tecnologías para la reducción de emisiones. En el caso que el reemplazo se realice con buses usados, deberán acreditar una antigüedad inferior a 5 años.

Artículo 55. La SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones incorporará en las bases técnicas de la próxima licitación de las nuevas concesiones de Plantas de Revisión Técnica, la exigencia de implementar las fases del ASM (Acceleration Simulation Mode).

Artículo 56. A partir del segundo año contado desde la entrada en vigencia del Plan, la SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones incorporará en las medidas de ordenamiento, gestión y mejoras tecnológicas del transporte público de la comuna sujeta al Plan, exigencias orientadas a reducir las emisiones de partículas y gases provenientes del sistema de transporte público. Dentro de estas mejoras de tecnología se dará priorización al transporte eléctrico.

Artículo 57. La SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones aumentará en 33% la cobertura de los controles de opacidad del parque operativo de buses urbanos de la zona sujeta al Plan a partir del mes 24, contado desde la entrada en vigencia del presente decreto.

Artículo 58. En un plazo de 18 meses, contado desde la publicación del presente decreto, la SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones implementará un Plan de Gestión Integral del Transporte Urbano para la zona sujeta al plan, para mejorar las velocidades de circulación de los vehículos y consecuentemente a disminuir las emisiones de partículas y gases en los proyectos de transporte público.

CAPÍTULO VII: CONTROL DE EMISIONES DE QUEMAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES.

Artículo 59. CONAF elaborará y mantendrá disponible un catastro de quemas agrícolas y forestales, indicando fecha y hora, en función de la información que el interesado de la quema controlada le indique, de acuerdo a lo señalado en el D.S. N°276, de 1980, del Ministerio de Agricultura, Reglamento sobre roce a fuego, de modo tal de mejorar futuros estudios relacionados con inventarios de emisiones de la zona saturada.

Artículo 60. Todos los años CONAF elaborará un calendario de quemas, el que tendrá un carácter participativo y se considerarán las observaciones o restricciones que se indiquen. Además, se efectuará difusión de dicho calendario que permita mantener informada a la comunidad, durante el período de implementación del Plan.

CAPÍTULO VIII: COMPENSACIÓN DE EMISIONES

Artículo 61. Desde la entrada en vigencia del presente Plan, todos aquellos proyectos o actividades nuevas y la modificación de aquellos existentes que se sometan o deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán compensar sus emisiones totales anuales, directas o indirectas, que impliquen un aumento sobre la situación base, en valores iguales o superiores a los que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 17: Valores que determinan la obligación de compensar emisiones

Contaminante	Emisión (ton/año)
MP ₁₀	10
MP _{2,5}	5
SO ₂	50

Se entiende por situación base todas aquellas emisiones atmosféricas existentes en la zona saturada, previo al ingreso del proyecto o actividad al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

La compensación de emisiones será de un 120% para el o los contaminantes en los cuales se iguale o sobrepase el valor referido en la tabla precedente.

Para efectos del presente Capítulo, se entenderá por:

- a) Emisiones directas: aquellas que se emiten dentro del predio o terreno donde se desarrolle la actividad, asociadas a la fase de construcción, operación o cierre.
- b) Emisiones indirectas: las que se generan exclusivamente para el desarrollo de la actividad, pero fuera del predio, como por ejemplo las emisiones generadas por la circulación de vehículos tanto livianos como pesados que ingresan insumos, o retiran residuos del predio, entre otros.

Artículo 62. Para efectos de lo dispuesto en este capítulo, los proyectos o actividades y sus modificaciones, que se sometan o deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y que deban compensar sus emisiones, deberán presentar al ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental la estimación de sus emisiones de contaminantes a la atmósfera (al menos para MP_{10} , $MP_{2,5}$, SO_2); la metodología utilizada; y un anexo con la memoria de cálculo.

Estos proyectos o actividades, en el marco de la evaluación ambiental, deberán presentar un programa preliminar de compensación de emisiones, cuyo contenido será al menos el siguiente:

- a) Estimación anual de las emisiones del proyecto en la fase de construcción, operación y cierre, señalando año y etapa a compensar en que se prevé se superará el umbral indicado en la Tabla 17 para los contaminantes que correspondan.
- b) Las medidas de compensación, que deberán cumplir los siguientes criterios:
 - i. Medibles, esto es, que permitan cuantificar la reducción de las emisiones que se produzca a consecuencia de ellas.
 - ii. Verificables, esto es, que generen una reducción de emisiones que se pueda cuantificar con posterioridad a su implementación.
 - iii. Adicionales, entendiendo por tal que las medidas propuestas no respondan a otras obligaciones a que esté sujeto el titular, o bien, que no correspondan a una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o particulares.
 - iv. Permanentes, entendiendo por tal que la rebaja permanezca por el período en que el proyecto está obligado a reducir emisiones.
- c) Forma, oportunidad y ubicación en coordenadas WGS84, de su implementación, con un indicador de cumplimiento del programa de compensación.
- d) Carta Gantt, que considere todas las etapas para la implementación de la compensación de emisiones y la periodicidad con que informará a la Superintendencia del Medio Ambiente sobre el estado de avance de las actividades comprometidas.

Artículo 63. Consideraciones generales para el sistema de compensación de emisiones:

- i. Sólo se podrán compensar o ceder emisiones entre aquellas fuentes que demuestren cumplir con uno de los siguientes requisitos:
 - a. Realizar la compensación entre fuentes o actividades con combustión; o
 - b. Realizar la compensación entre una fuente con

combustión, que cede emisiones a una fuente o actividad sin combustión, pero no viceversa; o

c. Realizar la compensación entre fuentes o actividades sin combustión.

- ii. En ningún caso podrá hacer valer emisiones cedidas por actividades o establecimientos que cierren o deban cerrar por incumplimiento de normativa ambiental, o por término de vida útil.
- iii. Las actividades emisoras que reduzcan emisiones para cumplir con las medidas exigidas en el presente Plan, sólo podrán compensar o ceder emisiones por reducciones adicionales a la exigencia legal o reglamentaria, y siempre y cuando sea acreditable su implementación de manera permanente.
- iv. Las compensaciones podrán realizarse entre diversos tipos de fuentes, actividades y sectores económicos, siempre y cuando cumplan con los criterios anteriores.

Los proyectos evaluados que sean aprobados con exigencias de compensación de emisiones, sólo podrán dar inicio a la ejecución del proyecto o actividades al contar con la aprobación del respectivo Plan de Compensación de Emisiones por parte de la SEREMI del Medio Ambiente.

La SEREMI del Medio Ambiente dispondrá de un plazo máximo de 2 meses para revisar el programa de compensación de emisiones, el que será aprobado o rechazado mediante resolución. Si hubiese observaciones por parte del SEREMI del Medio Ambiente, éstas deberán ser subsanadas en el plazo de 20 días hábiles contados desde su recepción. En caso de no ser subsanadas las observaciones dentro de dicho plazo, se tendrá por no presentado el plan aludido. Una vez aprobado dicho programa, éste deberá ser fiscalizado por la Superintendencia del Medio Ambiente, considerando los plazos estipulados en la Carta Gantt a partir de la fecha de notificación de la resolución que lo aprueba, la que deberá ser publicada en la página web de la SEREMI del Medio Ambiente.

Las condiciones mencionadas en relación con la compensación de emisiones no sustituirán las exigencias impuestas en otras normativas vigentes en la zona sujeta al plan.

Artículo 64. Los límites de emisión máxima permitida establecidos en los artículos 17, 18, 19 y 20, podrán ser acreditados mediante reducción de emisiones en las propias fuentes reguladas o mediante compensación de emisiones en la zona urbana de Calama.

Como un mecanismo para promover la reducción de emisiones en la zona urbana de Calama, la Seremi de Medio Ambiente establecerá mediante resolución, una proporción entre reducciones al interior de la zona urbana de Calama y las emisiones fuera de la zona urbana de Calama.

CAPÍTULO IX: SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE, PROGRAMA DE DIFUSIÓN Y DE EDUCACIÓN AMBIENTAL

Artículo 65. A partir de la entrada en vigencia del presente Plan, la Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco Chile deberá entregar la supervisión de las estaciones de monitoreo con representatividad poblacional al Ministerio del Medio Ambiente, para velar por su correcto funcionamiento y entrega oportuna de información a la ciudadanía y los órganos fiscalizadores.

Dentro del plazo de 12 meses contado desde la entrada en vigencia del presente Plan, la SEREMI del Medio Ambiente, elaborará los estudios orientados al rediseño y modernización de la red de monitoreo de calidad del aire de la zona cubierta por el Plan.

El objetivo del rediseño de la red debe contemplar el monitoreo de los contaminantes normados, la composición química del material particulado, en particular Arsénico y Plomo y la medición meteorológica, lo que se especificará en el estudio señalado.

La SEREMI del Medio Ambiente determinará, en el plazo de 6 meses contado desde la finalización del estudio señalado, las acciones necesarias para implementar la nueva red de monitoreo de la calidad del aire, la que será oficializada mediante resolución del Ministerio del Medio Ambiente.

En la evaluación ambiental de proyectos o actividades emplazadas en la zona saturada, la SEREMI del Medio Ambiente respectiva deberá incluir en su pronunciamiento como órgano de la administración del Estado con competencia ambiental, aquellas exigencias de monitoreo de calidad del aire que deban cumplir los proponentes.

Artículo 66. Corresponderá a la SEREMI del Medio Ambiente, actualizar cada año del inventario de emisiones de la ciudad de Calama y su área circundante, en específico, para las fuentes industriales asociadas a la minería que representan el 98% de las emisiones de MP_{10} , $MP_{2,5}$, SO_2 y NO_x , en función de lo reportado por la Superintendencia del Medio Ambiente y cada 5 años deberá actualizar el inventario de emisiones de todas las fuentes emisoras sujetas a este Plan.

Artículo 67. La SEREMI del Medio Ambiente deberá implementar una plataforma de información a la ciudadanía, en el plazo de 6 meses contado desde la publicación del presente decreto, que contenga al menos los siguientes parámetros:

- a) Monitoreo de calidad del aire en línea.
- b) Monitoreo de emisiones atmosféricas en línea (CEMS).

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire y de emisiones en chimenea deben permitir el acceso a los datos en base horaria. Para tal efecto, cada establecimiento que tenga o deba implementar un sistema de monitoreo continuo de emisiones deberá proporcionar

la información pertinente conforme a los requerimientos que le efectúe el Ministerio del Medio Ambiente.

Artículo 68. La SEREMI del Medio Ambiente, en un plazo de tres meses a partir de la entrada en vigencia del Plan, elaborará un programa de involucramiento comunitario y educación ambiental en el cual se deberá informar a la ciudadanía lo siguiente:

- Los avances respecto al cumplimiento del Plan. Esta actividad se realizará de modo posterior a la entrega del informe que dé cuenta de la fiscalización al Plan y que la SMA debe remitir anualmente, conforme al artículo 71.
- La SEREMI del Medio Ambiente realizará capacitaciones de calidad del aire a establecimientos educacionales que cuenten con certificación ambiental del Ministerio del Medio Ambiente, en alguno de sus niveles.
- La SEREMI del Medio Ambiente fortalecerá la difusión del Fondo de Protección Ambiental en la ciudad de Calama, con énfasis en levantar iniciativas que contribuyan a mejorar la calidad del aire de la ciudad.

Artículo 69. La SEREMI de Salud elaborará un mecanismo de coordinación con redes asistenciales para evaluar una intervención con la comunidad en términos de educación sanitaria, al menos una vez al año.

CAPÍTULO X: FISCALIZACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL PLAN

Artículo 70. La fiscalización y verificación del permanente cumplimiento de las medidas que establezca el presente Plan, será efectuada por la Superintendencia del Medio Ambiente, de conformidad a su ley orgánica contenida en el artículo segundo de la Ley N°20.417, y sin perjuicio de las atribuciones de los organismos sectoriales que participan en la implementación del Plan.

Para dicho efecto, la Superintendencia del Medio Ambiente destinará en el plazo de tres meses contado desde la publicación del presente decreto, a 2 fiscalizadores con dedicación exclusiva para la fiscalización de las medidas contempladas en el presente Plan.

Además, la Seremi del Medio Ambiente destinará en el plazo de tres meses contado desde la publicación del presente decreto, a 1 funcionario con dedicación exclusiva para el seguimiento de las medidas contempladas en el presente Plan.

Artículo 71. La Superintendencia del Medio Ambiente deberá publicar al 31 marzo de cada año la siguiente información en su sitio electrónico:

- a) Informe de cumplimiento e implementación de las medidas establecidas en el presente decreto.
- b) Informe de cumplimiento de las normas de calidad del aire.

- c) Reporte de las actividades de fiscalización realizadas en la zona sujeta al Plan.

La Superintendencia del Medio Ambiente estará encargada de la verificación del estado de avance de las medidas del Plan. En virtud de lo anterior, los servicios públicos deberán informar en la forma y plazos que dicha Superintendencia establezca para este propósito.

La Superintendencia del Medio Ambiente remitirá anualmente un informe de avance de las medidas del plan a la SEREMI del Medio Ambiente y al Ministerio del Medio Ambiente, dando cuenta de su implementación y actividades asociadas.

CAPÍTULO XI: VIGENCIA Y OTROS

Artículo 72. El presente decreto entrará en vigencia el día de su publicación en el Diario Oficial.

2.- Sométase a consulta pública el presente Anteproyecto de Plan de Descontaminación. Para tales efectos:

- a. Remítase copia de la presente Resolución y del expediente respectivo, en forma digital, al Consejo Consultivo del Ministerio del Medio Ambiente y al Consejo Consultivo Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta a efectos que emitan su opinión sobre el anteproyecto aludido anteriormente. Dichos Consejos dispondrán de 60 días hábiles para emitir su opinión, contados desde la recepción de la copia del anteproyecto y su expediente.
- b. Dentro del plazo de 60 días hábiles contados desde la publicación en el Diario Oficial del extracto de la presente resolución, cualquier persona natural o jurídica podrá formular observaciones al Anteproyecto de Plan en el marco del proceso de Consulta Pública. Las observaciones deberán ser fundadas y presentadas a través de la plataforma electrónica: <http://epac.mma.gob.cl>; o bien, por escrito en el Ministerio del Medio Ambiente o en la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de Antofagasta.
- c. El texto del Anteproyecto del Plan estará publicado en forma íntegra en el mencionado sitio electrónico, así como su expediente y documentación, toda la cual también se encontrará disponible para consulta en las oficinas de la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, ubicada en Avenida José Miguel Carrera 1701, piso 3, Antofagasta.
- d. Publíquese el texto del anteproyecto del Plan en forma íntegra en el sitio electrónico del Ministerio del Medio Ambiente y en extracto en el Diario Oficial.

Anótese, publíquese, comuníquese y archívese.



CAROLINA SCHMIDT ZALDÍVAR
MINISTRA DEL MEDIO AMBIENTE


CRF/RMG/EMR

Distribución:

Gabinete Ministerial

Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de Antofagasta

Consejo Consultivo Nacional

Consejo Consultivo Regional de Antofagasta

División Jurídica

División de Calidad del Aire

División de Información y Economía Ambiental

División de Educación Ambiental

Oficina de Partes del Ministerio del Medio Ambiente

Expediente del Plan

Archivo.



ANEXO N° 1.2. INFORME MODELACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

**PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO REFUNDIDO 07-10-2020
(PdC Refundido 07-10-2020)**

ROL D-031-2020

**GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE
RECIMAT**

OCTUBRE 2020

INFORME MODELACION DE DISPERSION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

"PROYECTO COMPLEMENTO MODULO RAM"

RECICLADORA AMBIENTAL LTDA.

Noviembre del 2016

UASvision Ingeniería	
Jefe de Área Ambiental	Christian Apablaza Santis Ingeniero de Ejecución Ambiental.
Gestor de Proyecto	Daniel Tapia Herrera Ph.D., M.Sc. en Ecología.

1 **Tabla de contenido**

1	INTRODUCCION	7
1.1	Alcance del estudio	7
2	FUNDAMENTO TEORICO	8
2.1	Modelos de dispersión de Contaminantes Atmosféricos.	8
2.1.1	Modelos Gaussianos.....	9
2.1.2	Modelos Eulerianos.	9
2.1.3	Modelos Lagrangianos.....	10
2.2	Sistema de Modelación WRF-CALPUFF.....	10
	METEOROLOGIA Y CLIMA.....	11
2.3	Descripción Climática.	12
2.4	Climatología Local de Calama.	13
2.5	Análisis Meteorológico.	14
2.5.1	Análisis de las Variables Meteorológicas.	16
2.6	Meteorología año base 2014.....	21
2.6.1	Velocidad del Viento.....	21
2.6.2	Dirección de viento.....	23
2.6.3	Temperatura.....	23
3	ANALISIS DE CALIDAD DEL AIRE.....	25
3.1	Material particulado fino respirable de diámetro aerodinámico de hasta 10 μm (PM10). 26	
3.2	Material particulado fino respirable de diámetro aerodinámico de hasta 2.5 μm (PM2.5) 28	
3.3	Gases (CO, NO ₂ y SO ₂).....	30
3.4	SO ₂ para Norma Secundaria D.S. 22/2010	30
3.5	Análisis de la modelación meteorológica WRF.	31
3.5.1	Dominio de la Modelación.....	32
3.5.2	Evaluación de la modelación meteorológica.	32
3.6	Análisis de incertidumbre de la modelación meteorológica.....	42
3.6.1	Bondad de Ajuste de modelación Meteorológica.....	42
3.6.2	Análisis de Incertidumbre	43
4	INFORMACIÓN INGRESADA AL MODELO	46
4.1.1	Fuentes y Emisiones	46
5	RESULTADOS	48

5.1	Material Particulado Respirable (PM10).....	50
5.1.1	Concentración 24 horas.....	50
5.1.2	Concentración Anual	53
5.1.3	Puntos de Máximo Impacto.....	53
5.1.4	Ciclo diario del aporte de PM10	54
5.2	Dióxido de Azufre (SO ₂)	54
5.2.1	Concentración 24 horas.....	54
5.2.2	Concentración Anual	57
5.2.3	Concentración 1 hora	58
5.2.4	Puntos de Máximo Impacto.....	58
5.2.5	Ciclo diario del aporte de SO ₂	60
5.3	PLOMO (Pb).....	61
5.3.1	Concentración Anual (Pb)	61
5.3.2	Puntos de Máximo Impacto.....	64
5.3.3	Ciclo Diario de Pb.....	65
6	Conclusiones	65

Índice de Ilustración

Ilustración 1 Plano de referencia ubicación de Planta RAM, Loteo Puerto Seco, Calama.	7
Ilustración 2 Modelos de calidad de aire.	8
Ilustración 3 Diagrama de un modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes atmosféricos.	9
Ilustración 4 Ubicación referencial del Proyecto.	11
Ilustración 5 Caracterización de clima. Fuente: Mapas de Chile.	13
Ilustración 6 Imagen de información general de Estación Colegio Pedro Vergara Keller. Fuente: www.sinca.cl	15
Ilustración 7 Ubicación referencial de estación Meteorológica Colegio Pedro Vergara Keller. Fuente: Imagen Google Earth 02-2015.	16
Ilustración 8 Ciclo diario de la velocidad del viento para los años 2013, 2014 y 2015.	18
Ilustración 9 Comparación de la distribución mensual de la velocidad del viento.	18
Ilustración 10 Ciclo diario de temperatura para los años 2013, 2014 y 2015.	19
Ilustración 11 Comparación de la distribución mensual de la temperatura para los años 2013, 2014 y 2015.	19
Ilustración 12 Rosa de vientos año 2013.	20
Ilustración 13 Rosa de vientos año 2014.	20
Ilustración 14 Rosa de vientos año 2015.	21
Ilustración 15 Perfil Horario de velocidad de viento para la estación Pedro Vergara Keller, año 2014.	22
Ilustración 16 Perfil horario mensual de velocidad de viento para estación Pedro Vergara Keller, año 2014.	22
Ilustración 17 Ciclo diario de Dirección de Viento.	23
Ilustración 18 Perfil Horario de temperatura, estación Pedro Vergara Keller, año 2014.	24
Ilustración 19 Perfil mensual-horario de la temperatura, estación Pedro Vergara Keller, Año 2014.	24
Ilustración 20 Serie de tiempo, promedio diario PM10, periodo 2013 - 2015, estación Centro de Calama.	27
Ilustración 21 Serie de tiempo, promedio diario PM10, periodo 2013 - 2015, estación Colegio Pedro Vergara Keller.	27
Ilustración 22 Serie de tiempo de concentraciones diarias de PM2.5, estación Centro de Calama.	29
Ilustración 23 Serie de tiempo de concentraciones diarias de PM2.5, estación Colegio Pedro Vergara Keller.	29
Ilustración 24 Dominio de la modelación. Fuente: Elaboración propia.	32
Ilustración 25 Perfil horario y mensual de las dirección y velocidad del viento a) observada y b) modelada por WRF, para el punto estación Colegio Pedro Vergara Keller, año 2014.	33
Ilustración 26 Frecuencias de las direcciones de viento a nivel diario de la estación Colegio Pedro Vergara Keller (Observada en la parte superior, y modelada en WRF en la parte inferior), año 2014.	34
Ilustración 27 Ciclo diario de la temperatura (°C). Datos observados en el gráfico superior y datos modelados en el gráfico inferior.	35
Ilustración 28 Ciclo diario y estacionario de la temperatura (Observado en el gráfico superior y modelado en inferior).	36

Ilustración 29 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 10 (m) sobre superficie.	37
Ilustración 30 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 30 (m) sobre superficie.	38
Ilustración 31 Campo de vientos y temperatura obtenida del modelo WRF: 60 (m) sobre superficie.	38
Ilustración 32 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 120 (m) sobre superficie.	39
Ilustración 33 Campo de vientos y temperatura obtenida del modelo WRF: 240 (m) sobre superficie.	39
Ilustración 34 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 480 (m) sobre superficie.	40
Ilustración 35 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 920 (m) sobre superficie.	40
Ilustración 36 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 1600 (m) sobre superficie.	41
Ilustración 37 Campo de Vientos y Temperatura obtenida del modelo WRF. 2500 (m) sobre superficie.	41
Ilustración 38 Receptores discretos de la ciudad de Calama.	44
Ilustración 39 Grilla de receptores.	44
Ilustración 40 Representación de las fuentes fijas modeladas (existente y proyectada) de la planta RAM.	47
Ilustración 41 Concentración 24 horas PM ₁₀ – Estación Centro.	50
Ilustración 42 Concentración 24 horas PM ₁₀ – Estación Colegio Pedro Vergara Keller.	51
Ilustración 43 Concentración 24 horas PM ₁₀ – Chiu Chiu.	51
Ilustración 44 Concentración 24 horas PM ₁₀ – Estación Chuquicamata.	51
Ilustración 45 Concentración 24 horas PM ₁₀ – Escuela Kamac Mayu.	52
Ilustración 46 Concentración 24 horas PM ₁₀ – Hospital del Cobre.	52
Ilustración 47 Ciclo diario del aporte de PM ₁₀ en receptores discretos.	54
Ilustración 48 Concentración 24 horas SO ₂ – Estación Centro.	55
Ilustración 49 Concentración 24 horas SO ₂ – Estación Colegio Pedro Vergara Keller.	56
Ilustración 50 Concentración 24 horas SO ₂ – Chiu Chiu.	56
Ilustración 51 Concentración 24 horas SO ₂ – Chuquicamata.	56
Ilustración 52 Concentración 24 horas SO ₂ – Escuela Kamac Mayu.	57
Ilustración 53 Concentración 24 horas SO ₂ - Hospital del Cobre.	57
Ilustración 54 Plano de ubicación de los puntos de mayor impacto (PMI) de SO ₂ .	60
Ilustración 55 Ciclo diario del aporte de SO ₂ en receptores discretos.	60
Ilustración 56 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Estación Centro.	61
Ilustración 57 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Estación Colegio Pedro Vergara Keller.	62
Ilustración 58 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Chiu Chiu.	62
Ilustración 59 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Chuquicamata.	63
Ilustración 60 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Estación Escuela Kamac Mayu.	63
Ilustración 61 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Hospital del Cobre.	64

Ilustración 62 Ciclo diario del aporte de Pb en receptores discretos.	65
--	----

Índice de Tablas

Tabla 1 Localización y variables meteorológicas a medir.	14
Tabla 2 Periodo de medición de variables, estación meteorológica Colegio Pedro V. Keller.	15
Tabla 3 Comparación estadística de variables meteorológicas según año. Estación Colegio Pedro Vergara Keller.	17
Tabla 4 Localización de estaciones de calidad del aire consideradas para línea de base.	25
Tabla 5 Resumen de la estación de calidad del aire Centro de Calama.	26
Tabla 6 Resumen de la estación de calidad del aire Colegio Pedro Vergara Keller.	26
Tabla 7 Percentil 98 y media aritmética anual PM _{2.5} (µg/m ³), estación Centro de Calama.	28
Tabla 8 Percentil 98 y media aritmética anual PM _{2.5} (µg/m ³), estación Colegio Pedro Vergara Keller.	28
Tabla 9 Estadígrafo de gases, año 2013- 2015, estación Centro de Calama.	30
Tabla 10 Estadígrafo de SO ₂ , año 2013- 2015, para Norma Secundaria.	30
Tabla 11 Parámetros geoespaciales del modelo meteorológico WRF.	31
Tabla 12 Receptores discretos o de interés evaluados en la modelación (coordenadas UTM, WGS84 y HUSO 19).	43
Tabla 13 Estadígrafos meteorológicos observados y modelados del Colegio Pedro Vergara Keller.	45
Tabla 14 Características físicas y operacionales Chimenea del Horno N°1 RAM.	46
Tabla 15 Resumen de las emisiones de contaminantes atmosféricas modeladas.	47
Tabla 16 Proyectos sumados a la línea de base construida a partir del receptor Estación Centro.	49
Tabla 17 Proyectos sumados a la línea de base construida a partir del receptor Colegio Pedro Vergara Keller.	49
Tabla 18 Concentración PM ₁₀ , 24 horas, Percentil 98.	50
Tabla 19 Concentración Anual PM ₁₀ - Aporte de ambas chimeneas de hornos RAM.	53
Tabla 20 Aporte de PM ₁₀ en Puntos de Máximo Impacto (PMI).	53
Tabla 21 Concentración SO ₂ , 24 horas, Percentil 99 (Norma Primaria).	55
Tabla 22 Concentración SO ₂ , 24 horas, Percentil 99,7 (Norma Secundaria).	55
Tabla 23 Concentración Anual SO ₂ - Aporte ambos chimeneas RAM. (Norma Primaria y Secundaria)	58
Tabla 24 Concentración 1 hora SO ₂ - Aporte ambas chimeneas RAM.	58
Tabla 25 Punto de Máximo Impacto (PMI) en la Norma Primaria de SO ₂	59
Tabla 26 Punto de Máximo Impacto (PMI) Norma Secundaria de SO ₂	59
Tabla 27 Concentración Pb anual en receptores discretos.	61
Tabla 28 Aporte de Pb en Puntos de Máximo Impacto (PMI).	64

1 INTRODUCCION

La planta de la empresa Recicladora Ambiental, RAM Ltda., se encuentra emplazada en la salida Noreste de Calama a un costado de la Ruta 21, específicamente en el Barrio Industrial del Loteo Puerto Seco, Lote 2-Calama, Región de Antofagasta.



Ilustración 1 Plano de referencia ubicación de Planta RAM, Loteo Puerto Seco, Calama.

1.1 Alcance del estudio

La empresa Recicladora Ambiental Ltda. (en adelante RAM), se dedica a tratar residuos plomados tales como baterías de plomo-ácido fuera de uso, borras plomadas y chatarra anódica, que se generan en todo el país. La empresa cuenta con una red logística que le permite transportar este residuo hasta la planta recicladora, teniendo esta una capacidad de tratamiento de 2.680 ton/mes de compuestos plomados en un horno de fundición. RAM necesita ampliar su capacidad de tratamiento hasta 5.360 ton/mes, y, puesto que el proceso de tratamiento implica la fundición de plomo, la planta requiere de la instalación de un segundo horno rotatorio, el cual será de las mismas dimensiones que el horno actualmente en funcionamiento, junto con los mismos sistemas de abatimiento (Filtro de Manga y Scrubber). Por lo tanto, dicha ampliación implica que el proyecto deba ingresar obligatoriamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, a través de una Declaración de Impacto Ambiental.

En este contexto, RAM ha solicitado a UASVISION SpA., la modelación de la dispersión de sus contaminantes a la atmosfera provenientes de la fuente fija existente y aquella en evaluación. El objetivo de la modelación para RAM es entregar las herramientas de juicio para determinar si su

proyecto representa un riesgo para la salud de las personas, o causa un impacto significativo en el medio ambiente.

2 FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Modelos de dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

Según el Anexo 1 “Fundamentos de la Contaminación Atmosférica” de la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” del Servicio de Impacto Ambiental (SEA), los modelos de dispersión atmosférica son frecuentemente utilizados para estimar concentraciones ambientales de contaminantes producto de la emisión a la atmósfera desde fuentes fijas, móviles o difusas, bajo condiciones desfavorables.

La aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, como herramienta de gestión ambiental, y específicamente como herramienta de evaluación de impacto ambiental, se encuentra limitada a lo exigido por la legislación ambiental nacional. Los modelos numéricos de calidad del aire son herramientas matemáticas destinadas a simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes cuando se dispersan o reaccionan en la atmósfera. Se basan en datos meteorológicos, topográficos, tasas de emisión de los contaminantes desde su origen y las características físicas de la fuente. Los modelos de dispersión tienen como objetivo fundamental caracterizar el movimiento de los contaminantes atmosféricos primarios, que una vez emitidos ingresan directamente a la atmósfera y, en algunos casos, contaminantes secundarios que se forman como resultado de reacciones complejas.

Los modelos matemáticos de calidad del aire pueden ser agrupados en modelos Deterministas y modelos Probabilísticos o estadísticos. Los modelos de dispersión existentes se enmarcan dentro de los modelos deterministas y se agrupan en Gaussianos, Eulerianos, Lagrangeanos y de tipo “puff” cuyos conceptos se describen a continuación.

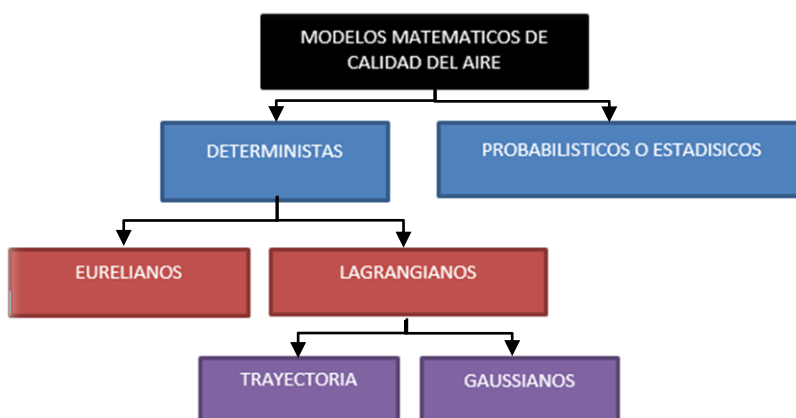


Ilustración 2 Modelos de calidad de aire.

2.1.1 Modelos Gaussianos.

Los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos de tipo Gaussiano, describen la distribución tridimensional de una pluma bajo condiciones meteorológicas y de emisiones estacionarias. La ecuación de distribución gaussiana usa cálculos determinados por un sistema de coordenadas cartesianas que definen la dispersión de la pluma, donde x representa la dirección del viento, z la altura, e y la dirección perpendicular al viento. Esta ecuación determina las concentraciones de contaminantes a partir de una altura de chimenea, sobre la base de condiciones estacionarias, con emisiones y variables atmosféricas constantes, y vientos homogéneos. Por lo tanto, no es posible obtener un escenario completamente realista bajo condiciones de alta variabilidad atmosférica y topografía compleja. Aunque existen modelos Gaussianos que tratan de incluir el efecto del terreno complejo en la distribución espacial de concentraciones, sus conceptos matemáticos son fundamentalmente iguales a aquellos modelos que no lo hacen.

Modelos existentes: AERMOD

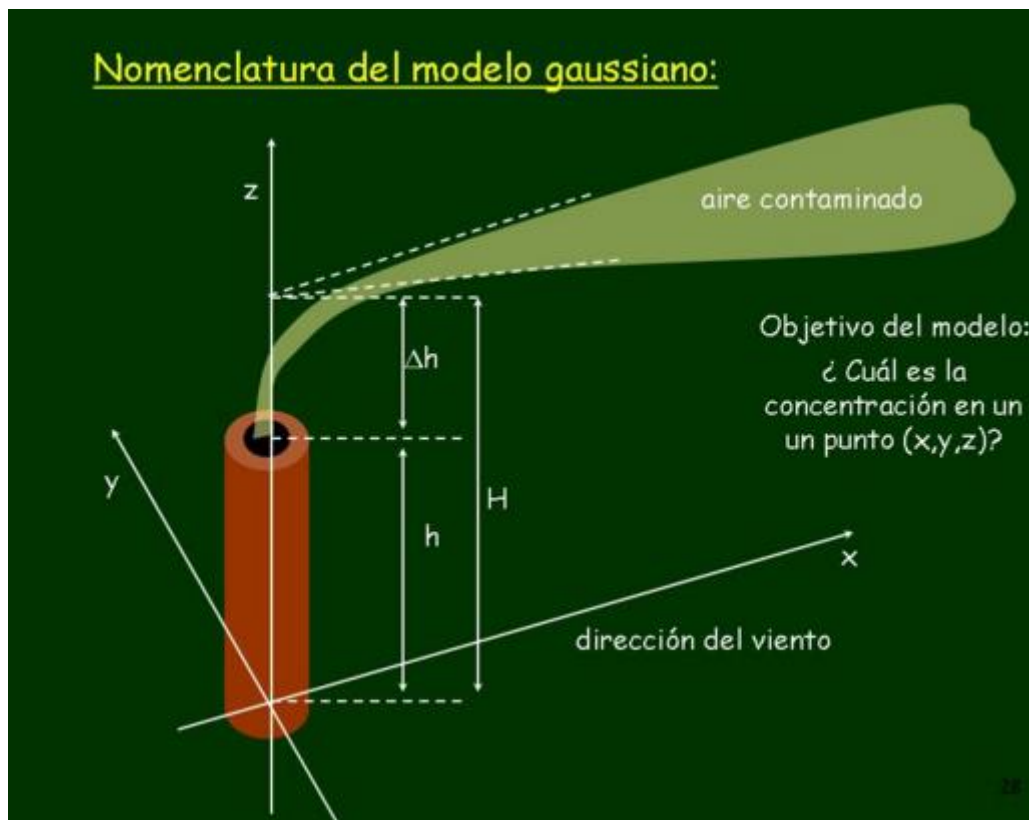


Ilustración 3 Diagrama de un modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes atmosféricos.

2.1.2 Modelos Eulerianos.

Según la Guía uso de modelos de calidad del aire del SEIA, los modelos Eulerianos apuntan a incorporar todos los procesos atmosféricos relacionados a la dispersión de contaminantes y su transformación química. Con este fin, estos modelos traducen las leyes físicas y químicas relevantes a ecuaciones matemáticas que son en su gran mayoría de tipo diferencial.

Otra característica de estos modelos es que discretizan el espacio en forma de una grilla (o malla) tridimensional definida por puntos con un determinado espaciamiento horizontal y vertical, el que se denomina resolución espacial de la grilla. El modelo integra las ecuaciones matemáticas en el tiempo en cada uno de los puntos de la grilla, generándose la información de la evolución temporal de las concentraciones en las tres dimensiones de la grilla. Existen distintos grados de complejidad en los modelos Eulerianos en términos de la representación de procesos, desde modelos que consideran sólo la dispersión, hasta modelos que incluyen todos los procesos fotoquímicos y de aerosoles.

Ejemplos de modelo Euleriano: WRF-Chem, CAMx y CMAQ.

2.1.3 Modelos Lagrangianos.

En los modelos lagrangianos, los contaminantes están representados por elementos de tamaño diverso (nubes, segmentos o partículas), que son transportados y dispersados por el viento de una forma independiente. Existen diversos sub-tipos:

- Modelos de penacho segmentado, que dividen los penachos de contaminantes en segmentos.
- “*Lagrangian Gaussian puff models*” (modelos de nubes gaussianas, o de tipo *puff*) que consideran un conjunto de nubes, las cuales presentan una distribución de la contaminación en su interior de tipo gaussiano.

Dentro de este último grupo se tiene el modelo CALPUFF, el cual será el modelo utilizado para la simulación de este proyecto.

2.2 Sistema de Modelación WRF-CALPUFF

El modelo utilizado para determinar el efecto que tendrán las emisiones de material particulado y gases provenientes de la operación del Proyecto, corresponde al sistema de modelación “WRF-CALPUFF” tal como se recomienda en el Anexo 1 “Fundamentos de la Contaminación Atmosférica” de la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” del Servicio de Impacto Ambiental (SEA).

En términos simples, WRF (Weather Research Forecast) es un modelo de pronóstico meteorológico que simula campos de viento y temperatura en un dominio de modelación engrillado y tridimensional. WRF también produce campos en dos dimensiones como altura de mezcla, características de superficie y propiedades de dispersión. Por otra parte, CALPUFF es un modelo que

trata las emisiones como “puffs”, que se van desplazando a través de un campo meteorológico tridimensional. El sistema de modelación CALPUFF incluye dos componentes principales: WRF y CALPUFF, además de una larga selección de preprocesadores diseñados para incluir en el modelo datos meteorológicos y geofísicos, con el objetivo de modelar el transporte y dispersión de contaminantes emitidos por las fuentes emisoras ("puffs"). La salida primaria de este modelo contiene concentraciones y/o flujos de deposición.



Ilustración 4 Ubicación referencial del Proyecto.

METEOROLOGIA Y CLIMA

2.3 Descripción Climática.

El Proyecto se ubica en la unidad geográfica denominada Norte Grande, cuya característica climática es la extrema aridez que se manifiesta especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas intermontañas. La cercanía del mar y las alturas del interior contribuyen a crear variaciones climáticas dispuestas en franjas longitudinales. Los cuatro subtipos climáticos, localizados en estas franjas que van de mar a cordillera, son el clima desértico con nublados abundantes, desértico Normal, Desértico frío, y de Tundra de Altura (ver Ilustración 5).

En la franja litoral de la Región de Antofagasta predomina un clima desértico con nubosidad abundante, donde se hace sentir una fuerte influencia del Anticiclón del Pacífico con predominio de los vientos del Sur-oeste, generando una gran estabilidad atmosférica que, por subsidencia, inhibe las precipitaciones. Éstas se presentan en forma muy esporádica, no superando los 3 mm anuales como promedio, en el segmento septentrional y hasta más al Sur de Tocopilla. La presencia del mar produce una moderada amplitud térmica anual y alta humedad. Por otra parte, las horas efectivas de sol varían entre 9,8 y 4,7 entre verano e invierno.

En el sector de Los Andes, bajo los 3.000 m.s.n.m., la aridez se atenúa debido a la ocurrencia de lluvias, las que suelen ser muy irregulares de un año a otro. En el Norte Grande, las precipitaciones presentan valores anuales cercanos a 100 mm a 2.800 m.s.n.m., y a 50 mm a 1.600 m.s.n.m., concentrándose preferentemente en el período de verano. Por otro lado, al noreste de la ciudad de Antofagasta se sitúa la Pampa del Tamarugal, las depresiones endorreicas que la prolongan hacia el sur constituyen los sectores más áridos del Desierto de Atacama y de América del Sur. En este sector predomina, a lo largo de todo el año, una atmósfera transparente y una débil humedad del aire, lo que permite un fuerte asoleamiento diurno y una intensa radiación nocturna, con la ausencia de precipitaciones.



Ilustración 5 Caracterización de clima. Fuente: Mapas de Chile.

2.4 Climatología Local de Calama.

La ciudad de Calama, situada entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m., de clima desértico frío con un promedio anual de temperatura de 11,2 °C, registra en sus alrededores temperaturas de -15 °C en invierno y sobre 30 °C en verano.

Sobre los 3.000 m.s.n.m. presenta clima de tundra por las precipitaciones estivales que llegan a la comuna entre noviembre y marzo, las que no sobrepasan los 75 mm.

Calama presenta tres tipos de vientos a lo largo del día: por la mañana el que llega desde la pampa; el que proviene de la cordillera por la tarde, y fuertes ventarrones en la noche.

2.5 Análisis Meteorológico.

En esta sección se detallan las variables meteorológicas, las cuales permiten caracterizar los movimientos y comportamiento de la atmósfera en el área de influencia del Proyecto. Se ha definido el año 2014 como base del análisis por ser el año calendario con data completa de acceso público más cercana a la fecha de ingreso del Proyecto al SEIA, incluyendo además los datos de los años 2013 y 2015. El área de influencia de la componente de calidad del aire del proyecto, corresponde a las zonas donde está emplazada la planta de RAM y las zonas pobladas aledañas, en la ciudad de Calama.

La línea base de meteorología permite caracterizar el comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con el transporte, dispersión, y difusión de los contaminantes atmosféricos. Para esto se grafican las series de tiempo y ciclos estacionales de la velocidad y dirección del viento, y temperatura, así como las rosas de viento que permiten conocer las zonas hacia donde se dirige preferentemente el viento y, por tanto, es un indicador de los movimientos de masas de aire que transportarán las emisiones del proyecto.

Para la caracterización de la meteorología, se utilizaron datos de la estación meteorológica del Colegio Pedro Vergara Keller, que de entre aquellas estaciones comparativamente más cercanas a la planta RAM, es la única con data meteorológica completa y actualizada, y cuyas variables se identifican en la Tabla 1 y la imagen de la Ilustración 6.

Tabla 1 Localización y variables meteorológicas a medir.

SECTOR	ESTACIÓN	COORDENADAS (m) WGS84 – HUSO 19		VARIABLES MEDIDAS					PERIODO DE MEDICION (AÑO)
		ESTE	NORTE	V	D	T	HR	RS	
Calama	Estación Colegio Pedro Vergara Keller	506895	7518221	X	X	X	X		2013-2015

V: Velocidad del viento (m/s) – D: Dirección del viento (grds) – T: Temperatura ambiental (°C) – HR: Humedad Relativa (%) – RS: Radiación Solar (watt/m²)

Estación Colegio Pedro Vergara Keller



Información general	
Propietario	Codelco División Chuquibambilla
Operador	CIMM Tecnologías y Servicios S.A.
Región	de Antofagasta
Provincia	El Loa
Comuna	Calama
Coordenadas UTM	506895 E 7518221 N
Huso horario	19
Recepción de datos	en línea
Inicio de operación reportada	2012-10-12

Ilustración 6 Imagen de información general de Estación Colegio Pedro Vergara Keller. Fuente: www.sinca.cl.

Tabla 2 Periodo de medición de variables, estación meteorológica Colegio Pedro V. Keller.

VARIABLES	AÑOS		
	2013	2014	2015
Velocidad de viento	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic
Dirección de Viento	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic
Temperatura	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic
Humedad Relativa	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic	01 Ene - 31 Dic



Ilustración 7 Ubicación referencial de estación Meteorológica Colegio Pedro Vergara Keller. Fuente: Imagen Google Earth 02-2015.

2.5.1 Análisis de las Variables Meteorológicas.

En este ítem se describe el comportamiento de las variables meteorológicas para el transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos. Además del año base (2014), se incluyen los datos del año 2013 Y 2015 para efectos de estudiar la representatividad del año base.

La Tabla 3 muestra los estadígrafos descriptivos para cada variable medida en la estación Colegio Pedro Vergara Keller de Calama, para los años 2013, 2014 y 2015. De ella se observa que no hay grandes variaciones entre los tres años en las variables meteorológicas registradas. Asimismo, se constata el porcentaje de datos válidos para cada año, los cuales superan el 75% establecido en la guía.

Tabla 3 Comparación estadística de variables meteorológicas según año. Estación Colegio Pedro Vergara Keller.

Variables	Parámetro	Años		
		2013	2014	2015
Velocidad del Viento (m/s)	Promedio	4,2	4,1	4,0
	Mínimo	0,0	0,1	0,1
	Máximo	11,1	11,1	11,0
	Desviación Estándar	2,0	1,9	1,9
	% Datos validos	97,8	94,7	96,7
Dirección del Viento (DEG)	Promedio	157,4	164,8	159,6
	Mínimo	0,5	0,0	0,2
	Máximo	358,0	360,0	359,0
	Desviación Estándar	95,5	93,9	94,6
	% Datos validos	97,8	94,7	96,7
Temperatura (°C)	Promedio	14,8	14,7	15,2
	Mínimo	-2,6	-4,6	-2,6
	Máximo	27,5	27,2	28,2
	Desviación Estándar	6,5	6,6	6,5
	% Datos validos	97,8	94,6	96,2

Los siguientes gráficos permiten observar el comportamiento diario y mensual de las variables meteorológicas de los años 2013, 2014 y 2015.

En la Ilustración 8 se observa el ciclo diario de la velocidad del viento. En ella podemos observar un incremento de los vientos entre las 10 y las 15 horas para luego declinar hacia las 20 horas. Esta variabilidad se replica en los tres años analizados.

En la Ilustración 9 se grafica la distribución mensual de la velocidad de los vientos. En ella podemos apreciar los ciclos estacionarios, siendo levemente más fuerte los vientos de las estaciones primavera y verano que los vientos de otoño e invierno.

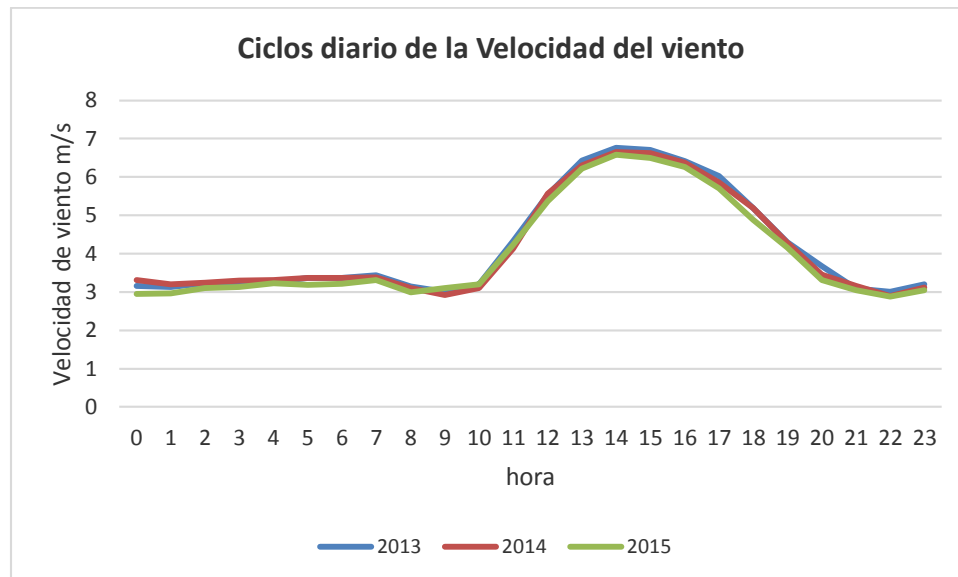


Ilustración 8 Ciclo diario de la velocidad del viento para los años 2013, 2014 y 2015.

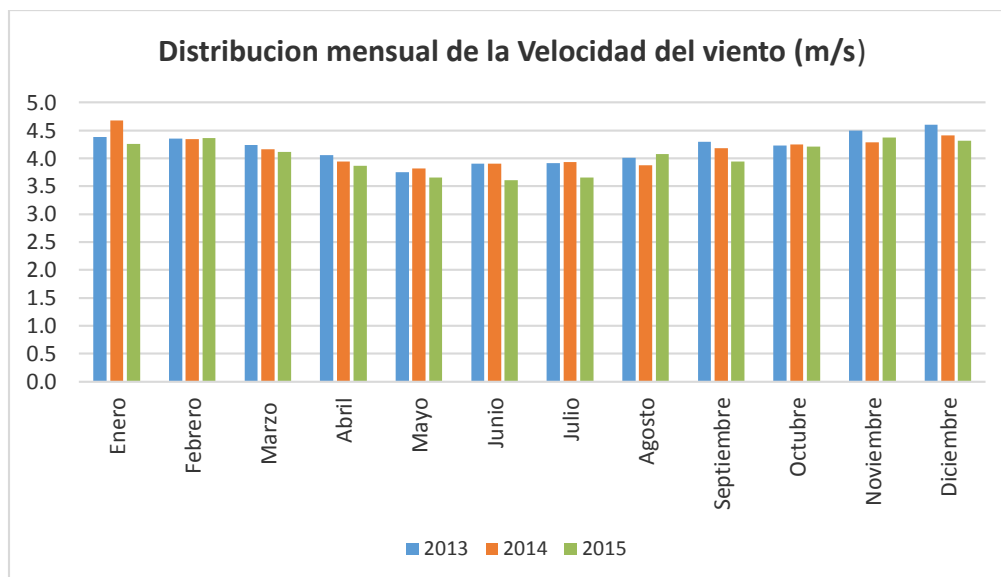


Ilustración 9 Comparación de la distribución mensual de la velocidad del viento.

Los gráficos de la Ilustración 10 y la Ilustración 11, muestran el comportamiento estacionario y diario de las temperaturas que se registran en la estación Colegio Pedro Vergara Keller.

La Ilustración 10 muestra un patrón de comportamiento en la temperatura similar para los tres años. Asimismo, describe el ciclo diario de temperatura, observando un incremento de la temperatura que inicia su ascenso a primeras horas de la mañana (de 06 a 10 horas), para luego presentar cierta estabilidad con disminución en su tasa de incremento hasta alcanzar un *peak*, a media tarde (entre las 14 y 15 horas), para disminuir finalmente hacia el anochecer. En los tres años se describe un comportamiento similar lo cual demuestra la representatividad de las mediciones.

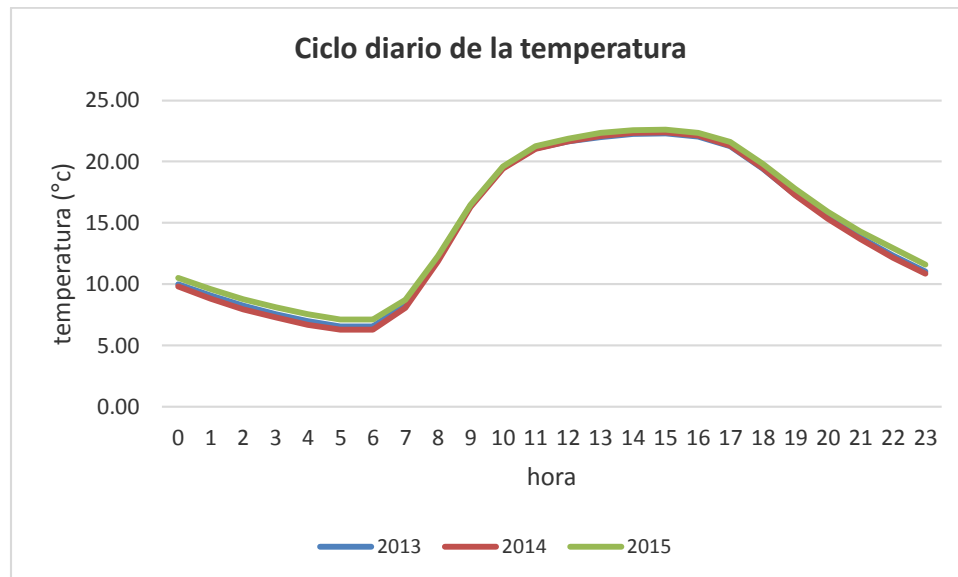


Ilustración 10 Ciclo diario de temperatura para los años 2013, 2014 y 2015.

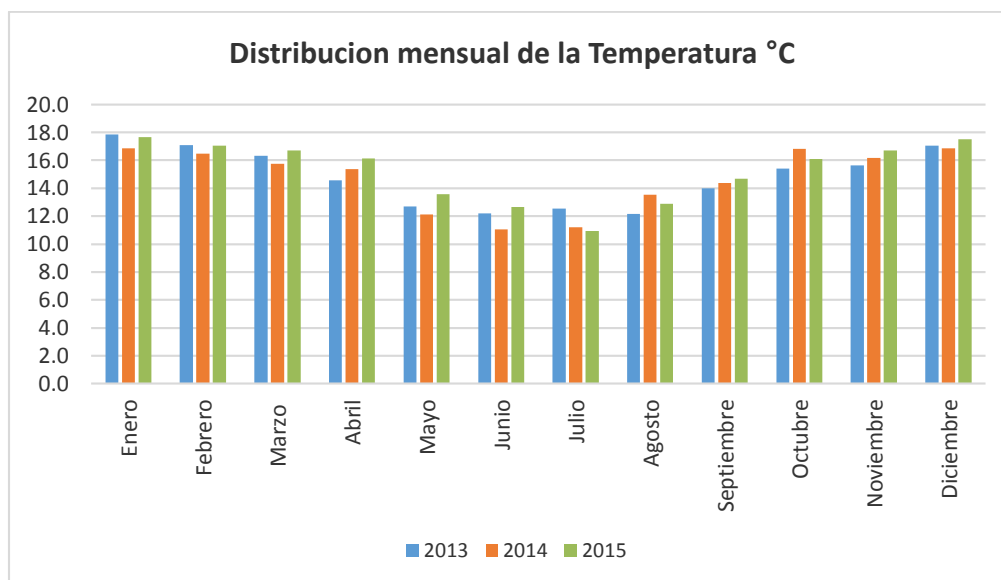


Ilustración 11 Comparación de la distribución mensual de la temperatura para los años 2013, 2014 y 2015.

En la Ilustración 11 observamos el ciclo estacionario de la temperatura para los tres años. Comparativamente presentan un patrón uniforme. A su vez, se observa que entre los meses de octubre y diciembre, se registran las temperaturas más altas, alcanzando su *peak* en el mes de Diciembre (17°C promedio mensual para todos los años). Luego, la temperatura comienza a disminuir alcanzando sus menores magnitudes en los meses junio – julio, con valores promedios máximos mensuales de 11,6°C.

En la Ilustración 12, Ilustración 13 e Ilustración 14, se muestra el comportamiento de las direcciones de origen de los vientos y sus velocidades para los años 2013, 2014 y 2015. Comparativamente se observa un patrón de comportamiento similar para los tres años, con los ciclos diarios bien definidos para una condición cordillera-valle.

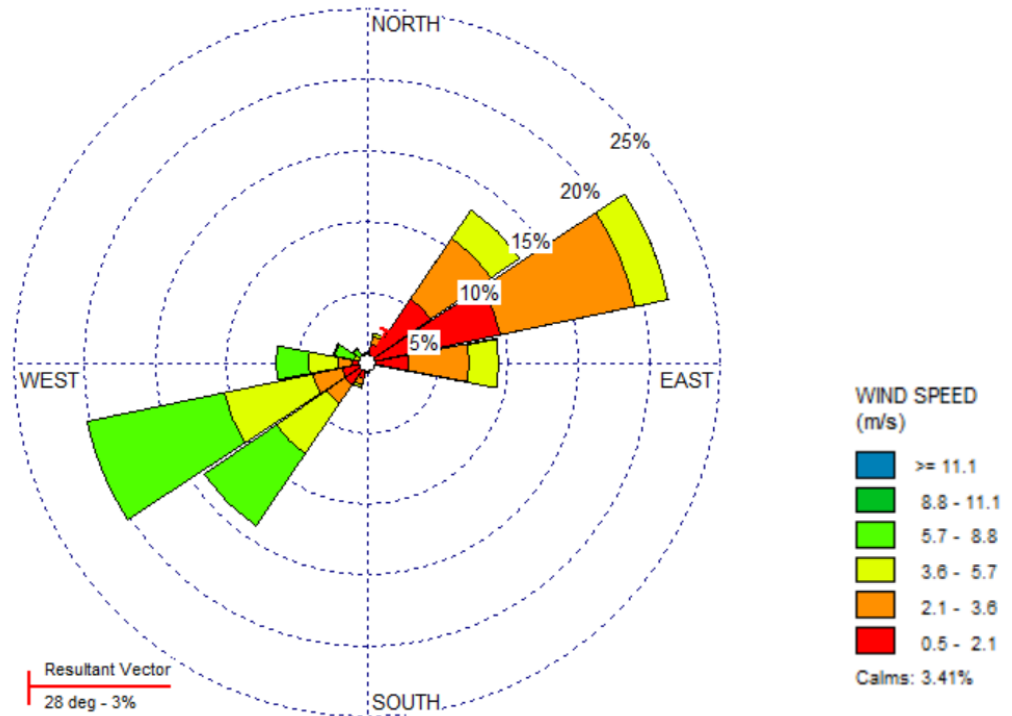


Ilustración 12 Rosa de vientos año 2013.

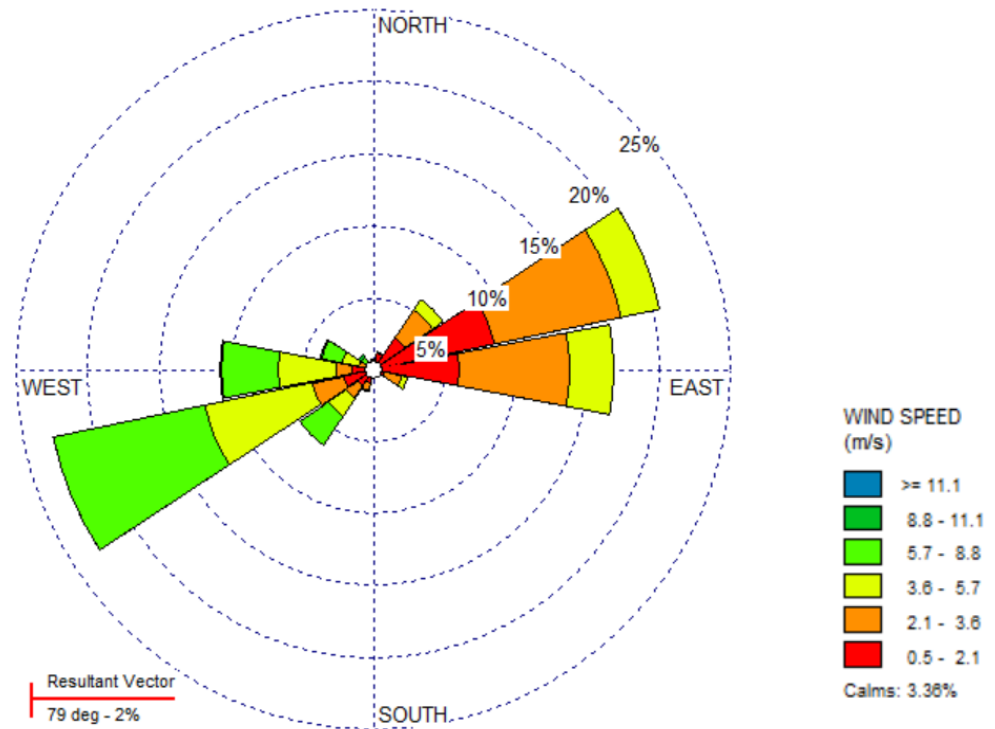


Ilustración 13 Rosa de vientos año 2014.

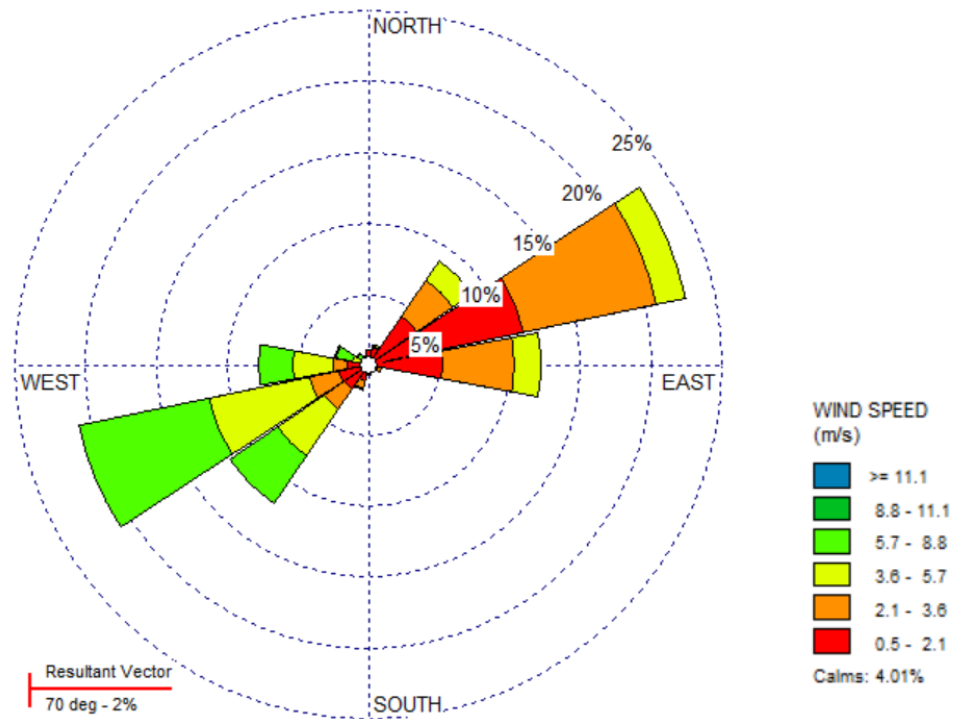


Ilustración 14 Rosa de vientos año 2015.

2.6 Meteorología año base 2014

A continuación se presenta una descripción detallada de las variables meteorológicas registradas en la estación Colegio Pedro Vergara Keller específicamente para el año base 2014, caracterizando sus ciclos diarios y estacionales.

El porcentaje final de información válida para el año 2014 alcanza un 94,7% para las variables, dirección y velocidad del viento. Asimismo, la información validada para la temperatura es del 94,6%.

2.6.1 Velocidad del Viento

La Ilustración 15 muestra el ciclo diario de variación de la velocidad del viento para el año 2014, indicando además el rango de variación del 90%. De ella podemos observar que los vientos nocturnos tienen un patrón caracterizado por una baja velocidad. Luego a partir de las 09:00 horas comienza un incremento que alcanza su máximo valor alrededor de las 15 horas, para finalmente iniciar su descenso hasta las 21 horas hacia el ciclo nocturno.

El rango de variación del 90% para el año 2014, sigue el mismo comportamiento que el promedio, con amplitudes mayores a las horas en que ocurren las máximas velocidades del viento.

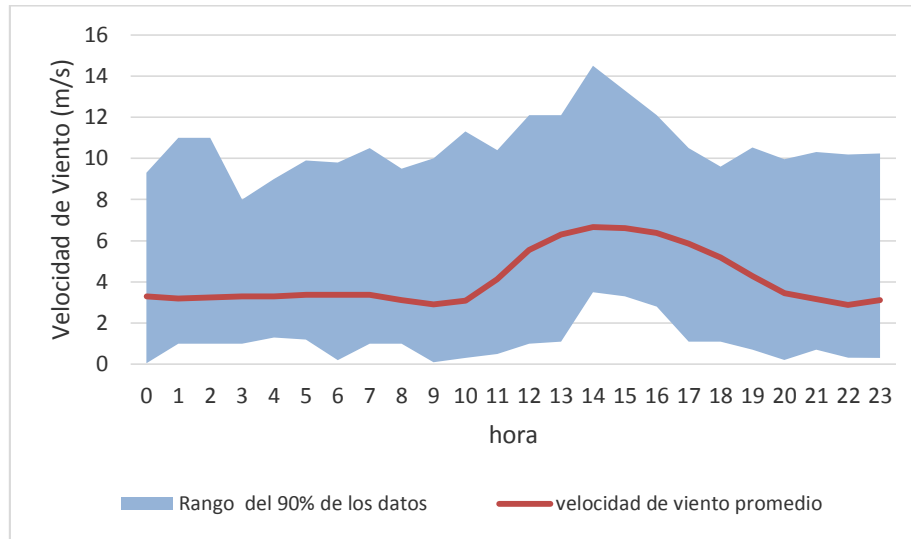


Ilustración 15 Perfil Horario de velocidad de viento para la estación Pedro Vergara Keller, año 2014.

La Ilustración 16 presenta la variación del ciclo diario a lo largo del año 2014. De ella se observa que existe una variación estacional en el perfil horario de la velocidad del viento. Es así como en los meses de mayo a agosto, se registran velocidades de viento de menor intensidad que en los meses de septiembre a febrero. Estas mayores intensidades se observan entre las 11 y las 20 horas, alcanzando magnitudes mayores entre las 15 y las 17 horas. En la Ilustración 17, para el escalamiento automático de colores, el rojo representa los percentiles mayores y el azul los percentiles menores.

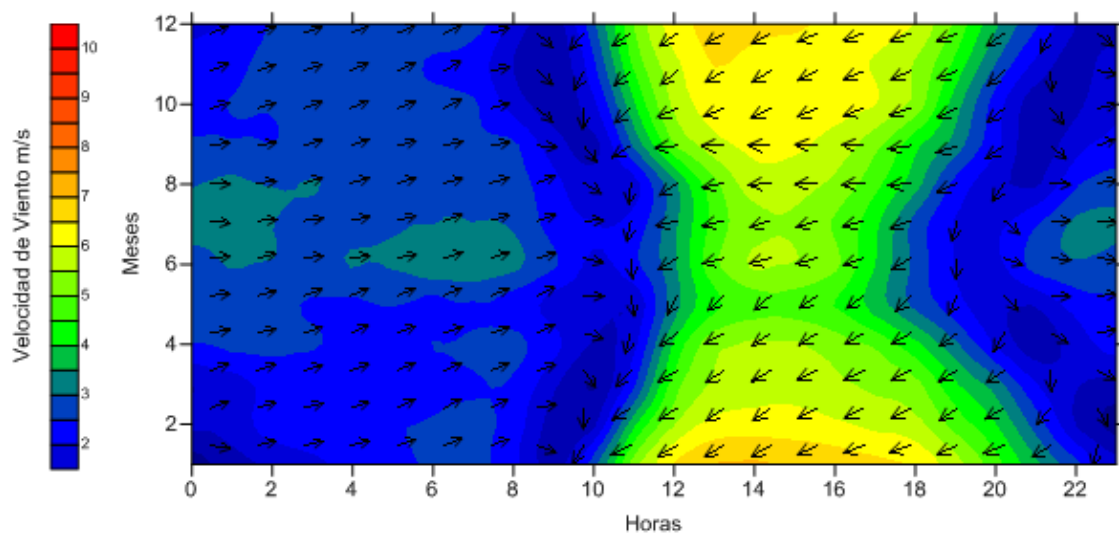


Ilustración 16 Perfil horario mensual de velocidad de viento para estación Pedro Vergara Keller, año 2014.

2.6.2 Dirección de viento

En la Ilustración 17, se grafica el ciclo diario de variación de la dirección del viento, para el año 2014. Los valores corresponden a la frecuencia (número de días del año 2014) que registra cada dirección del viento para cada hora del día. De ella se observa el periodo nocturno (entre las 23:00 y 10:00 hrs) con predominio de los vientos provenientes del Este (entre 100 y 80 grados). Por el contrario, entre las 11:00 y 21:00 horas prevalecen los vientos diurnos provenientes del Oeste (entre 240 y 280 grados).

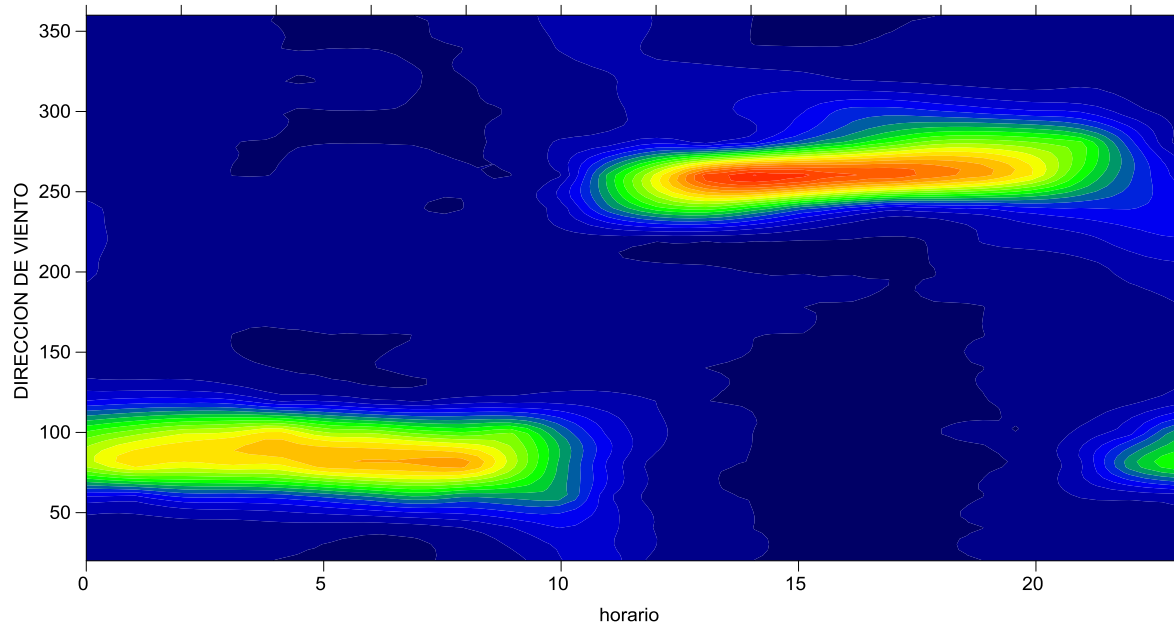


Ilustración 17 Ciclo diario de Dirección de Viento.

2.6.3 Temperatura

La Ilustración 18 describe el ciclo diario de la temperatura ambiental, para el año 2014, registrada en la estación Colegio Pedro Vergara Keller. En el grafico se observan bajas temperaturas en horas de la noche, entre las 21 y 07 horas. Por otro lado, las mayores temperaturas son alcanzadas en el día, alrededor de las 13 horas.

El rango de variación (del 90%) en el año 2014, sigue el mismo comportamiento que el promedio, variando tanto el límite superior como inferior, en un rango promedio de 19°C aproximadamente (no existe simetría de los valores extremos).

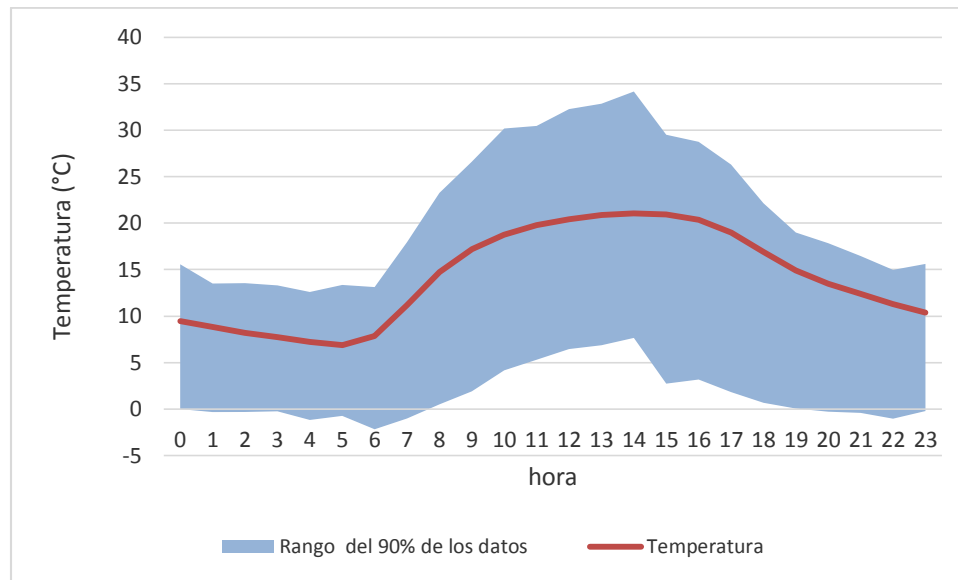


Ilustración 18 Perfil Horario de temperatura, estación Pedro Vergara Keller, año 2014.

La Ilustración 19 presenta el perfil mensual y horario de la temperatura. De ella podemos observar, que el período más frío ocurre en horas de la noche entre los meses de mayo y julio. Asimismo, las mayores temperaturas se registran en horas de la tarde entre las 12 y 17 horas, y en los meses de verano entre noviembre y enero.

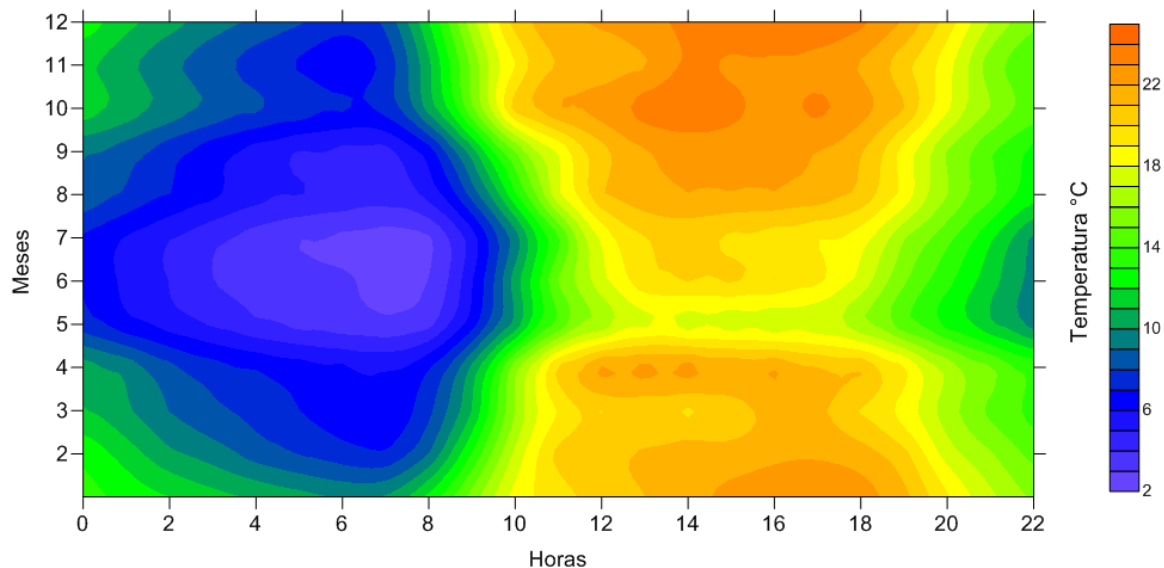


Ilustración 19 Perfil mensual-horario de la temperatura, estación Pedro Vergara Keller, Año 2014.

3 ANALISIS DE CALIDAD DEL AIRE

La línea base de calidad del aire identifica los niveles de concentración de material particulado respirable (MP10 y MP2.5), y los gases (SO₂, NO₂, y CO), antes de que se incorporen las actividades del proyecto, con el objeto de establecer en la evaluación de impacto ambiental, si existirán o no alteraciones en la calidad del aire, al construir y operar el proyecto.

Para caracterizar la calidad del aire en la ciudad de Calama, se procesaron los registros de las estaciones Centro de Calama y Colegio Pedro Vergara Keller. Asimismo, para la caracterización del estado de concentraciones de material particulado respirable (MP10 y MP2.5), se utilizaron los registros de las estaciones antes mencionadas, de los años 2013 al 2015, para tener una mayor representatividad de los datos. Para el análisis de los gases (SO₂, NO₂, y CO), se emplearon los registros de la estación del Centro de Calama.

La Tabla 4 muestra las coordenadas de ubicación y las variables de calidad del aire que miden las estaciones empleadas en la línea de base. Además se muestran los periodos a considerar para el análisis. A la fecha, no existen datos de Pb públicos y actualizados disponibles para el área de influencia del proyecto.

Tabla 4 Localización de estaciones de calidad del aire consideradas para línea de base.

COMUNA	ESTACIÓN	COORDENADAS (m) WGS84 – HUSO 19		VARIABLES MEDIDAS					PERIODO DE MEDICION (AÑO)
		ESTE	NORTE	MP10	MP2.5	SO ₂	NO ₂	CO	
Calama	Colegio Pedro Vergara Keller	506895,0	7518221	X	X				2013-2015
Calama	Estación Centro	507437,1	7516056	X	X	X	X	X	2013-2015

PM10	Material particulado fino respirable de diámetro aerodinámico de hasta 10 µm	µg/m ³
PM2.5	Material particulado fino respirable de diámetro aerodinámico de hasta 2.5 µm	µg/m ³
SO ₂	Dióxido de Azufre	ppb
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno	ppb
CO	Monóxido de Carbono	ppm

3.1 Material particulado fino respirable de diámetro aerodinámico de hasta 10 μm (PM10).

Para el análisis del comportamiento del PM10 se dispone de una data de 3 años (2013, 2014 y 2015), registrados en la estación Centro y la estación Colegio Pedro Vergara Keller.

Las Tabla 5 y Tabla 6 resumen la métrica para cada año de las estaciones antes mencionadas, respectivamente. La estación Colegio Pedro Vergara Keller, registra datos que sobrepasan la norma tanto diaria (D.S. 20/2013) como el promedio tri-anual (D.S. 45/2001) en los años 2013 y 2014. En tanto para el año 2015 registra una baja tanto en la norma diaria como en la media diaria anual.

Tabla 5 Resumen de la estación de calidad del aire Centro de Calama.

Años	2013	2014	2015	Norma
Percentil 98 PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	80	70	60	150
Media aritmética ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	47	42	41	
Media aritmética tri-anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43			50
Datos válidos	87%	78%	96%	75%

Tabla 6 Resumen de la estación de calidad del aire Colegio Pedro Vergara Keller.

Años	2013	2014	2015	Norma
Percentil 98 MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	95	91	150
Media aritmética ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60	60	52	
Media aritmética tri-anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	57			50
Datos validos	93%	89%	87%	75%

La Ilustración 20 y la Ilustración 21 muestran las series de tiempo para los periodos enero 2013 a diciembre 2015, de las estaciones de calidad del aire Centro y Colegio Pedro V. Keller, respectivamente. Ambas estaciones muestran un comportamiento similar en cuanto a la concentración del material particulado. En el caso de la estación Centro de Calama, no se aprecian variaciones que sobrepasen la norma diaria de este contaminante. En el caso de la estación del Colegio Pedro Vergara Keller, en la serie de tiempo se observa un *peak* que sobrepasa la norma en agosto del 2013. Si bien, en ambas estaciones de monitoreo existe una tendencia a la baja de este contaminante. La media aritmética tri-anual sobrepasa la norma, dando cuenta de la calidad de aire del área y su estatus de zona saturada. Además sugiere que el sector donde la estación se encuentra emplazada, corresponde a una de las áreas más afectadas por la contaminación atmosférica en el núcleo urbano de Calama, y que podría estar sufriendo el aporte de diversas fuentes contaminantes que, en conjunto con condiciones nocturnas e invernales de vientos más débiles provenientes del Este, pueden favorecer la concentración del MP10 en dicho sector.

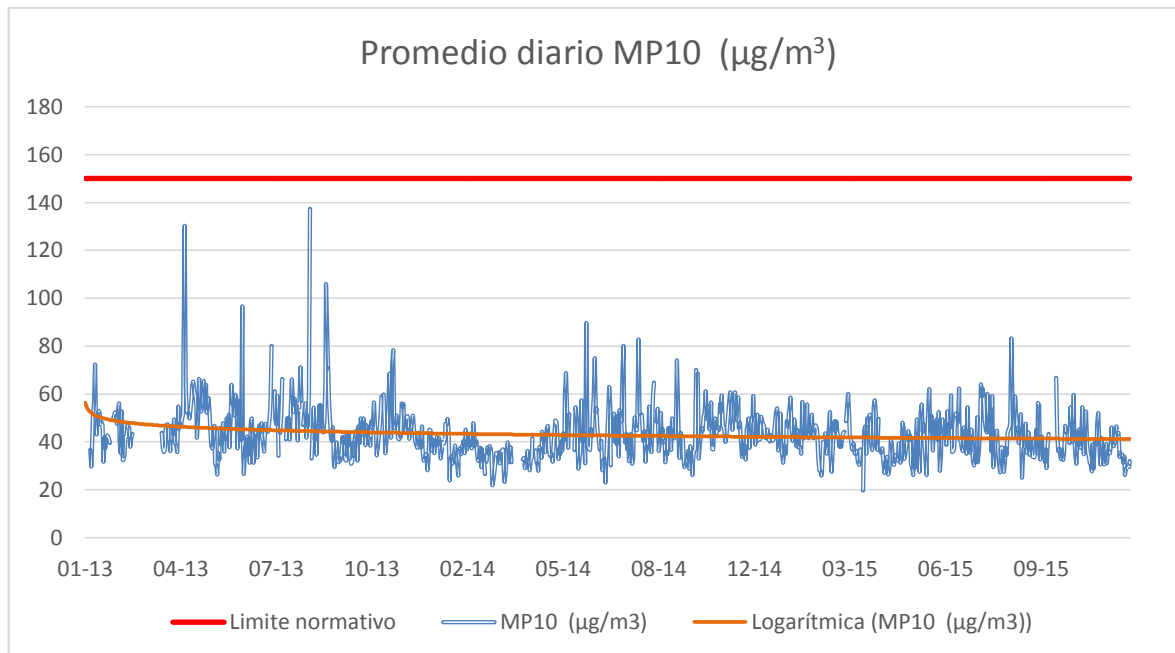


Ilustración 20 Serie de tiempo, promedio diario PM10, periodo 2013 - 2015, estación Centro de Calama.

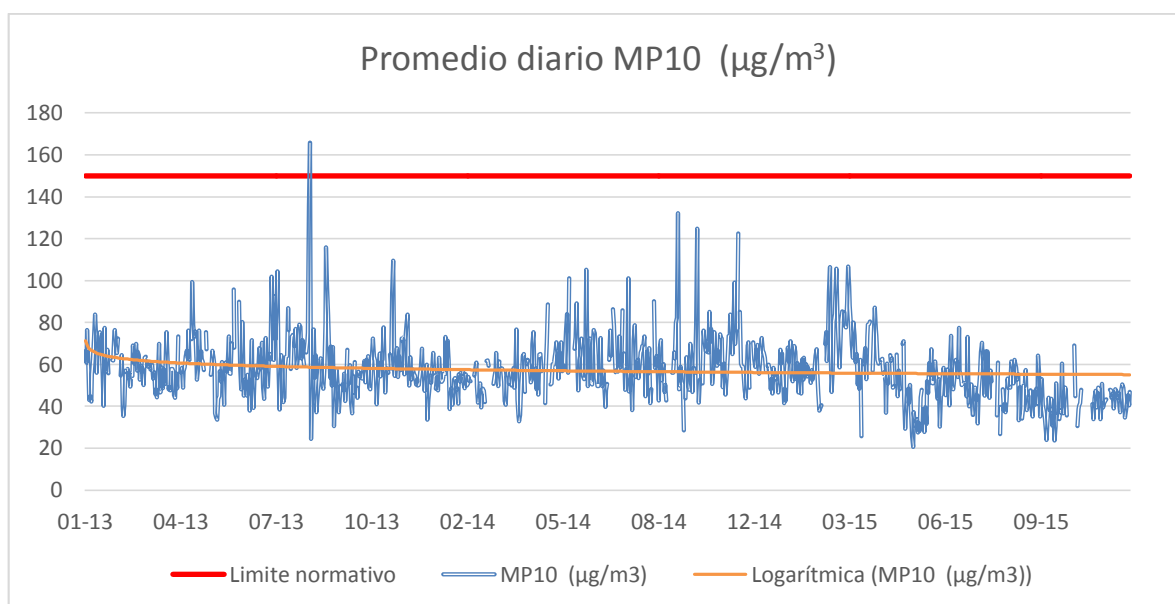


Ilustración 21 Serie de tiempo, promedio diario PM10, periodo 2013 - 2015, estación Colegio Pedro Vergara Keller.

3.2 Material particulado fino respirable de diámetro aerodinámico de hasta 2.5 μm (PM2.5)

Para el análisis del comportamiento del PM2.5 se dispone de una data de 3 años (2013, 2014 y 2015), registrados en la Estación Centro y estación Colegio Pedro Vergara Keller.

La Tabla 7 y Tabla 8 resumen la métrica para cada año de las estaciones antes mencionadas, respectivamente.

Tabla 7 Percentil 98 y media aritmética anual PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), estación Centro de Calama.

Años	2013	2014	2015	D.S. 12/2011
Media aritmética anual	14	12	12	20
Percentil 98	23	25	19	50
Datos válidos	87,16%	92,90%	95,89%	75

Tabla 8 Percentil 98 y media aritmética anual PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), estación Colegio Pedro Vergara Keller.

Años	2013	2014	2015	D.S. 12/2011
Media aritmética anual	14	15	14	20
Percentil 98	29	36	33	50
Datos válidos	86,34%	89,07%	100,00%	75

La Ilustración 22 e Ilustración 23 muestran las series de tiempo de las concentraciones diarias de PM2.5, para las estaciones Centro y Colegio Pedro Vergara Keller, respectivamente, por el período comprendido entre el 01-2013 y el 12-2015. En ellas se observa un comportamiento opuesto: mientras la estación del Centro muestra una leve tendencia a la baja de este contaminante, la estación del colegio muestra una tendencia al alza, incluso con 3 *peaks* que sobrepasan la norma diaria. No obstante, la Tabla 7 y Tabla 8 muestran que dicha tendencia al alza en ningún caso sobrepasa la norma.

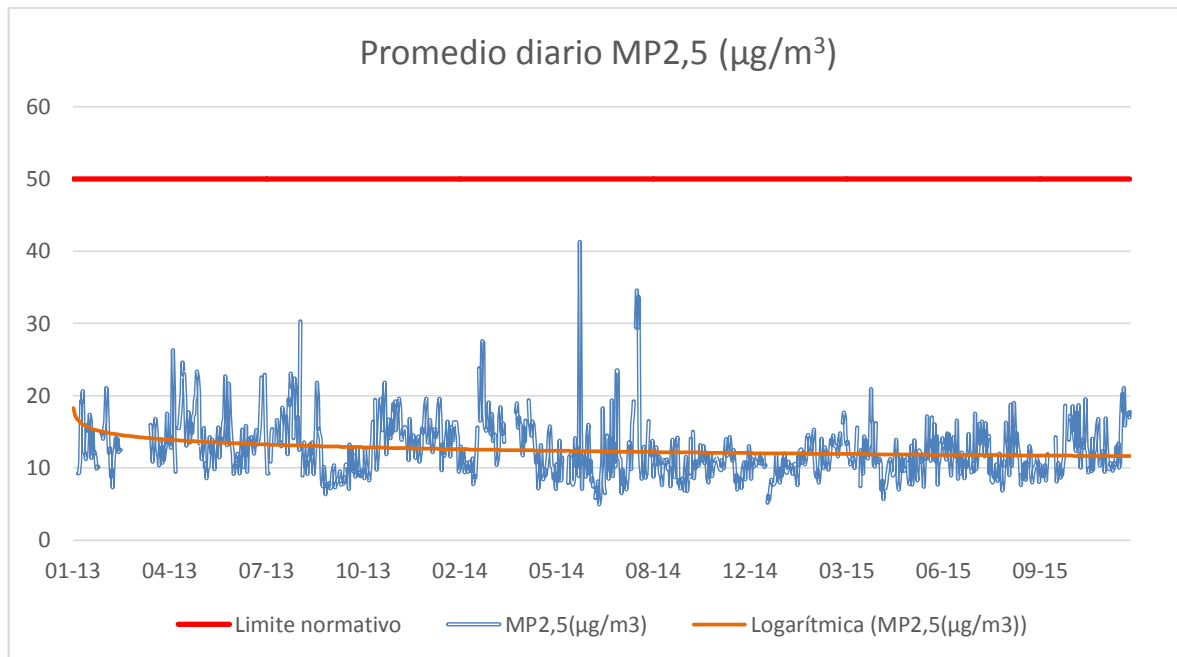


Ilustración 22 Serie de tiempo de concentraciones diarias de PM2.5, estación Centro de Calama.

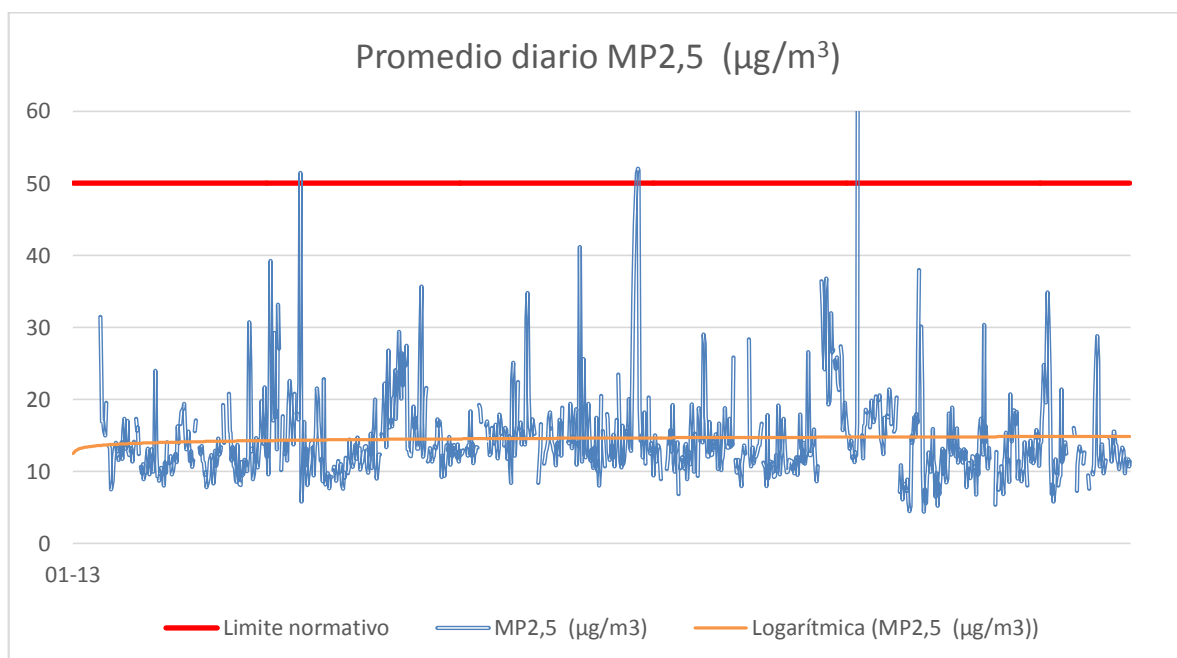


Ilustración 23 Serie de tiempo de concentraciones diarias de PM2.5, estación Colegio Pedro Vergara Keller.

3.3 Gases (CO, NO₂ y SO₂)

La concentración de gases en la ciudad de Calama se registra en la estación Centro, para un análisis de los últimos tres años (Tabla 9).

Tabla 9 Estadígrafo de gases, año 2013- 2015, estación Centro de Calama.

Dióxido de azufre (SO ₂)				
Año	2013	2014	2015	D.S. 113/2002
Media aritmética anual (µg/m ³)	6	3	4	80 µg/m ³
Percentil 99	26	16	12	250 µg/m ³
% de datos válidos	74%	95%	98%	75%
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)				
Año	2013	2014	2015	D.S. 114/2002
Media aritmética anual (µg/m ³)	21	19	18	100 µg/m ³
Percentil 99	82	83	75	400 µg/m ³
% de datos validos	74%	92%	98%	75%
Monóxido de Carbono (CO)				
Año	2013	2014	2015	D.S. 115/2002
Media aritmética anual (µg/m ³)	316	358	443	10.000 µg/m ³
Percentil 99	1.232	951	696	30.000 µg/m ³
% de datos Validos	90%	100%	100%	75%

3.4 SO₂ para Norma Secundaria D.S. 22/2010

Se registran las estaciones Chiu Chiu y Centro (Tabla 10) para fines de evaluación de la norma secundaria de SO₂. Cabe señalar que, si bien por Resolución Exenta N° 986/2011 del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), “Determinación de Estaciones de Monitoreo con Representatividad de Recursos Naturales Renovables (EMRRN)”, la estación Chiu Chiu es la válida para evaluación de norma secundaria, debido a su lejanía respecto de la cuenca del Loa y los recursos naturales allí albergados, se consideró también a la estación Centro, puesto que además cuenta con data completa actualizada de SO₂.

Tabla 10 Estadígrafo de SO₂, año 2013- 2015, para Norma Secundaria.

Año	Estación Centro			Estación Chiu Chiu			D.S. 22/2010
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	
Media aritmética anual (µg/m ³)	6	3	4	3	4	3	80 µg/m ³
Percentil 99,7	38	18	21	89	76	75	365 µg/m ³
% de datos válidos	74%	95%	98%	98%	98%	98%	75%

3.5 Análisis de la modelación meteorológica WRF.

El modelo WRF (Weather Research and Forecasting - WRF) es un sistema de predicción numérico de mesoescala de última generación, diseñado para desarrollar pronósticos y estudios de la atmósfera. Este modelo es el resultado de un trabajo mancomunado entre varias instituciones norteamericanas como: National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Centers for Environmental Prediction (NCEP), Forecast Systems Laboratory (FSL), Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory, Universidad de Oklahoma, y Federal Aviation Administration (FAA).

La elaboración del archivo meteorológico fue encargado a la firma canadiense Lakes Environmental (www.weblakes.com) y posee una resolución espacial de 1 km, abarcando un área de 62 × 62 km. Los parámetros del modelo WRF utilizado se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11 Parámetros geoespaciales del modelo meteorológico WRF

Sistema coordinado del modelo WRF	
Proyección	LCC (Cónica Conforme de Lambert)
DATUM	WGS84 6370 Km Radius
Período de modelación	01-01-2014 00:00 al 31-12-2014 23:00
Origen Proyección	501028,99 m E
Origen Proyección (longitud)	7518469,86 m S
Paralelo Estándar (Latitud 1)	501024,28 m E
Paralelo Estándar (Latitud 2)	501031,37 m E
Capa vertical 1 (m)	0
Capa vertical 2 (m)	20
Capa vertical 3 (m)	40
Capa vertical 4 (m)	80
Capa vertical 5 (m)	160
Capa vertical 6 (m)	320
Capa vertical 7 (m)	640
Capa vertical 8 (m)	1200
Capa vertical 9 (m)	2000
Capa vertical 10 (m)	3000
Capa vertical 11 (m)	4000

Tal como se indica en la Guía, el fundamento para la modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos es la meteorología. En este capítulo se describen las características más importantes de los datos meteorológicos simulados junto con una evaluación de desempeño del modelo WRF.

3.5.1 Dominio de la Modelación.

El dominio definido para la modelación comprende un área cuadrangular de $62 \times 62 \text{ km}^2$ y cuyo centro corresponde a la chimenea de la planta RAM, emplazada en el sector nororiente de la ciudad de Calama (Ilustración 24). Las modelaciones se han realizado sobre una grilla de 3.844 puntos, con distancias entre ellos de 1 km, tal como lo indica la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA”, con el fin de determinar el aporte del proyecto en cada uno de estos puntos e identificar la ubicación y magnitud de las concentraciones en los puntos de máximo impacto para cada contaminante.



Ilustración 24 Dominio de la modelación. Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Evaluación de la modelación meteorológica.

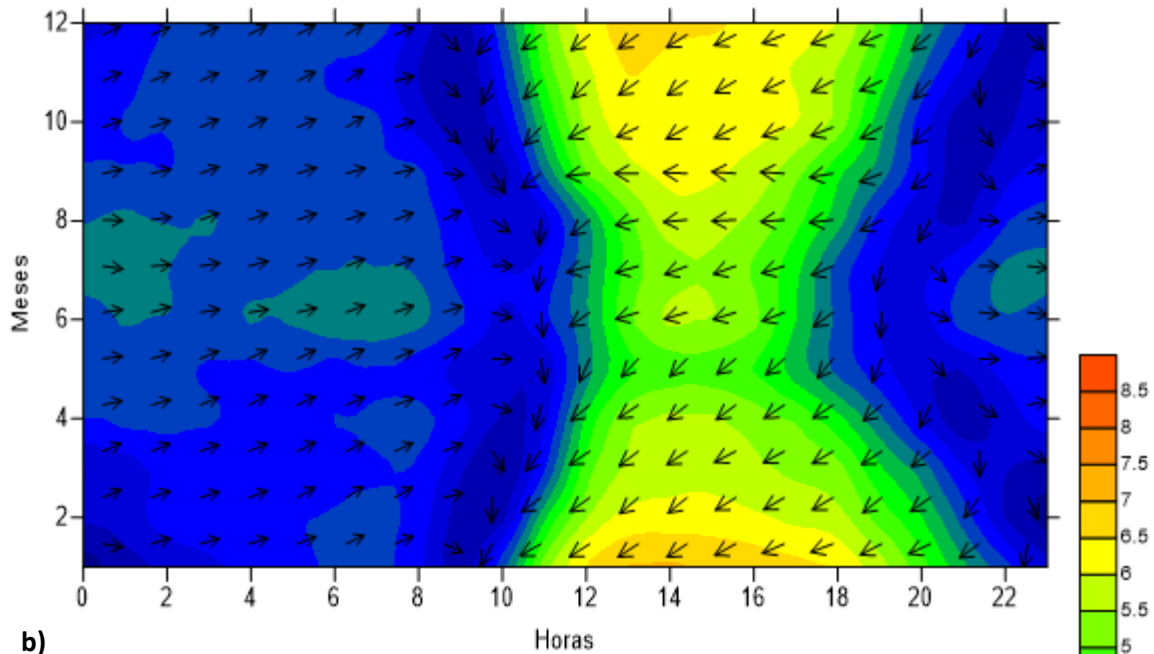
Los resultados de la modelación meteorológica, fueron contrastados con los datos medidos en la estación Colegio Pedro Vergara Keller y la estación Hospital del Cobre, con el objeto de evaluar su desempeño, comprendiendo este como la similitud entre los valores observados y los valores modelados.

3.5.2.1 Velocidad de viento

En la Ilustración 25 se observa una comparación de la velocidad de dirección de viento registradas y modeladas de la estación Colegio Pedro Vergara Keller. En ella se observa que el modelo presenta

una sobreestimación no significativa en la velocidad del viento (ver capítulo de análisis de incertidumbre, donde se demuestra que los datos modelados son capaces de representar los datos observados).

a)



b)

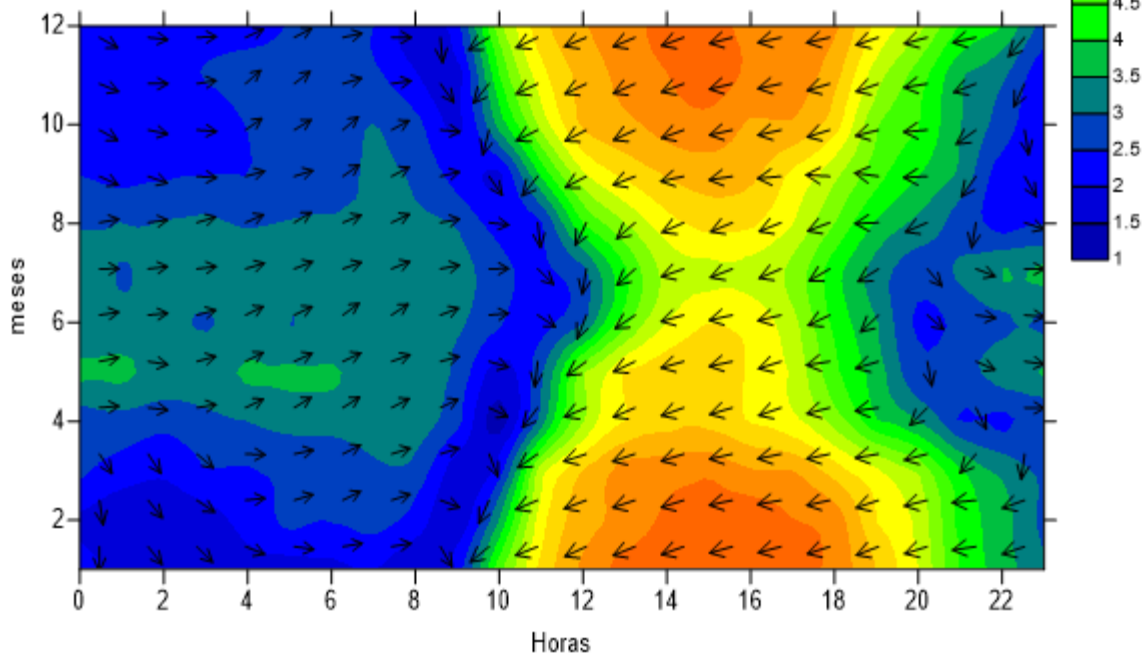


Ilustración 25 Perfil horario y mensual de las dirección y velocidad del viento a) observada y b) modelada por WRF, para el punto estación Colegio Pedro Vergara Keller, año 2014.

3.5.2.2 Dirección de viento

La Ilustración 26 muestra la comparación del ciclo diario de la dirección de viento observado (en la parte superior) y modelado (en la parte inferior). En ambos gráficos se muestra una gran similitud por lo cual podemos inferir la robustez del modelo en cuanto a esta variable.

Al mismo tiempo, en ambos gráficos se observa que para el período diurno comprendido entre las 10 y las 21 horas, los mayores percentiles de color rojo muestran que, entre las 12 y 19 horas los vientos provienen principalmente desde el Sur Oeste-Oeste. Por otro lado, durante el periodo nocturno (entre las 22 y 9 horas) los vientos provienen principalmente desde el Nor Este – Este, y ocurren entre las 0 y 7 horas.

Ángulo	340 360	1	1	0	0	0	0	0	1	8	12	18	9	3	0	0	0	0	1	1	3	7	2	1
	320 340	2	2	1	0	0	0	0	0	3	11	15	7	5	0	0	0	1	1	1	6	10	3	3
	300 320	1	0	1	0	0	1	0	0	1	7	9	14	16	15	15	9	8	6	5	3	9	6	2
	280 300	1	0	1	0	0	0	0	0	0	7	7	16	14	25	28	45	46	40	35	30	29	13	6
	260 280	1	1	0	0	0	0	0	0	1	13	15	30	17	29	55	73	93	109	109	102	94	43	5
	240 260	4	1	0	0	1	1	2	1	0	8	74	124	186	204	197	184	181	166	153	128	82	51	26
	220 240	6	1	1	2	2	2	0	0	4	14	58	88	98	80	55	39	22	29	30	39	40	41	35
	200 220	5	0	2	5	1	1	2	1	4	5	5	1	1	1	0	0	0	1	13	13	16	26	30
	180 200	4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0	4	6	2	15	16
	160 180	5	0	1	0	1	1	0	3	1	2	3	4	1	1	0	0	0	0	0	2	3	6	10
	140 160	2	2	0	0	0	0	0	1	0	2	3	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	6
	120 140	3	6	2	0	0	0	2	1	0	7	3	4	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	4
	100 120	33	33	32	16	18	10	7	14	14	16	14	10	0	0	0	0	0	0	0	1	4	7	15
	80 100	105	118	120	137	109	109	96	89	102	57	27	13	3	0	0	0	0	0	1	0	14	25	69
	60 80	138	126	133	129	149	150	152	158	113	66	27	5	1	0	0	0	0	0	1	19	69	93	115
	40 60	25	41	40	42	50	59	70	58	63	67	20	6	1	0	0	0	0	0	5	11	12	13	28
	20 40	4	5	3	6	5	2	4	9	19	30	23	9	3	0	0	0	0	0	5	4	9	5	3
	0 20	2	1	1	0	0	0	0	1	6	11	15	3	2	0	0	0	0	0	1	1	2	4	2
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	Hora																							

Ángulo	340 360	4	3	5	5	2	5	3	1	3	4	5	3	3	0	0	1	0	0	1	4	1	2	5
	320 340	5	7	4	4	1	4	1	3	3	5	2	5	0	1	1	1	2	1	1	4	7	9	
	300 320	6	3	5	3	4	1	1	4	2	5	3	7	4	5	5	7	7	6	6	20	10	9	
	280 300	1	1	6	2	1	2	2	0	1	7	10	8	12	18	17	22	26	27	32	36	33	34	
	260 280	3	9	4	2	2	1	0	1	3	6	18	20	31	45	67	101	126	119	113	95	109	104	
	240 260	17	4	6	12	6	4	1	4	2	37	107	190	222	229	224	201	171	181	162	145	108	79	
	220 240	22	23	17	10	7	6	3	4	9	19	35	40	46	46	42	28	28	26	40	42	25	24	
	200 220	32	15	16	10	6	3	2	3	4	12	13	13	11	4	4	2	1	2	5	9	3	3	
	180 200	19	13	6	5	2	1	5	1	3	6	10	5	4	2	0	1	1	0	3	1	7	7	
	160 180	5	7	3	1	3	0	0	1	4	4	8	8	5	1	2	0	0	0	0	2	5	1	
	140 160	7	8	3	2	8	1	0	2	1	6	5	4	2	3	1	0	1	0	0	0	6	3	
	120 140	9	6	5	6	4	3	6	0	4	11	9	2	3	2	0	0	0	0	0	1	4	5	
	100 120	16	14	23	20	5	8	7	8	6	12	16	10	4	2	0	0	0	1	0	1	2	7	
	80 100	60	68	76	83	44	40	49	57	61	62	43	11	5	0	0	0	0	0	2	10	14	35	
	60 80	84	100	88	72	86	93	97	112	128	99	48	18	7	3	1	0	1	0	0	0	16	36	
	40 60	56	57	68	76	97	130	127	111	88	39	20	11	2	2	0	0	0	1	0	2	14	21	
	20 40	14	23	19	43	71	57	55	47	32	21	7	6	2	1	0	1	0	1	1	1	4	5	
	0 20	5	4	11	9	16	6	6	6	11	10	6	4	2	1	1	0	1	0	1	0	1	2	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
	Hora																							

Ilustración 26 Frecuencias de las direcciones de viento a nivel diario de la estación Colegio Pedro Vergara Keller (Observada en la parte superior, y modelada en WRF en la parte inferior), año 2014.

3.5.2.3 Temperatura

La Ilustración 27 compara el comportamiento de la temperatura promedio mensual y su rango, entre los datos observados y los modelados (gráfico superior e inferior, respectivamente). Asimismo, en el gráfico de la Ilustración 28 se presenta una comparación de los ciclos estacionales observados y modelados. En ambos casos se observa un buen desempeño del modelo en la simulación de la temperatura.

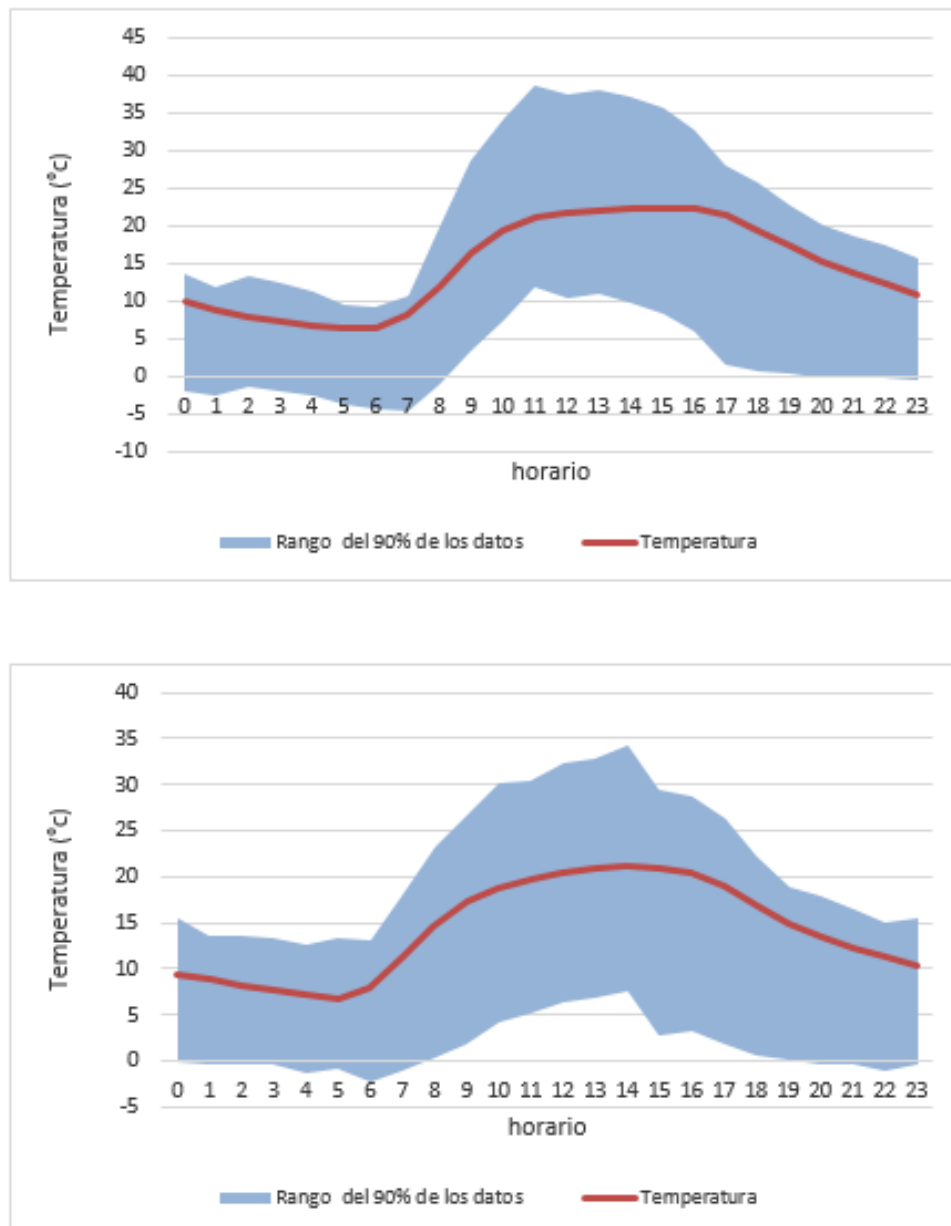


Ilustración 27 Ciclo diario de la temperatura (°C). Datos observados en el gráfico superior y datos modelados en el gráfico inferior.

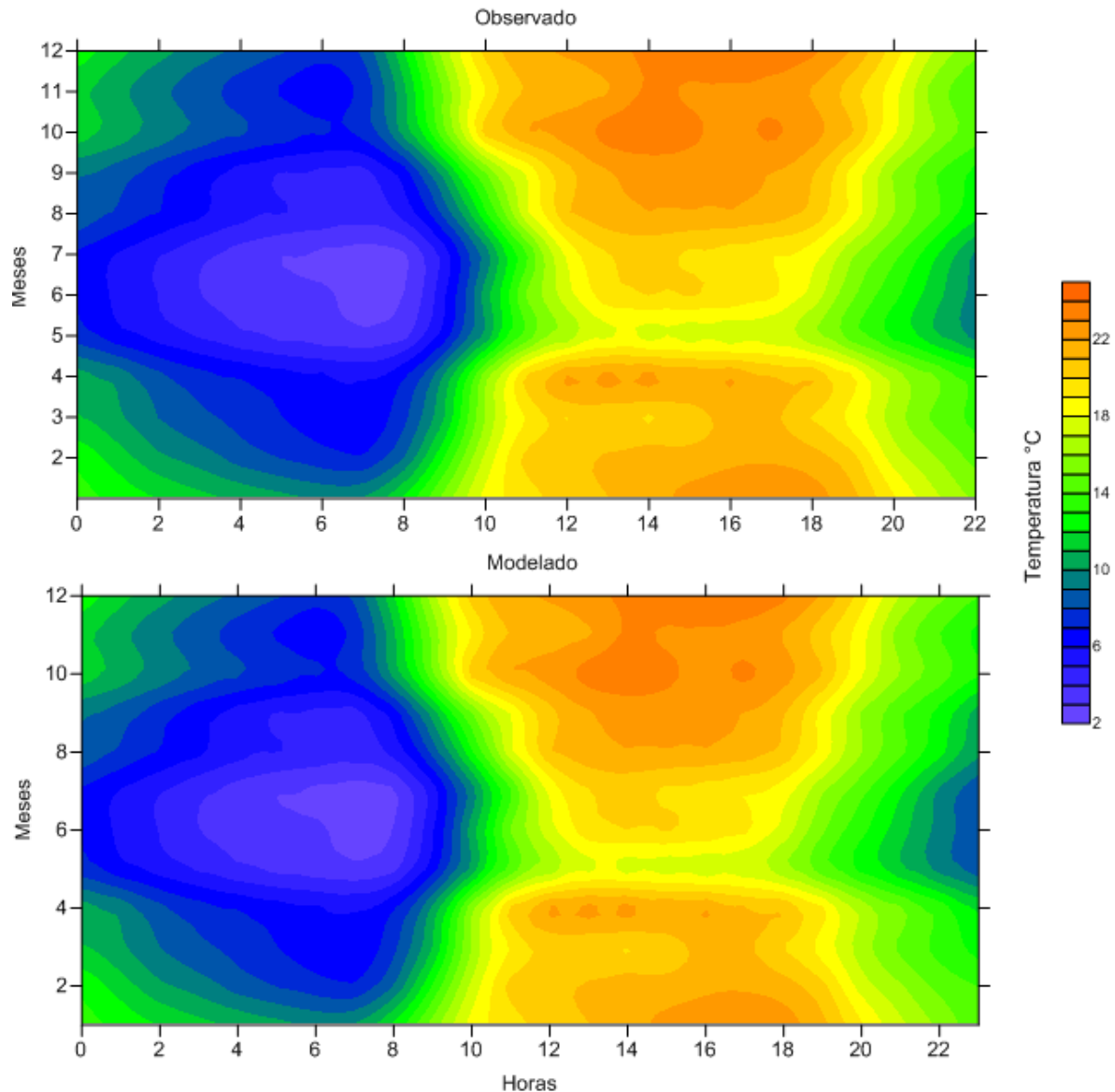


Ilustración 28 Ciclo diario y estacionario de la temperatura (Observado en el gráfico superior y modelado en inferior).

3.5.2.4 Variación de la Temperatura y la Velocidad del Viento con la Altura.

En las siguientes ilustraciones (Ilustración 29 a la Ilustración 34), se observa cómo varían los campos de viento y temperatura a medida que aumenta la altura en el modelo meteorológico. Para ambas variables se observan comportamientos disímiles, como es de esperar: para cada celda del área de modelación la temperatura disminuye a medida que la altura aumenta, mientras que para la velocidad del viento se observa el fenómeno opuesto.

También es posible observar que a medida que la altura aumenta, la magnitud de la temperatura y la velocidad del viento, así como su dirección, dejan de ser influidos por las características geográficas del terreno y los valores comienzan a uniformarse sobre el área en estudio.

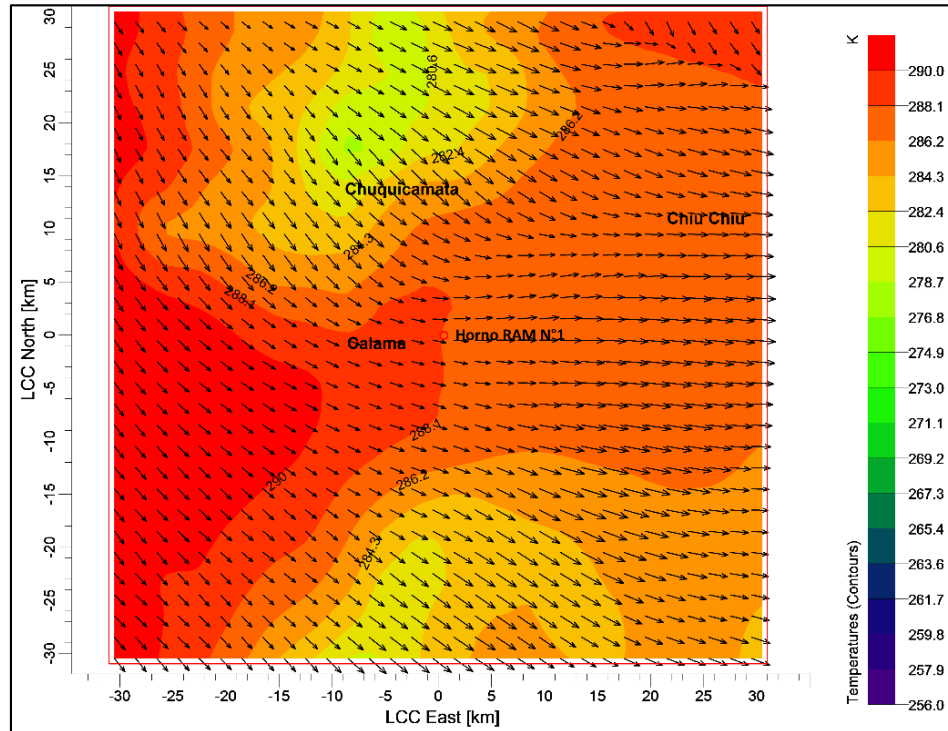


Ilustración 29 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 10 (m) sobre superficie.

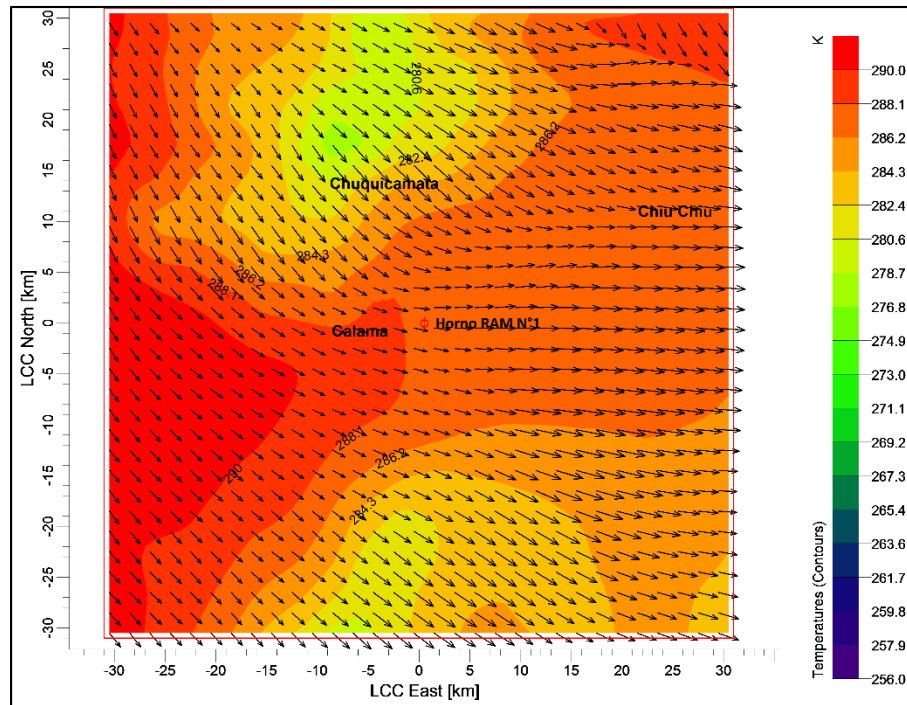


Ilustración 30 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 30 (m) sobre superficie.

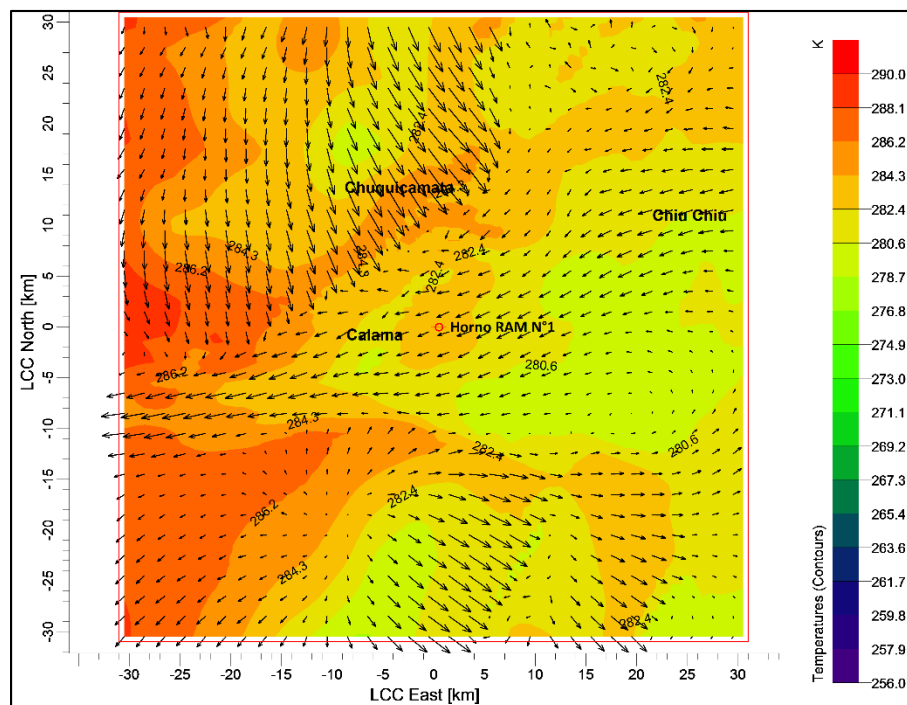


Ilustración 31 Campo de vientos y temperatura obtenida del modelo WRF: 60 (m) sobre superficie.

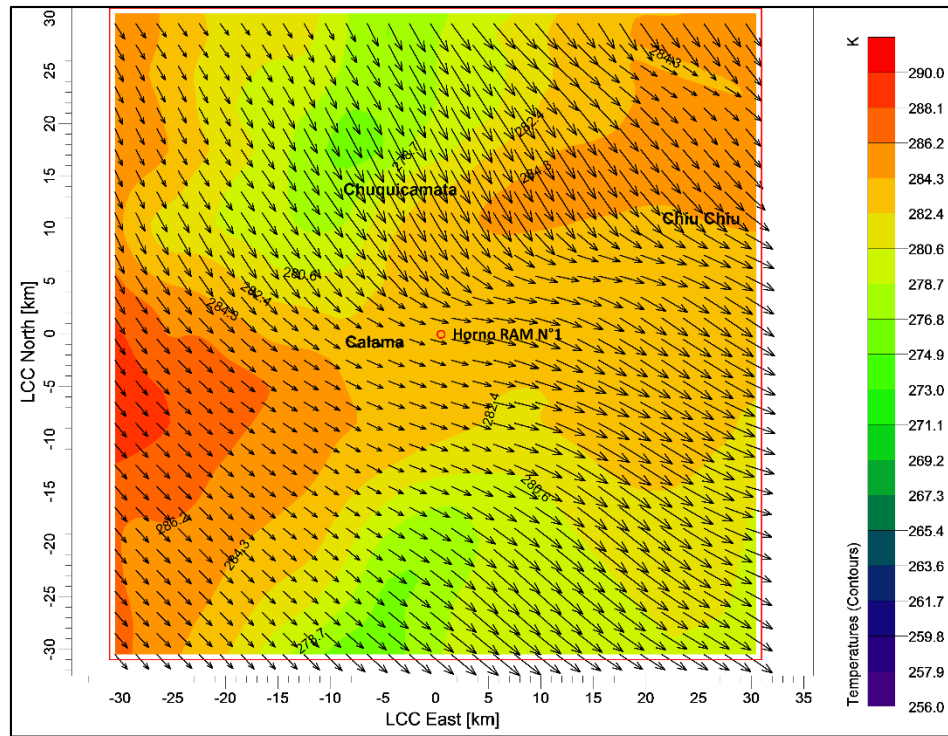


Ilustración 34 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 480 (m) sobre superficie.

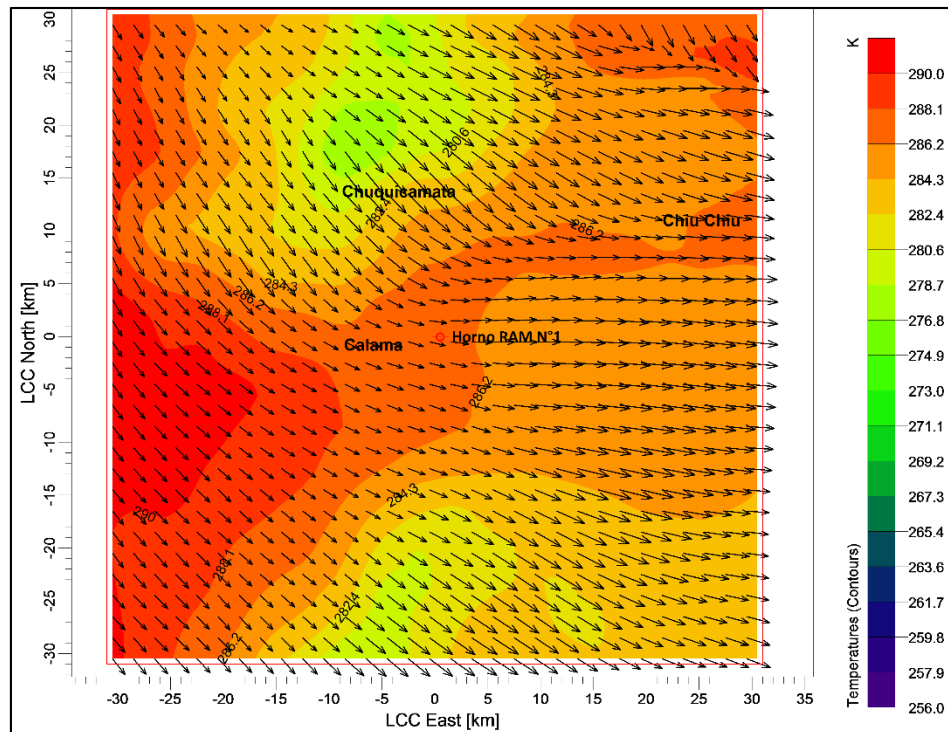


Ilustración 35 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF: 920 (m) sobre superficie.

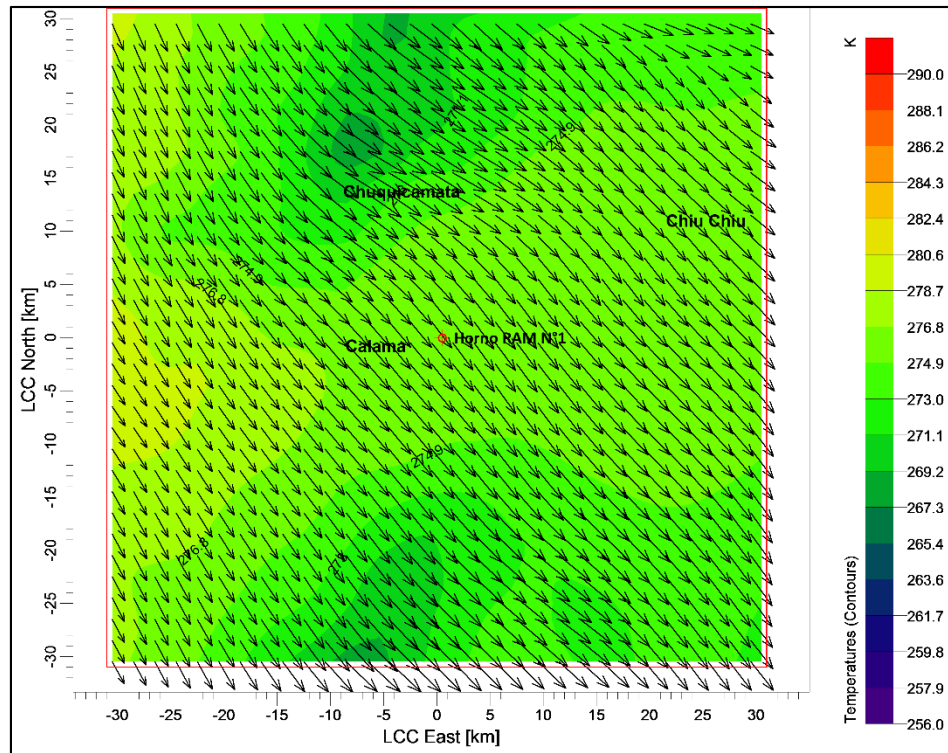


Ilustración 36 Campo de vientos y temperatura obtenido del modelo WRF. 1600 (m) sobre superficie.

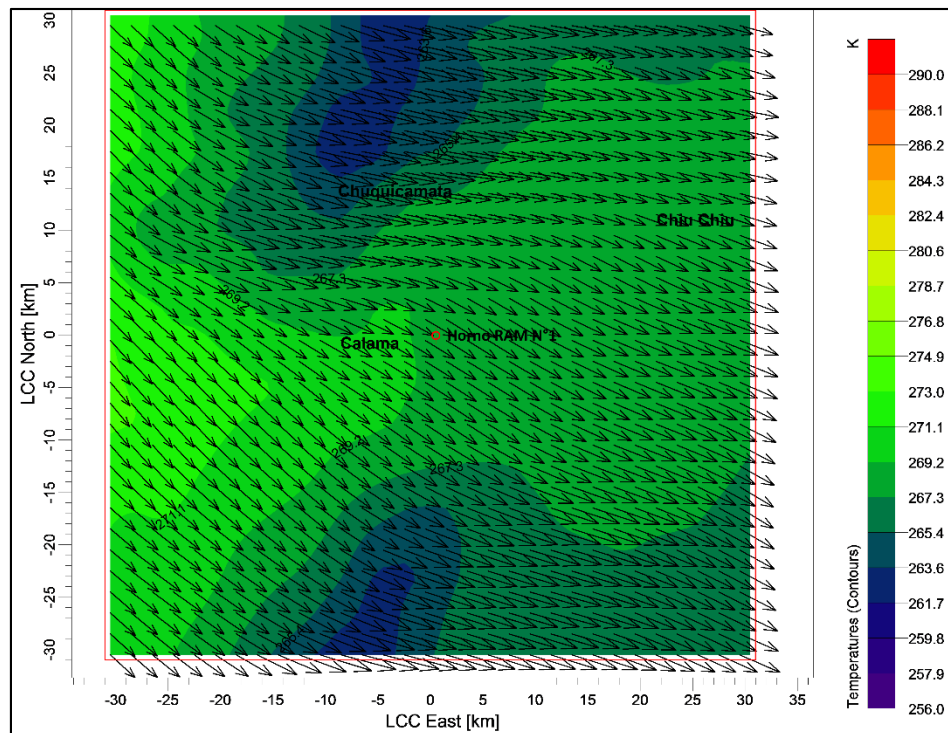


Ilustración 37 Campo de Vientos y Temperatura obtenida del modelo WRF. 2500 (m) sobre superficie

3.6 Análisis de incertidumbre de la modelación meteorológica

Los resultados de la modelación meteorológica se utilizan como *input* para la modelación del transporte y dispersión de contaminantes, por esta razón, interesa conocer la bondad de ajuste de la modelación meteorológica y el análisis de la incertidumbre asociado.

Para efectos de este proyecto, el receptor sensible desde el punto de vista de la calidad del aire se ubica en la localidad de Calama, específicamente en el Colegio Pedro Vergara Keller. Por tanto, se evalúa en esta localidad las implicancias de los resultados del modelo de calidad del aire, en cuanto a la incertidumbre de la modelación meteorológica.

3.6.1 Bondad de Ajuste de modelación Meteorológica

El ajuste de un modelo meteorológico se evalúa al comparar estadísticamente, los valores observados o medidos, con los valores modelados. Existen diversos estadígrafos de bondad de ajuste, sin embargo el IOA (Index of Agreement) es el más robusto, pues integra los errores cuadrático medio y los errores absolutos. El IOA se define de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Index of agreement (IOA)} = 1 - \frac{N * RMSE^2}{\sum^N |a_{mod} - \bar{a}_{mod}| + |a_{obs} - \bar{a}_{obs}|} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum^N (a_{mod} - a_{obs})^2\right)}$$

Donde:

IOA = Índice de Ajuste (adimensional)

N = Numero de Datos

a_{obs} = Valor Observado.

a_{mod} = Valor Modelado.

Las variables más sensibles para evaluar el desempeño de la modelación de calidad del aire, corresponden a la velocidad del viento y a la temperatura. La velocidad del viento se relaciona inversamente con las concentraciones, es decir, al aumentar la velocidad del viento se espera menor concentración en un receptor dado. Para la temperatura, el efecto es también inverso, dado que a mayor temperatura, se espera mayor desarrollo de la capa de mezcla, lo cual implica mayor volumen de dilución de los contaminantes y por tanto menor concentración de ellos en la calidad del aire.

Por lo anterior, se calcularon los IOA de la velocidad del viento y de la temperatura ambiental, al aplicar la ecuación (1) con los datos medidos y modelados en el colegio Pedro Vergara Keller. Los valores obtenidos corresponden a 0,79 y 0,99 para la velocidad del viento y temperatura, respectivamente. Una modelación meteorológica resulta confiable, si el IOA es mayor o igual a 0,60 para la velocidad del viento, y mayor o igual a 0,80 para la temperatura.

En consecuencia se concluye que la modelación meteorológica WRF presenta un buen ajuste en ambos dominios (sectores), sin embargo, se debe calcular la incertidumbre para incluirla en la estimación de emisiones.

3.6.2 Análisis de Incertidumbre

Considerando los resultados de la modelación meteorológica obtenida a través de WRF para la zona de estudio, y específicamente los valores modelados en el receptor sensible (en este caso Colegio Pedro Vergara Keller), se comparan estos últimos con los valores registrados por la estación. En base a lo anterior, se presenta un análisis de incertidumbre de manera que se explicita el potencial impacto de la modelación meteorológica sobre las concentraciones estimadas

3.6.2.1 Receptores.

Los receptores discretos o de interés definidos para la modelación se presentan en la Tabla 12. Los tres primeros corresponden a tres estaciones de monitoreo de calidad del aire que se emplazan en Calama (Ilustración 38). Los otros dos receptores son los centros urbanos que se emplazan dentro del dominio de modelación, vale decir Chiu Chiu y Chuquicamata.

Por otra parte, la grilla de receptores que permite evaluar el impacto del proyecto en la totalidad del dominio de modelación, consta de 3.844 puntos que cuentan con un espaciamiento de 1 kilómetro. La grilla de receptores se presenta en la Ilustración 39.

Tabla 12 Receptores discretos o de interés evaluados en la modelación (coordenadas UTM, WGS84 y HUSO 19).

Receptor	X (m)	Y (m)	Altura (msnm)
Estación Centro	507 371	7 516 056	2 266
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	506 895	7 518 222	2 267
Estación Escuela Kamac Mayu	509 245	7 518 645	2 302
Chuquicamata	507 142	7 532 002	2 725
Chiu Chiu	536 030	7 529 169	2 531
Hospital del Cobre	509 427	7 517 292	2 299

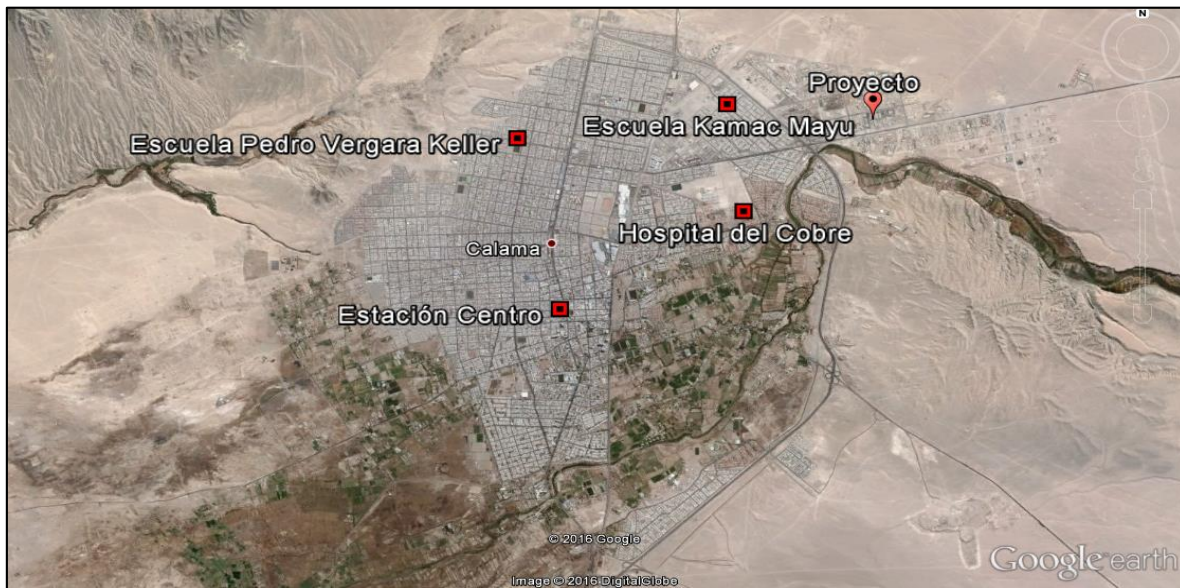


Ilustración 38 Receptores discretos de la ciudad de Calama.

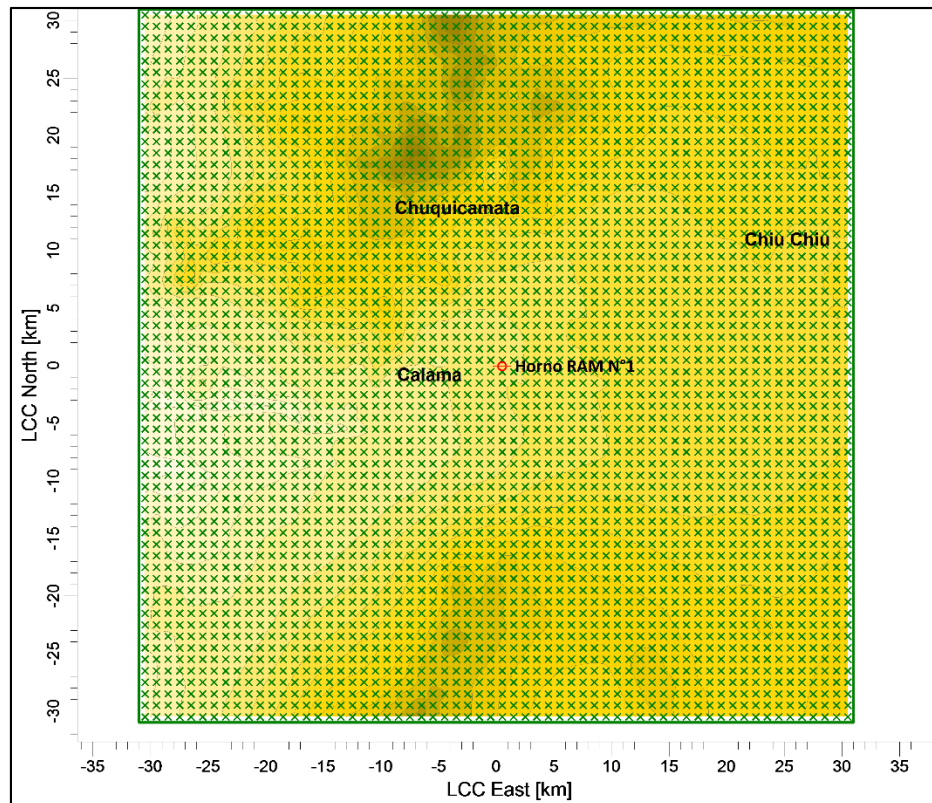


Ilustración 39 Grilla de receptores.

Es así como se calculó la incertidumbre de la modelación meteorológica al estimar los errores porcentuales de la velocidad del viento y la temperatura. La Tabla 13 muestra los estadígrafos para los datos observados y modelados en Calama.

Tabla 13 Estadígrafos meteorológicos observados y modelados del Colegio Pedro Vergara Keller.

Variables	OBS/MOD	Media	Coefficiente de variación	Min	Max
Velocidad de viento	Observado	3,9	0,53	0,000	11,083
	Modelado	4,2	0,58	0,000	17,71
Temperatura	Observado	14,7	0,45	-4,647	27,22
	Modelado	14,8	0,36	-1,05	26,76

Error Porcentual absoluto de la Velocidad del Viento %	6,29
Error Porcentual absoluto de la Temperatura Ambiental %	0,92
Incertidumbre %	6,82

De la Tabla 13 se desprende que el error porcentual absoluto de la velocidad del viento es de 6,29%, y para la temperatura resultó ser de 0,92%, con un efecto conjunto resultante en una incertidumbre de 6,82% (6,29/0,92) para el dominio de modelación sector Calama.

Esta incertidumbre de 6,82% en Calama, se aplicó a las concentraciones estimadas por el modelo en cada sector, para incluir los errores de la modelación meteorológica según lo establece la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA.

La ecuación (2) muestra el ajuste por incertidumbre.

$$Con_{cf} = Con_{cm} + 0,068 \times Con_{cm} = 1,068 \times Con_{cm} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

Con_{cf} = Concentración modelada ajustada por incertidumbre meteorológica

Con_{cm} = Concentración modelada

4 INFORMACIÓN INGRESADA AL MODELO

A continuación se describe la información ingresada al modelo y que es requerida para determinar la calidad del aire producto de la operación del horno principal de la planta RAM.

4.1.1 Fuentes y Emisiones

Las fuentes a modelar corresponden a la chimenea del horno principal de la Planta RAM existente y la chimenea proyectada bajo las mismas dimensiones y especificaciones de la primera. Las características físicas y operacionales de dichas fuentes se presentan en la Tabla 14. En tanto, en la Ilustración 40 se muestra la representación de las fuentes ingresadas al modelo sobre Google Earth. Los contaminantes a modelar son PM10, SO₂ y Pb, cuyas tasas de emisión fueron determinadas en base a campañas de mediciones isocinético provistas por RAM y resumidas en emisiones al año, consideran 24 horas de producción continua como nivel de actividad (Tabla 15). Cabe señalar que el combustible usado fue petróleo diésel N°2, considerado como el peor combustible posible para el funcionamiento de la planta. A su vez mencionar que el CO no fue ingresado al modelo puesto que las mediciones isocinéticas reportaron valores iguales 0 ton/año, en tanto que el CO₂ como especie no está disponible en las librerías específicas contenidas en el modelo CALPUFF no siendo en consecuencia posible de modelar. Finalmente, el NO₂ no fue medido en los muestreos isocinéticos realizados por RAM, por tanto no existía la información básica necesaria para su modelación.

Tabla 14 Características físicas y operacionales Chimenea del Horno N°1 RAM.

Fuentes Puntuales		
	HORNO RAM EXISTENTE	HORNO RAM EN EVALUACION
X (m)	510802,0	510851,0
Y (m)	7518428,0	7518432,0
Altura de chimenea (m) [Stack Height]	10,2	10,2
Diámetro (m) [Stack Diameter]	0,9	0,9
Velocidad Salida (m/s) [Exit Velocity]	14,4	14,4
Temperatura Salida (°K) [Exit Temperature]	298,4	298,4

Fuente: Informes isocinéticos de RAM.

Tabla 15 Resumen de las emisiones de contaminantes atmosféricas modeladas.

Fuentes Puntuales			
	HORNO RAM EXISTENTE	HORNO RAM EN EVALUACION	Observación
Emisión SO ₂ (ton/año)	110,4	110,4	
Emisión NO (ton/año)	-	-	No Medida
Emisión NO ₂ (ton/año)	-	-	No Medida
Emisión CO(ton/año)	0,0	0,0	Valores reportados por medición isocinética
Emisión CO ₂ (ton/año)	1.130,7	1.130,7	
Emisión PM10 (ton/año)	4,7	4,7	
Emisión PM2.5 (ton/año)	-	-	No Medida
Emisión Pb (ton/año)	0,4	0,4	

Fuente: elaboración propia.



Ilustración 40 Representación de las fuentes fijas modeladas (existente y proyectada) de la planta RAM.

5 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los obtenidos de la modelación y debidamente compensado según lo indicado en el ítem 3.6.2.1, tanto para los receptores discretos como para los puntos de máximo impacto, producto de las emisiones de ambas chimeneas en conjunto. En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos para PM10 y en segundo lugar, para el SO₂.

Cabe señalar que los valores de calidad de aire para Línea de Base empleados, incorporan el efecto de las emisiones de los proyectos emplazados en el área de influencia del Proyecto “Complemento Módulo RAM”, recientemente aprobados y que aún no son registrados en las estaciones de monitoreo, y que cuentan con información para las mismas estaciones con las que la línea de base fue construida; a saber:

- “Sistema de almacenamiento y distribución de petróleo diésel para estación de combustibles Mina RT”
(http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2130884699)
- “Aumento de Eficiencia Plantas de Ácido Sulfúrico N° 3 y 4 a Doble Contacto - Doble Absorción”
(http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2130758230).
- “Optimización Infraestructura del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea”
(http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2131097176).
- “Disposición de Residuos Domiciliarios y Asimilables, Sector Montecristo”
(http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2130374694).
- “Lixiviación de Ripios y Recursos Artificiales”
(http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2131304369).
- Plan Maestro de Fundición: Etapa II y III
(http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2130871647).

Los valores de concentración de especies de la Línea de Base modificados por los proyectos anteriormente señalados, se muestran en la Tablas 16 y 17. Cabe señalar que no todas las especies consideradas en la modelación, fueron también evaluadas en los proyectos listados precedentemente. Cabe señalar que algunas de las concentraciones en los puntos receptores analizados disminuyen, puesto que los proyectos “Sistema de almacenamiento y distribución de petróleo diésel para estación de combustibles Mina RT” y “Lixiviación de Ripios y Recursos Artificiales” contemplaron reducciones en sus emisiones respecto de los proyectos originales.

Tabla 16 Proyectos sumados a la línea de base construida a partir del receptor Estación Centro.

Receptor	Proyecto	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		SO2 1ario ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		SO2 2ario ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	
		Anual	P98 diario	Anual	P98 diario	Anual	P99 diario	Anual	P99,7 diario
Estación Centro	Sistema de almacenamiento y distribución de petróleo diesel para estación de combustibles Mina RT	-0,0354	-0,1008	-0,0028	-0,0081	---	---	---	---
	Aumento de Eficiencia Plantas de Ácido Sulfúrico N° 3 y 4 a Doble Contacto - Doble Absorción	0	0	---	---	-7,9604284	-37,164087	---	---
	Optimización Infraestructura del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea	0,0138	0,0636	0,0008	0,0035	0	0	0,0001	0,0003
	Disposición de Residuos Domiciliarios y Asimilables, Sector Montecristo	0,0028	0,0135	0,0005	0,0023	---	---	---	---
	Lixiviación de Ripios y Recursos Artificiales	-0,2366	-1,0606	0,0052	-0,0145	---	---	---	---
	Plan Maestro de Fundición: Etapa II y III	0	0	---	---	---	---	---	---
	Línea de Base + Proyectos	43,0746	68,9157	12,6737	22,3132	0	0	4,3301	26,0003

Tabla 17 Proyectos sumados a la línea de base construida a partir del receptor Colegio Pedro Vergara Keller.

Receptor	Proyecto	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		SO2 1ario ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		SO2 2ario ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	
		Anual	P98 diario	Anual	P98 diario	Anual	P99 diario	Anual	P99,7 diario
Colegio Pedro V. Keller	Sistema de almacenamiento y distribución de petróleo diesel para estación de combustibles Mina RT	-0,0644	-0,1972	-0,0052	-0,0159	---	---	---	---
	Aumento de Eficiencia Plantas de Ácido Sulfúrico N° 3 y 4 a Doble Contacto - Doble Absorción	0	0	---	---	-20,444861	-80,95596	---	---
	Optimización Infraestructura del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea	0,0324	0,1975	0,0018	0,0107	0	0,0002	---	0,0007
	Disposición de Residuos Domiciliarios y Asimilables, Sector Montecristo	0,0056	0,0253	0,0011	0,0043	---	---	---	---
	Lixiviación de Ripios y Recursos Artificiales	-0,5631	-2,0056	0,0273	-0,0082	---	---	---	---
	Plan Maestro de Fundición: Etapa II y III	0	0	---	---	---	---	---	---
	Línea de Base + Proyectos	56,7405	93,35	14,355	32,6609	0	0	---	0,0007

5.1 Material Particulado Respirable (PM10).

5.1.1 Concentración 24 horas

En la Tabla 18 se presenta el aporte de las emisiones a la concentración diaria de PM10 en los receptores discretos. En tanto, desde la Ilustración 41 a la Ilustración 46, se presentan las series de tiempo de las concentraciones de 24 horas para cada uno de los receptores. Tal como se puede observar, el aporte de PM10 que genera la operación de ambas chimeneas en todos los receptores es marginal con respecto a la norma (D.S. 20/2013).

Tabla 18 Concentración PM10, 24 horas, Percentil 98.

Receptor	Aporte del proyecto ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Norma	% Norma	LDB con proyectos + Proyecto RAM ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
Estación Centro	0,009	0,01	150	0,0	68,9257
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	0,032	0,03	150	0,0	93,38
Chiu Chiu	0,001	0,00	150	0,0	---
Chuquicamata	0,001	0,00	150	0,0	---
Escuela Kamac Mayu	0,113	0,11	150	0,1	---
Hospital del Cobre	0,028	0,03	151	0,0	---

Fuente: Elaboración propia

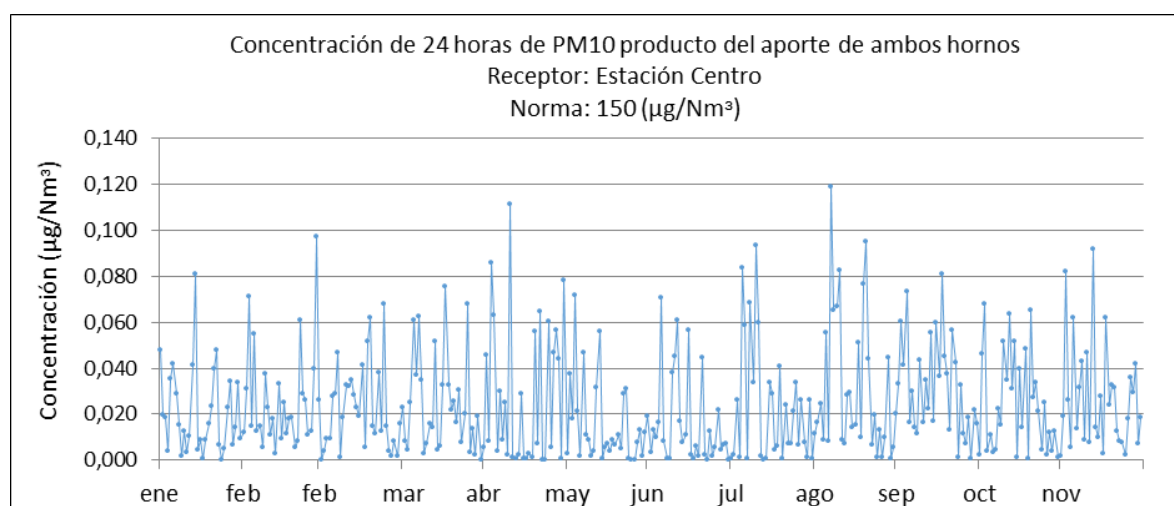


Ilustración 41 Concentración 24 horas PM10 – Estación Centro.

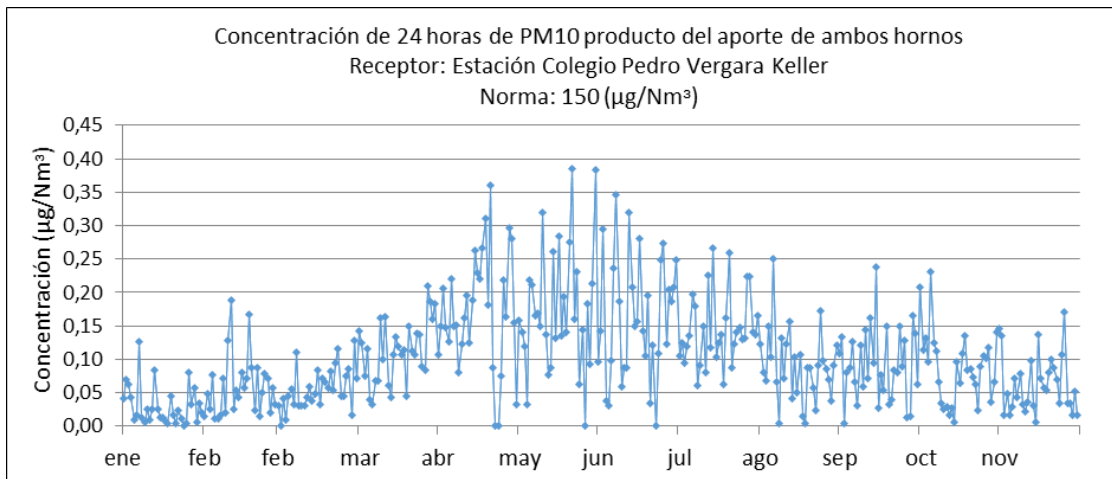


Ilustración 42 Concentración 24 horas PM10 – Estación Colegio Pedro Vergara Keller.

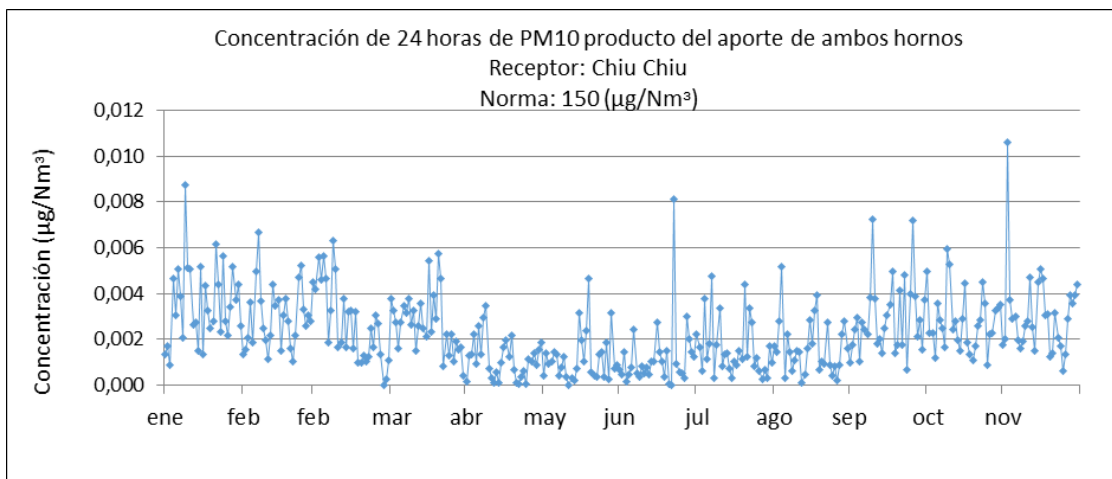


Ilustración 43 Concentración 24 horas PM10 – Chiu Chiu.

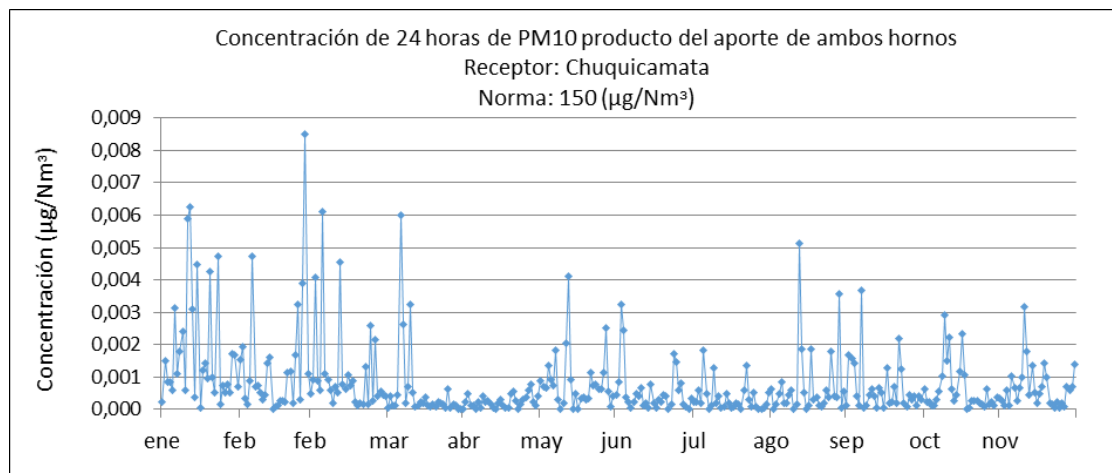


Ilustración 44 Concentración 24 horas PM10 – Estación Chuquicamata.

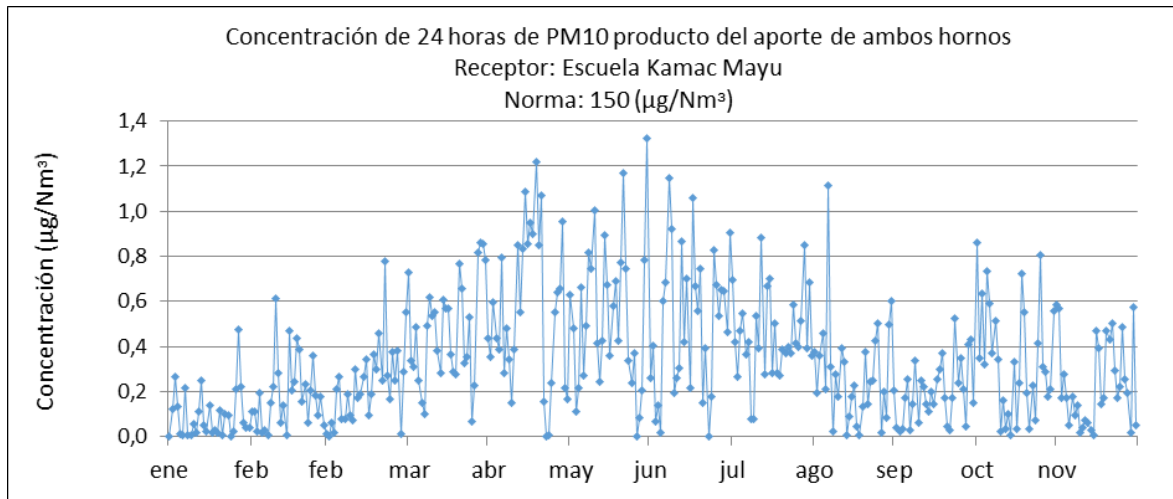


Ilustración 45 Concentración 24 horas PM10 – Escuela Kamac Mayu.

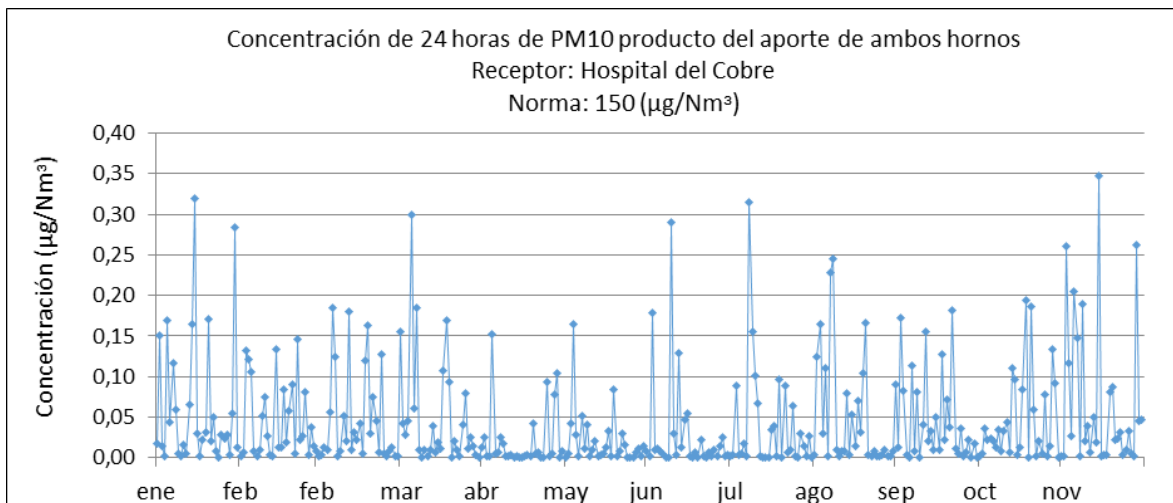


Ilustración 46 Concentración 24 horas PM10 – Hospital del Cobre.

5.1.2 Concentración Anual

En la Tabla 19 se presenta el aporte de la operación de los dos hornos a la concentración anual de PM10 en los receptores discretos. Estos valores son resultados de la modelación y compensados por incertidumbre meteorológica de los datos simulados. Nuevamente, los aportes del proyecto corresponden a valores marginales respecto de la norma.

Tabla 19 Concentración Anual PM10 - Aporte de ambas chimeneas de hornos RAM.

Receptor	Aporte del proyecto ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Norma	% Norma	LDB con proyectos + Proyecto RAM ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
Estación Centro	0,024	0,024	50	0,0	43,0986
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	0,103	0,11	50	0,2	57,8505
Chiu Chiu	0,002	0,00	50	0,0	---
Chuquicamata	0,001	0,00	50	0,0	---
Escuela Kamac Mayu	0,341	0,35	50	0,7	---
Hospital del Cobre	0,043	0,04	50	0,1	---

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Puntos de Máximo Impacto

Los puntos de máximo impacto corresponden a aquellos puntos de la grilla del modelo en donde las emisiones de las chimeneas de los hornos de la planta RAM, generan las máximas concentraciones de un contaminante atmosférico. El aporte de PM10 en los puntos de máximo impacto se presenta en la Tabla 20 y se representan gráficamente en el ANEXO 1 CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN. Para ambas normas (diaria y anual) el máximo aporte del proyecto es marginal, alcanzando valores que, en el peor de los casos (concentración anual), apenas corresponden a un 2,5% de la norma.

Tabla 20 Aporte de PM10 en Puntos de Máximo Impacto (PMI).

Norma	Aporte del proyecto en PMI ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Límite norma ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	% Norma	X (m)	Y (m)
Concentración 24 horas Per98 (D.S. 20/2013)	0,106	2,80	150	1,9	509245	7518645
Concentración Anual (D.S. 45/2001)	0,34	1,24	50	2,5	509245	7518645

Fuente: Elaboración propia. Coordenadas UTM, WGS84, Huso 19.

5.1.4 Ciclo diario del aporte de PM10

En la Ilustración 47 se presenta el ciclo diario del aporte de la operación de ambos hornos en los receptores discretos. Tal como se puede observar, aunque marginales, los mayores aportes se presentan durante las horas de la madrugada cuando las condiciones para la dispersión son más desfavorables.

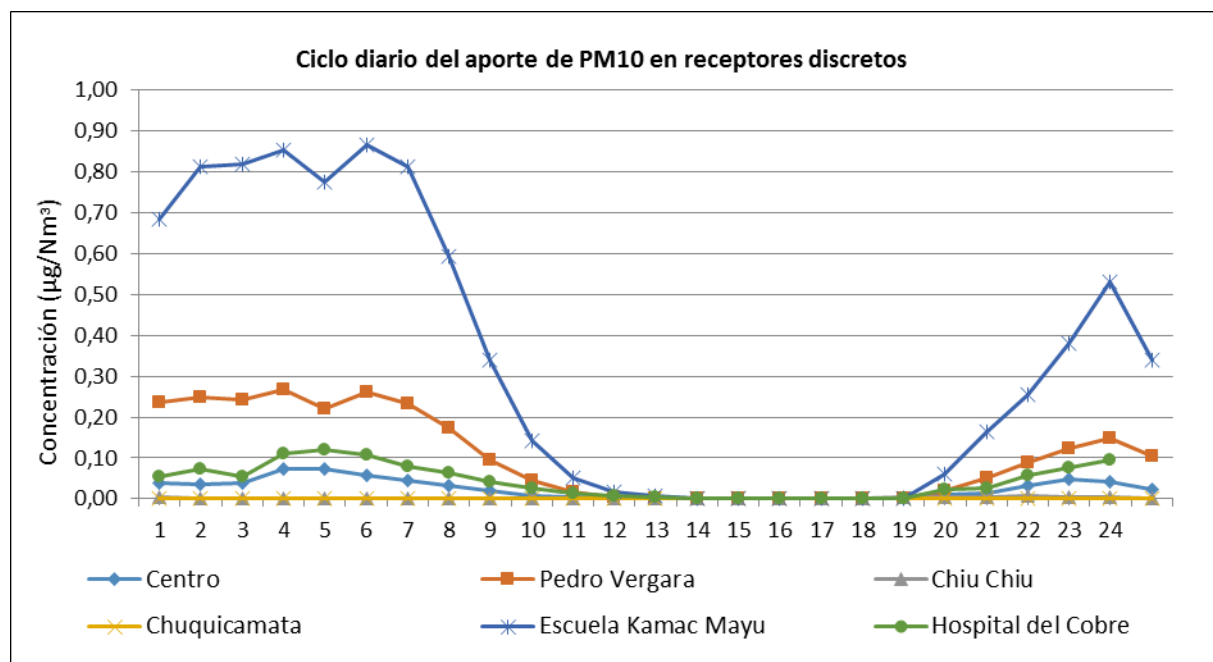


Ilustración 47 Ciclo diario del aporte de PM10 en receptores discretos.

5.2 Dióxido de Azufre (SO₂)

5.2.1 Concentración 24 horas

En la Tabla 21 y Tabla 22 se presenta el aporte de la operación de ambos hornos a la concentración de 24 horas de SO₂ en los receptores discretos, evaluados para la norma primaria (D.S. N°113/2002) como secundaria (D.S. N°22/2010), respectivamente, y que se encuentran vigentes para este contaminante. En tanto, desde la Ilustración 48 a la Ilustración 53, se presentan los gráficos de las series de tiempo de las concentraciones de 24 horas para uno de los receptores. Tal como se observa, el aporte de SO₂ que genera la operación de las chimeneas, es marginal en todos los receptores con respecto a la norma. Además, sumado dicho aporte a la actividad de aquellos proyectos que estarán pronto en operación, tampoco afectará la calidad del aire, por cuanto la norma en ningún caso es superada.

Tabla 21 Concentración SO₂, 24 horas, Percentil 99 (Norma Primaria).

Receptor	Aporte del proyecto (µg/Nm³)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	Norma	% Norma	LDB con proyectos + Proyecto RAM (µg/Nm³)
Estación Centro	2,0	6,52	250	2,6	6,52
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	7,4	11,90	250	4,8	---
Chiu Chiu	0,1	4,62	250	1,8	---
Chuquicamata	0,1	4,59	250	1,8	---
Escuela Kamac Mayu	26,2	30,65	250	12,3	---
Hospital del Cobre	6,8	11,29	250	4,5	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Concentración SO₂, 24 horas, Percentil 99,7 (Norma Secundaria).

Receptor	Aporte del proyecto (µg/Nm³)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	Norma	% Norma	LDB con proyectos + Proyecto RAM (µg/Nm³)
Estación Centro	2,6	9,12	365	2,5	34,79
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	8,8	15,32	365	4,2	---
Chiu Chiu	0,2	6,72	365	1,8	86,72
Chuquicamata	0,1	6,69	365	1,8	---
Escuela Kamac Mayu	28,6	35,17	365	9,6	---
Hospital del Cobre	7,5	14,03	365	3,8	---

Fuente: Elaboración propia.

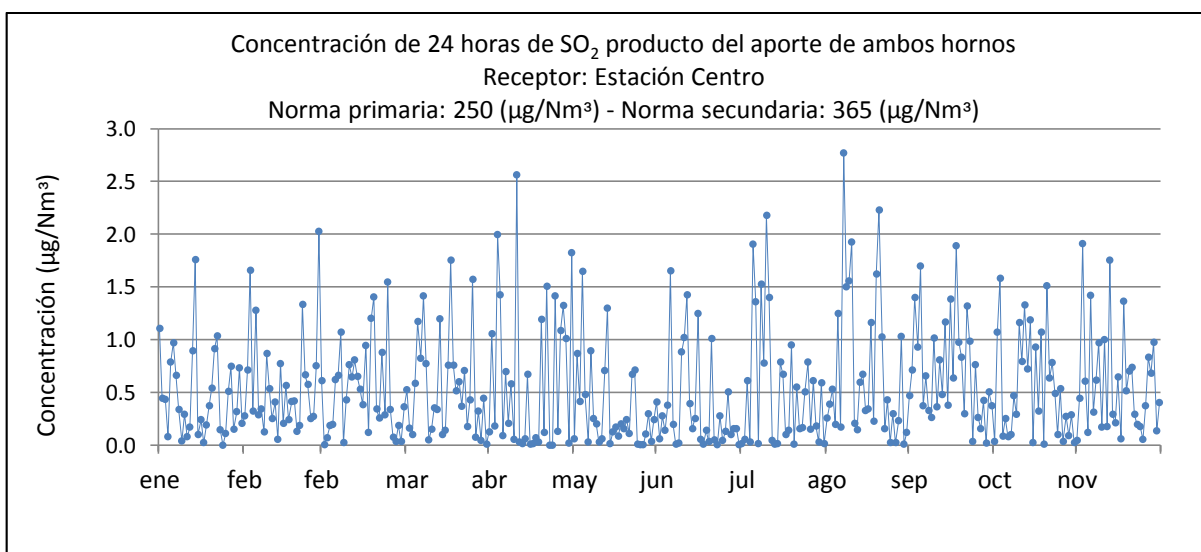


Ilustración 48 Concentración 24 horas SO₂ – Estación Centro.

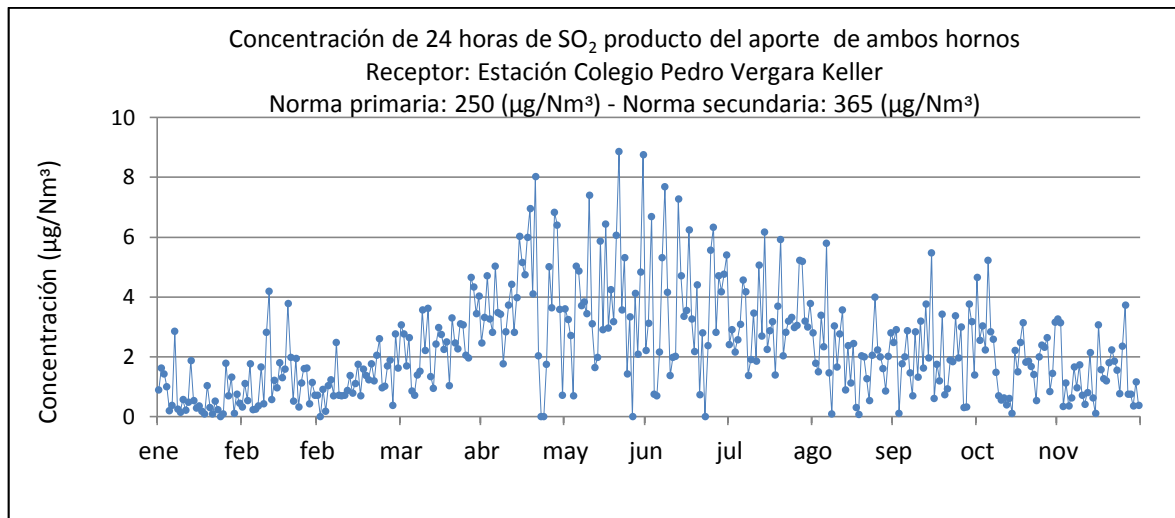


Ilustración 49 Concentración 24 horas SO₂ – Estación Colegio Pedro Vergara Keller.

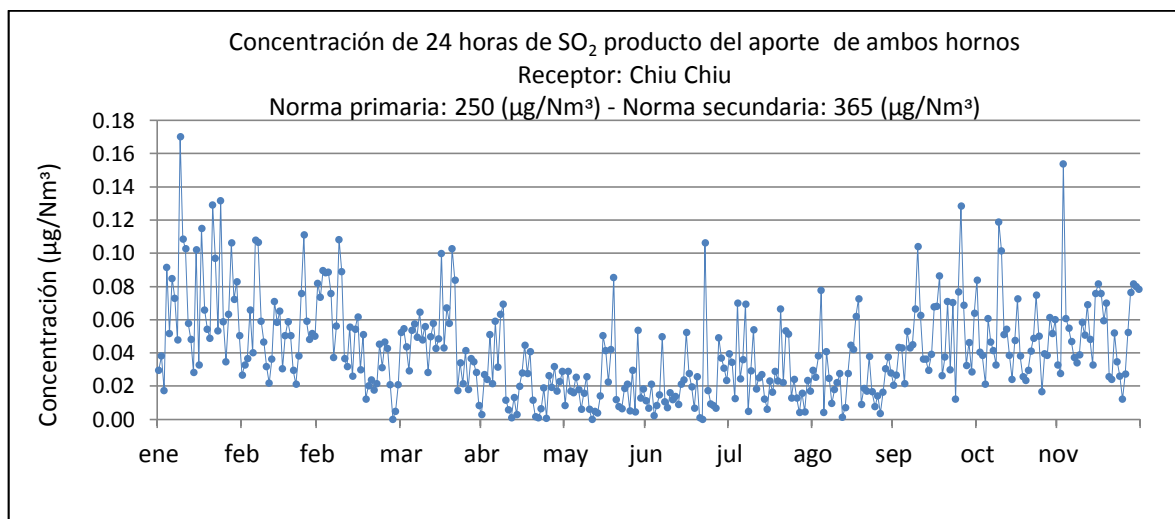


Ilustración 50 Concentración 24 horas SO₂ – Chiu Chiu.

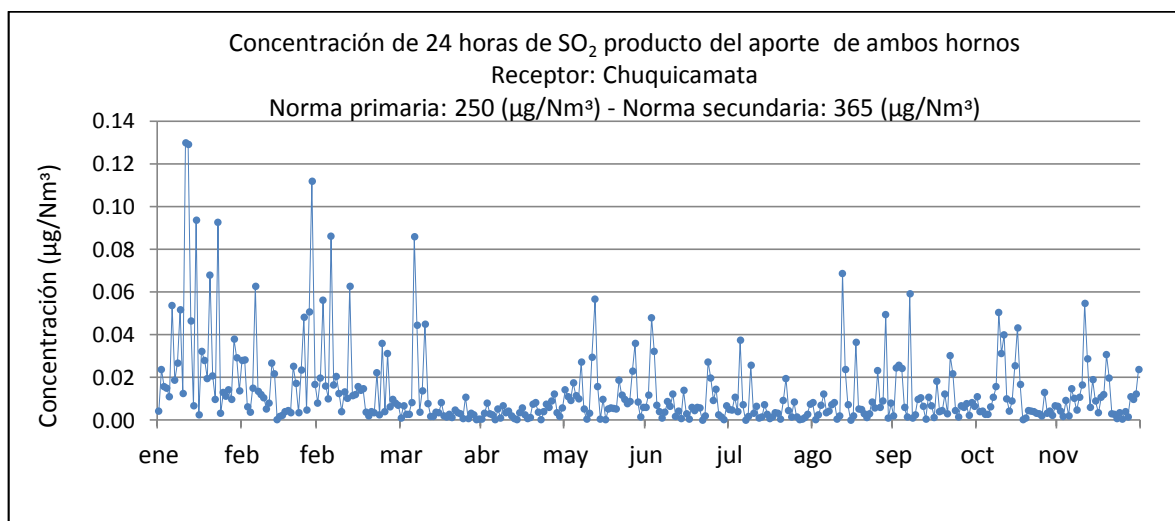


Ilustración 51 Concentración 24 horas SO₂ – Chuquicamata.

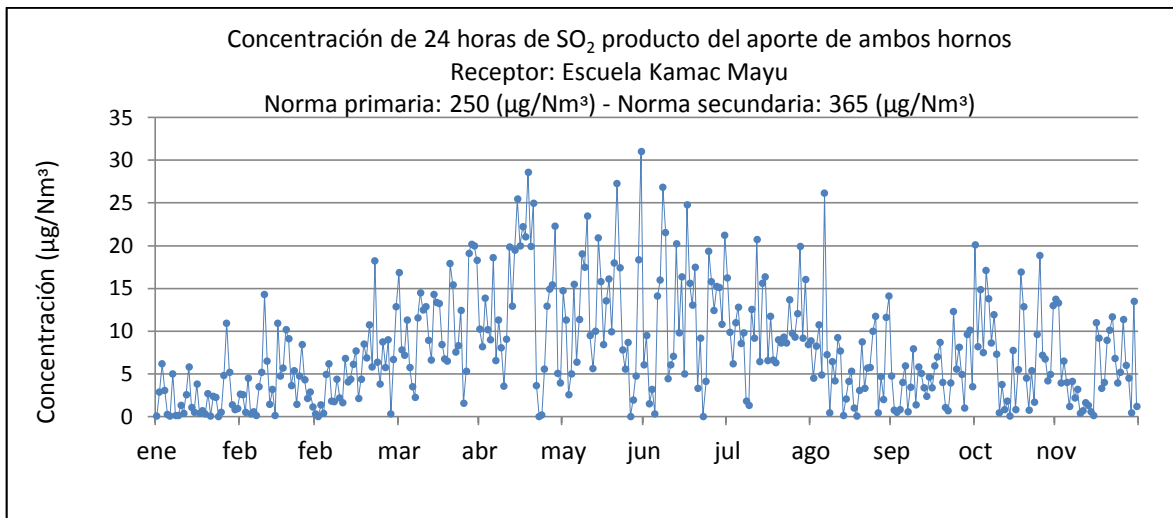


Ilustración 52 Concentración 24 horas SO₂ – Escuela Kamac Mayu.

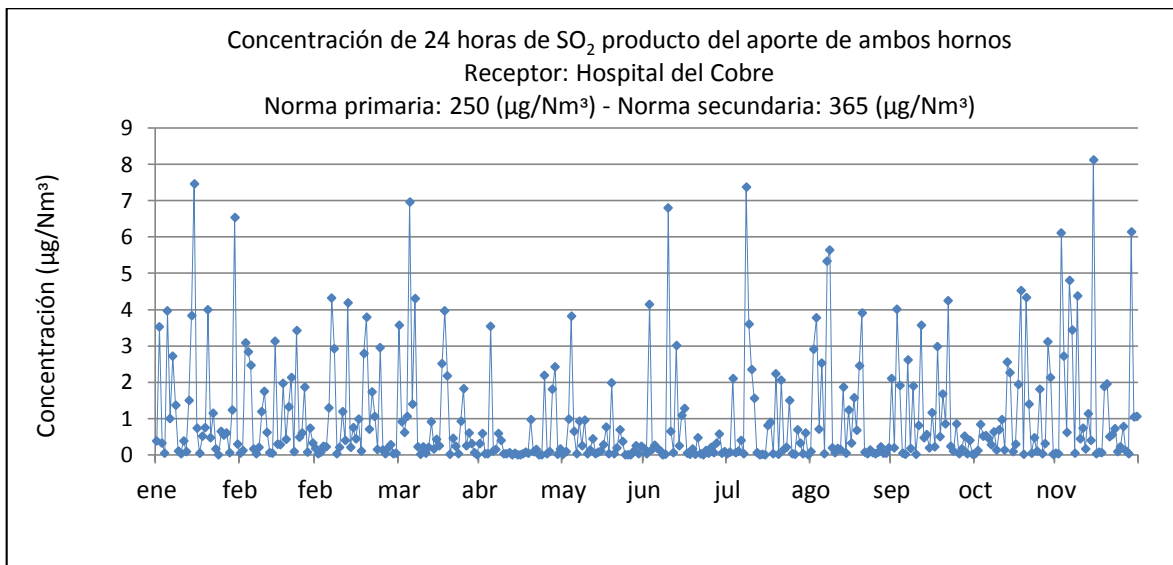


Ilustración 53 Concentración 24 horas SO₂- Hospital del Cobre.

5.2.2 Concentración Anual

En la Tabla 23 se presenta el aporte de la operación de ambos hornos, a la concentración anual de SO₂ en los receptores discretos. El mayor aporte se produce en la estación Escuela Kamac Mayu siendo menor al 10% de la norma, establecida en 80 (µg/Nm³), tanto para la norma primaria como secundaria que regula la calidad del aire para este contaminante. En el colegio Pedro Vergara Keller la norma alcanza el 4,7% mientras que en los demás receptores (Estación Centro, Chiu-Chiu, y Chuquicamata) no alcanza al 3% de la norma. En cuanto a la estación Hospital del Cobre apenas llega el 3,0% de la norma. Cabe señalar que la estación Centro fue también considerada para evaluación de norma secundaria debido a su localización dentro del área de influencia del proyecto y su cercanía a la cuenca del río Loa y los recursos naturales que allí existen.

Tabla 23 Concentración Anual SO₂ - Aporte ambos chimeneas RAM. (Norma Primaria y Secundaria)

Receptor	Aporte del proyecto (µg/Nm³)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	Norma	% Norma	LDB con proyectos + Proyecto RAM (µg/Nm³)	LDB con proyectos + Proyecto RAM (µg/Nm³)
Estación Centro	0,54	1,98	80	2,5	1,98	6,31
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	2,33	3,77	80	4,7	---	---
Chiu Chiu	0,04	1,48	80	1,8	---	4,81
Chuquicamata	0,01	1,45	80	1,8	---	---
Escuela Kamac Mayu	7,95	9,39	80	11,7	---	---
Hospital del Cobre	1,00	2,43	80	3,0	---	---

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Concentración 1 hora

En la Tabla 24 se presenta el aporte de la operación de los hornos a la concentración anual de SO₂ en los receptores discretos. El aporte es marginal en todos los receptores, alcanzando en el peor de los casos, el 14,6 % de la norma secundaria que regula la calidad del aire para este contaminante en la escuela Kamac Mayu.

Tabla 24 Concentración 1 hora SO₂ - Aporte ambas chimeneas RAM.

Receptor	Aporte del proyecto (µg/Nm³)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	Norma	% Norma
Estación Centro	28,3	46,27	1000	4,6
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	36,3	54,32	1000	5,4
Chiu Chiu	0,7	18,68	1000	1,9
Chuquicamata	0,7	18,67	1000	1,9
Escuela Kamac Mayu	127,6	145,59	1000	14,6
Hospital del Cobre	84,0	101,93	1000	10,2

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Puntos de Máximo Impacto

Los puntos de máximo impacto corresponden a aquellos puntos de la grilla del modelo en donde las emisiones de ambas chimeneas de la planta RAM generan las máximas concentraciones de SO₂, para promedios de una hora, 24 horas o un año, de acuerdo a las diferentes normas de calidad existentes. Los puntos de máximo impacto se presentan en la Tabla 25 y la Tabla 26 para las normas primaria y secundaria, respectivamente, y se representan gráficamente tanto en la en el ANEXO 1 CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN como en la Ilustración 54. Al respecto, cabe señalar que los puntos identificados se encuentran entre 0,9 y 1,2 km de distancia del río Loa y las zonas de cultivo aledañas, con una dispersión del contaminante en el sentido opuesto a la localización del río respecto de las fuentes de emisión modeladas, cuando en la zona predominan los vientos más intensos (entre 4 – 7 m/s) que son provenientes del oeste y sur-oeste y que explican la existencia del PMI para promedios diarios. Aquellos vientos más débiles y que explicarían la posición del PMI en concentración anual, son provenientes del nor-este que, de acuerdo a la posición relativa de

dicho punto, tendrían una trayectoria en diagonal hacia el sur-oeste. En consecuencia las emisiones de SO₂ del Proyecto serían dispersas en sentido contrario a la posición relativa que el Loa tiene respecto del proyecto, o evitando tangencialmente dicho cuerpo de agua y los recursos naturales asociados a su cuenca, no generando impactos significativos en la porción del río incluida en el área de influencia del proyecto.

Tabla 25 Punto de Máximo Impacto (PMI) en la Norma Primaria de SO₂.

PMI	Aporte del proyecto (µg/Nm³)	Aporte del proyecto modelado ajustada por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	D.S. 113/2002 (µg/Nm³)	% Norma	X (m)	Y (m)
Concentración 24 horas Per99	26,2	27,99	250	11,2	510791	7518963
Anual	7,9	8,44	80	10,5	508788	7517970

Coordenadas UTM, WGS84, Huso 19.

Tabla 26 Punto de Máximo Impacto (PMI) Norma Secundaria de SO₂.

PMI	Aporte del proyecto (µg/Nm³)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	D.S. 22/2010 (µg/Nm³)	% Norma	X (m)	Y (m)
Concentración 1 hora Per99,73	208,3	222,51	1000	22,3	510791	7518963
Concentración 24 horas Per99,7	28,6	30,55	365	8,4	510791	7518963
Anual	7,95	8,49	80	10,6	508788	7517970

Coordenadas UTM, WGS84, Huso 19.



Ilustración 54 Plano de ubicación de los puntos de mayor impacto (PMI) de SO₂.

5.2.5 Ciclo diario del aporte de SO₂

En la Ilustración 55 se presenta el ciclo diario del aporte de SO₂ generado por la operación de ambos hornos en los receptores discretos. Tal como puede observarse, los mayores aportes se presentan durante las horas de la madrugada, cuando las condiciones meteorológicas son más estables y por tanto más desfavorables para la ventilación y dilución de los aerosoles atmosféricos.

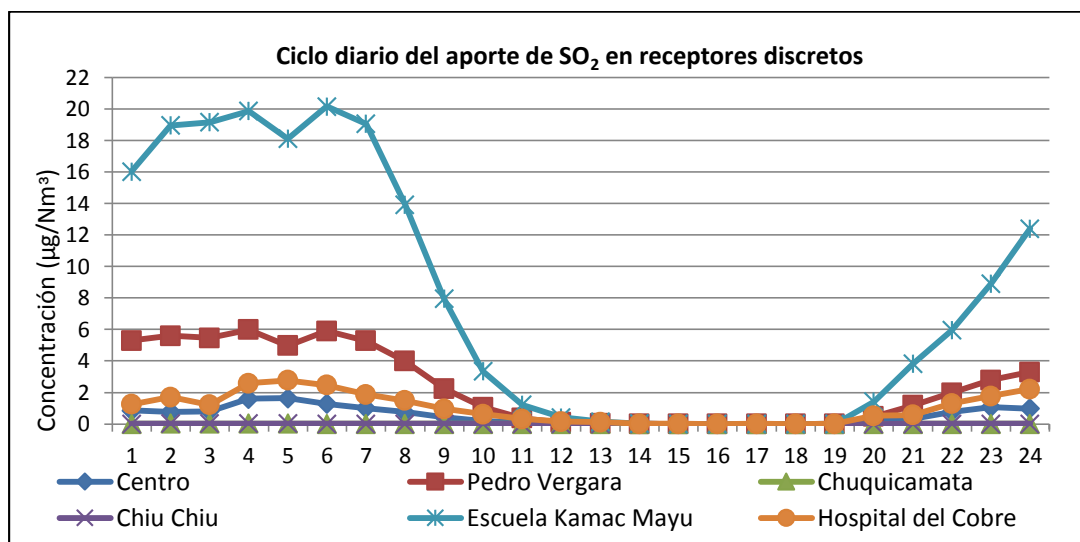


Ilustración 55 Ciclo diario del aporte de SO₂ en receptores discretos.

5.3 PLOMO (Pb)

5.3.1 Concentración Anual (Pb)

En la Tabla 27 se presenta el resultado para el aporte de ambos hornos a la concentración anual de Pb en los receptores discretos y el grado de cumplimiento respecto de la norma (D.S. 136/2001). En tanto, desde la Ilustración 56 a la Ilustración 61 se presentan las series de tiempo de las concentraciones horarias para cada uno de los receptores.

Tabla 27 Concentración Pb anual en receptores discretos.

Receptor	Aporte del proyecto ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Norma ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	% Norma
Estación Centro	0,002	0,01	0,5	0,40%
Estación Colegio Pedro Vergara Keller	0,0088	0,02	0,5	1,80%
Chiu Chiu	0,0002	0,01	0,5	0,00%
Chuquicamata	0,0001	0,01	0,5	0,00%
Escuela Kamac Mayu	0,029	0,04	0,5	5,80%
Hospital del Cobre	0,0037	0,01	0,5	0,70%

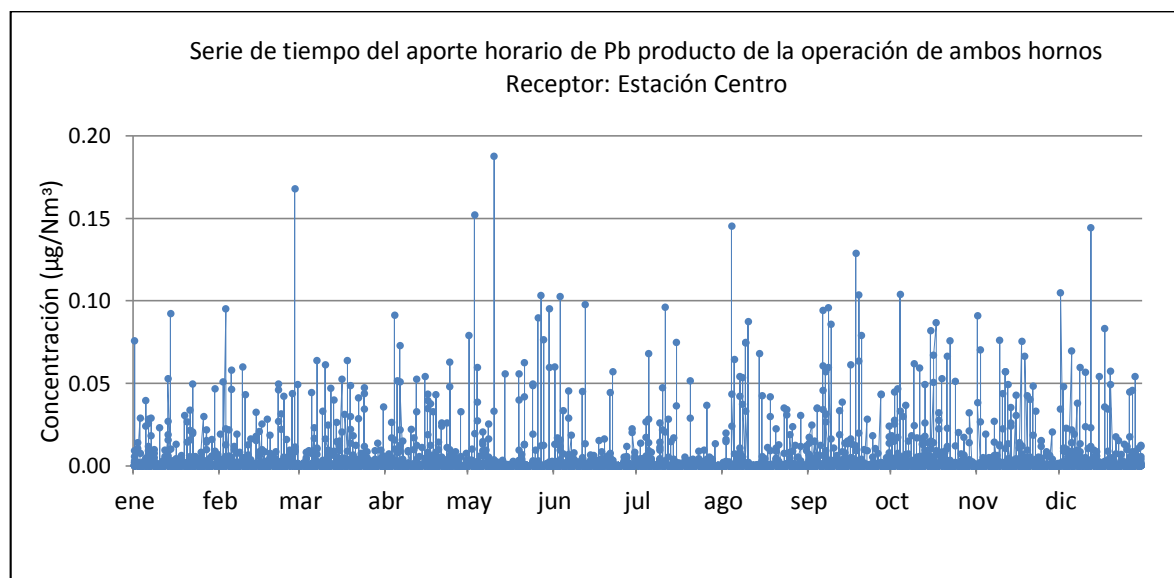


Ilustración 56 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Estación Centro.

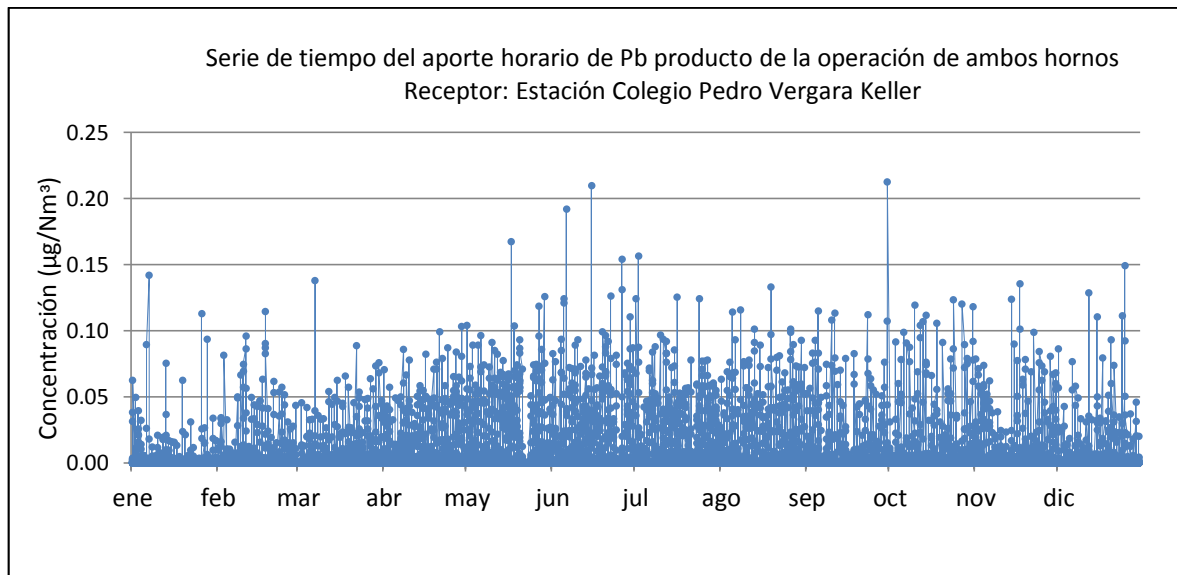


Ilustración 57 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Estación Colegio Pedro Vergara Keller.

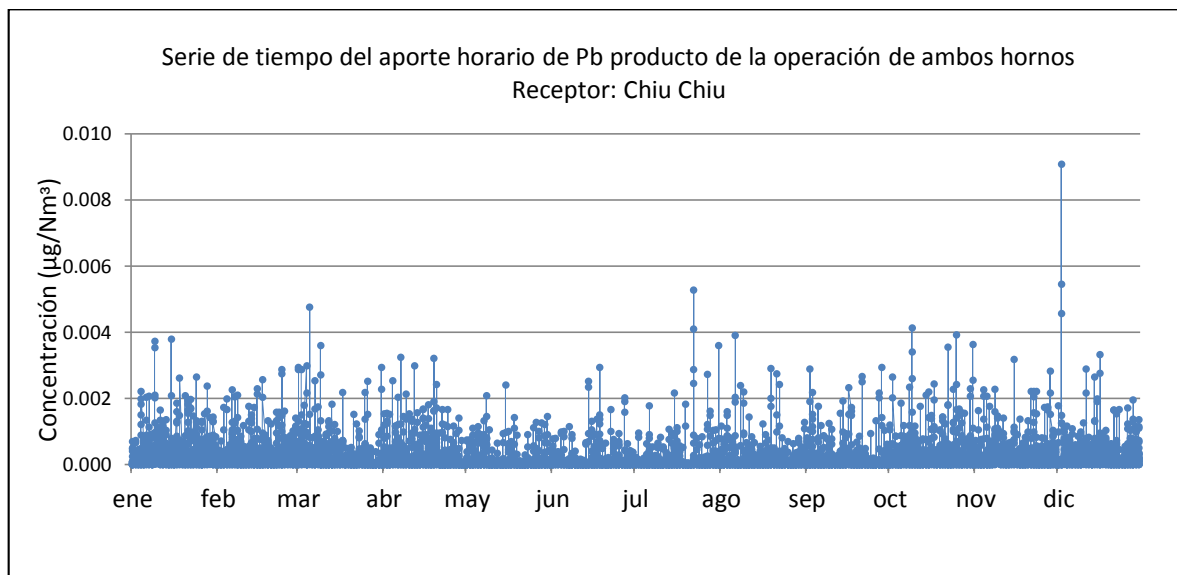


Ilustración 58 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Chiu Chiu.

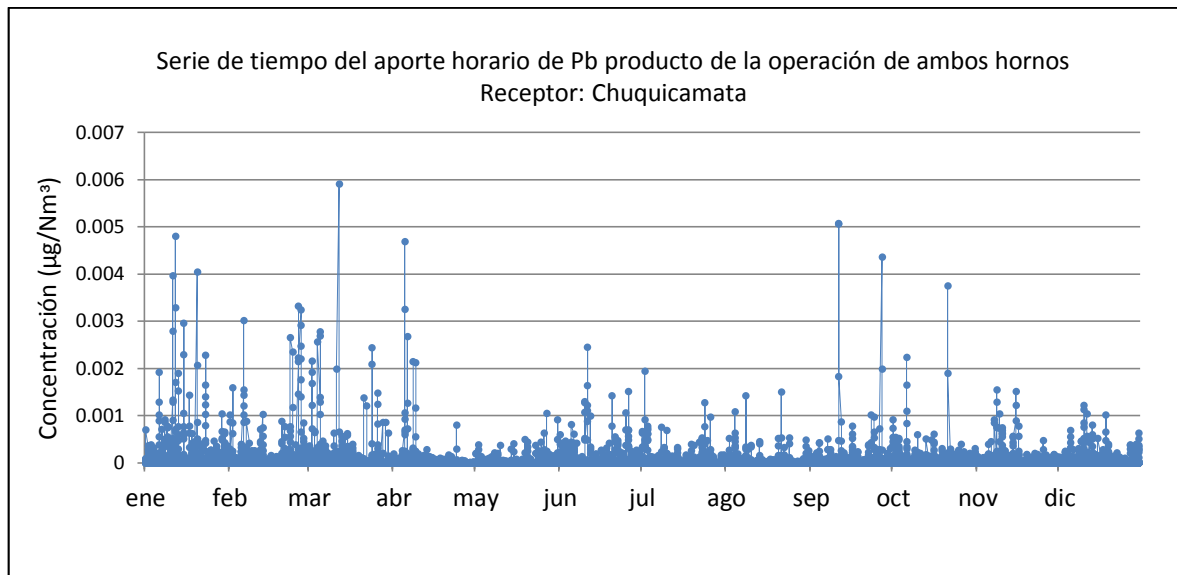


Ilustración 59 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Chuquicamata.

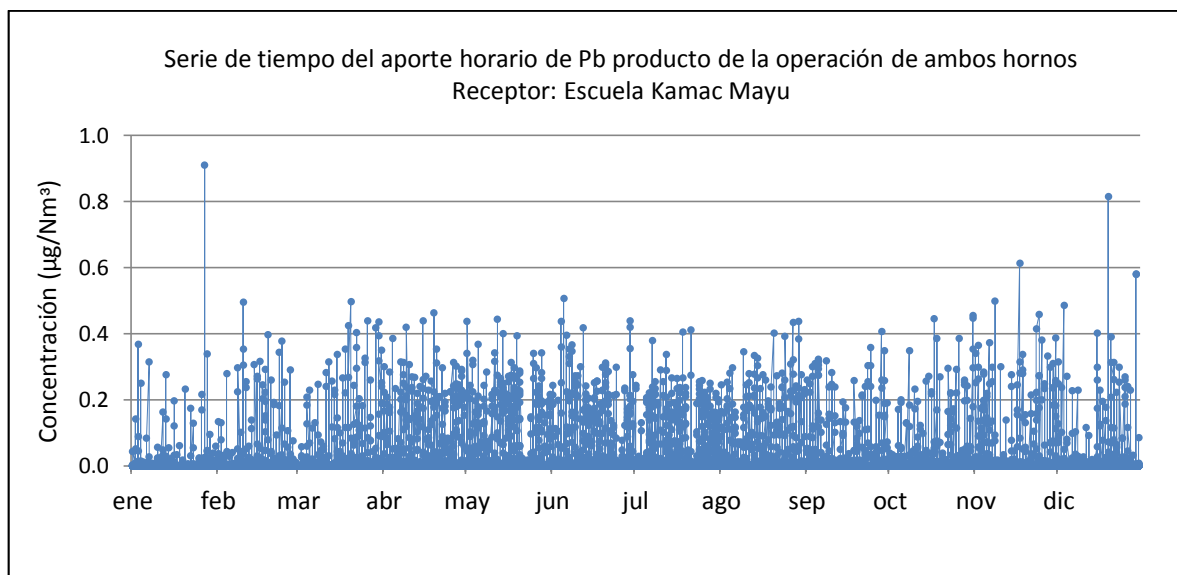


Ilustración 60 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Estación Escuela Kamac Mayu.

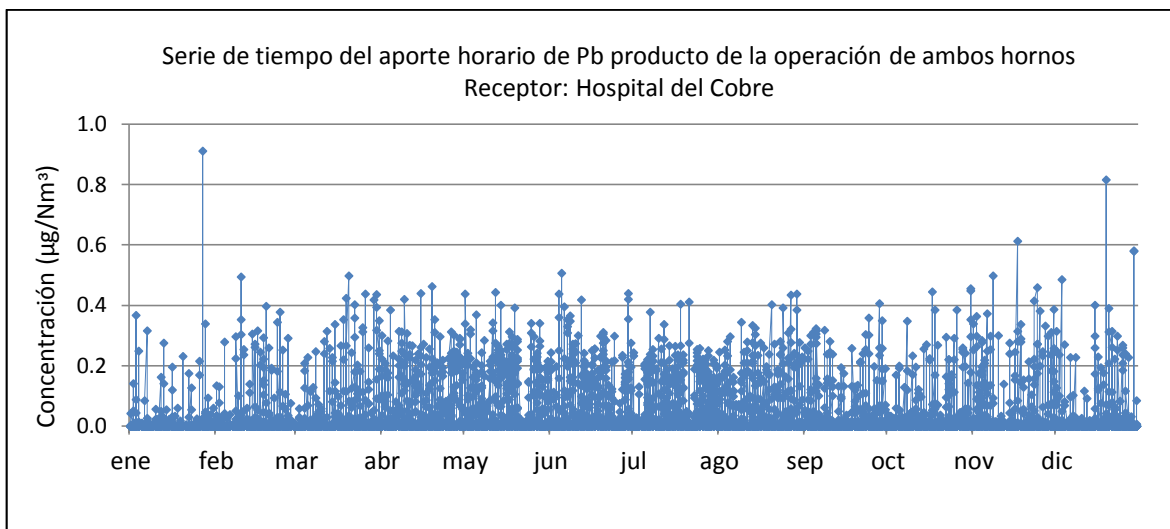


Ilustración 61 Serie de tiempo Concentración horaria de Pb – Hospital del Cobre

5.3.2 Puntos de Máximo Impacto.

Los puntos de máximo impacto corresponden a aquellos puntos del dominio de modelación en donde las emisiones de ambos hornos de la planta generan las máximas concentraciones de un contaminante atmosférico. Estas concentraciones pueden corresponder a promedios de una hora, 8 horas, 24 horas o un año, dependiendo de la norma de calidad que se esté evaluando. El aporte de Pb en el punto donde se produce la mayor concentración promedio anual se presenta en la Tabla 28 y su ubicación con respecto a la Planta RAM se presenta en el ANEXO 1 CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN.

Tabla 28 Aporte de Pb en Puntos de Máximo Impacto (PMI).

Norma	Aporte del proyecto en PMI (µg/Nm³)	Aporte del proyecto ajustado por incertidumbre meteorológica (µg/Nm³)	Norma	% Norma	X (m)	Y (m)
Concentración Anual	0,03	0,03	0,5	6,4	509245	7518645

Coordenadas UTM, WGS84, Huso 19.

5.3.3 Ciclo Diario de Pb.

En la Ilustración 62 se presenta el ciclo diario del aporte de la operación de ambos hornos, en los receptores discretos. Tal como puede observarse, los mayores aportes se presentan durante las horas de la madrugada, cuando las condiciones para la dispersión son más desfavorables.

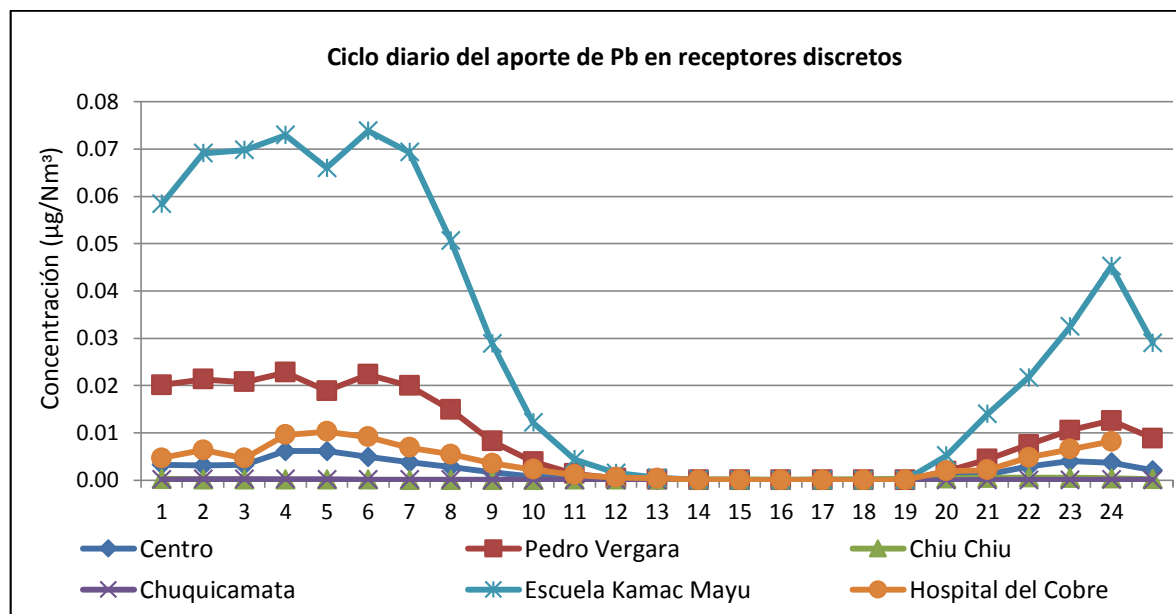


Ilustración 62 Ciclo diario del aporte de Pb en receptores discretos.

6 Conclusiones

De la línea base

El proyecto se emplaza dentro del sector de la ciudad de Calama, y es en este sitio donde se evalúan los efectos del proyecto en cuestión.

Del análisis de la línea base de meteorología y calidad del aire en Calama se observa que los vientos se caracterizan por un período nocturno de bajas velocidades (entre 1 y 2 m/s), que cambia a partir de las 9:00 horas, aumentando hasta lograr su valor promedio más alto a las 15:00 horas (6 m/s), para luego disminuir y comenzar nuevamente el ciclo nocturno a las 21:00 horas. En el período nocturno, entre las 22:00 y las 9:00 horas, los vientos se dirigen preferentemente hacia el Sur-Oeste, mientras que entre las 11:00 y 20:00 horas, los vientos soplan hacia el Nor-Este.

En el período entre las 14:00 y 16:00 horas se presentan las mayores velocidades, y por tanto la mayor capacidad de dispersión de partículas.

Lo anterior indica que durante los períodos nocturnos se espera poca dispersión de contaminantes, quedando las emisiones sujetas al transporte catabático (por pendiente), asociado a la menor

intensidad del viento y bajas temperaturas, generando atmósferas estables que implican una reducida capacidad de mezcla vertical.

Cabe señalar que la temperatura del aire se asocia al nivel de calor (energía) que posee la atmósfera en un determinado momento. La atmósfera no se calienta por radiación solar directa, sino que la energía que llega del sol, calienta la tierra, y ésta, a través de la emisión de radiación, calienta la atmósfera, por tanto el gradiente térmico en la vertical será el responsable de mover las masas de aire en una zona determinada.

El perfil horario del promedio de temperaturas registra un período nocturno de bajos valores (entre 6 y 10° C), que cambia a partir de las 8:00 horas, aumentando hasta lograr su valor promedio más alto entre las 14:00 y 16:00 horas (cercano a los 23° C), para luego disminuir y comenzar el ciclo nocturno a las 23:00 horas, logrando una mínima promedio del orden de los 6° C, entre las 5:00 y 6:00 horas.

Se observa una marcada variación estacional de la temperatura, con meses más fríos entre mayo y agosto. En este período se esperan mayores concentraciones de contaminantes debido a la consecuente menor altura de mezcla.

La calidad del aire basal (año 2014) del PM10 en Calama, presentó valores promedio entre 70 y 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para el percentil 98 en 24 horas, y entre 43 y 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como medias tri-anales.

Para el PM2.5 se registraron en Calama valores promedio entre 25 y 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para el Percentil 98 en 24 horas, y entre 12 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para la media anual.

En general, las concentraciones de gases en Calama son bajas, y al comparar lo monitoreado con los límites establecidos en las normas de calidad del aire, resultan a lo más en un 3,75% del valor de la norma para el SO_2 , un 19% del NO_2 . Del mismo modo, los valores de CO en el área de influencia no superan el 5% de la norma, los que de acuerdo a las mediciones isocinéticas que arrojan lecturas de CO iguales a 0, no deberían variar producto del funcionamiento del proyecto. De lo anterior se desprende que el contaminante crítico en la zona resulta ser el PM10.

De las emisiones

Para estimar las emisiones de contaminantes asociados al proyecto, se realizaron campañas de medición isocinéticas durante mayo del 2016, tomadas en la salida de la chimenea que se encuentra en funcionamiento y replicando tanto sus emisiones como características físicas y de abatimiento, para una segunda chimenea proyectada. Esta información alimentó el modelo en forma directa, promediando las emisiones correspondientes.

Las emisiones registradas en la campaña antes mencionada, no reportan muestreo para MP2.5 ni NO_x , ya que el mandante señala no emitir NO_2 . Por esta razón este último contaminante en particular no fue modelado.

La operación de la chimenea del horno rotatorio, objeto del presente estudio, presenta en general bajas emisiones de PM10 y SO_2 dada la tecnología para el abatimiento que la compañía ha implementado en sus procesos (ver Tabla 15).

Del Modelo Meteorológico y Evaluación del Impacto

La meteorología de la zona se obtuvo utilizando el modelo WRF según lo recomendado por la Guía del SEA. La evaluación del desempeño de esta modelación arrojó una incertidumbre del 6,8%, por lo cual las concentraciones obtenidas se corrigen multiplicando por ese factor. El aporte de los contaminantes modelados es marginal para todas las normas de calidad del aire primarias y secundarias vigentes, tanto en los receptores discretos como en los puntos de máximo impacto.

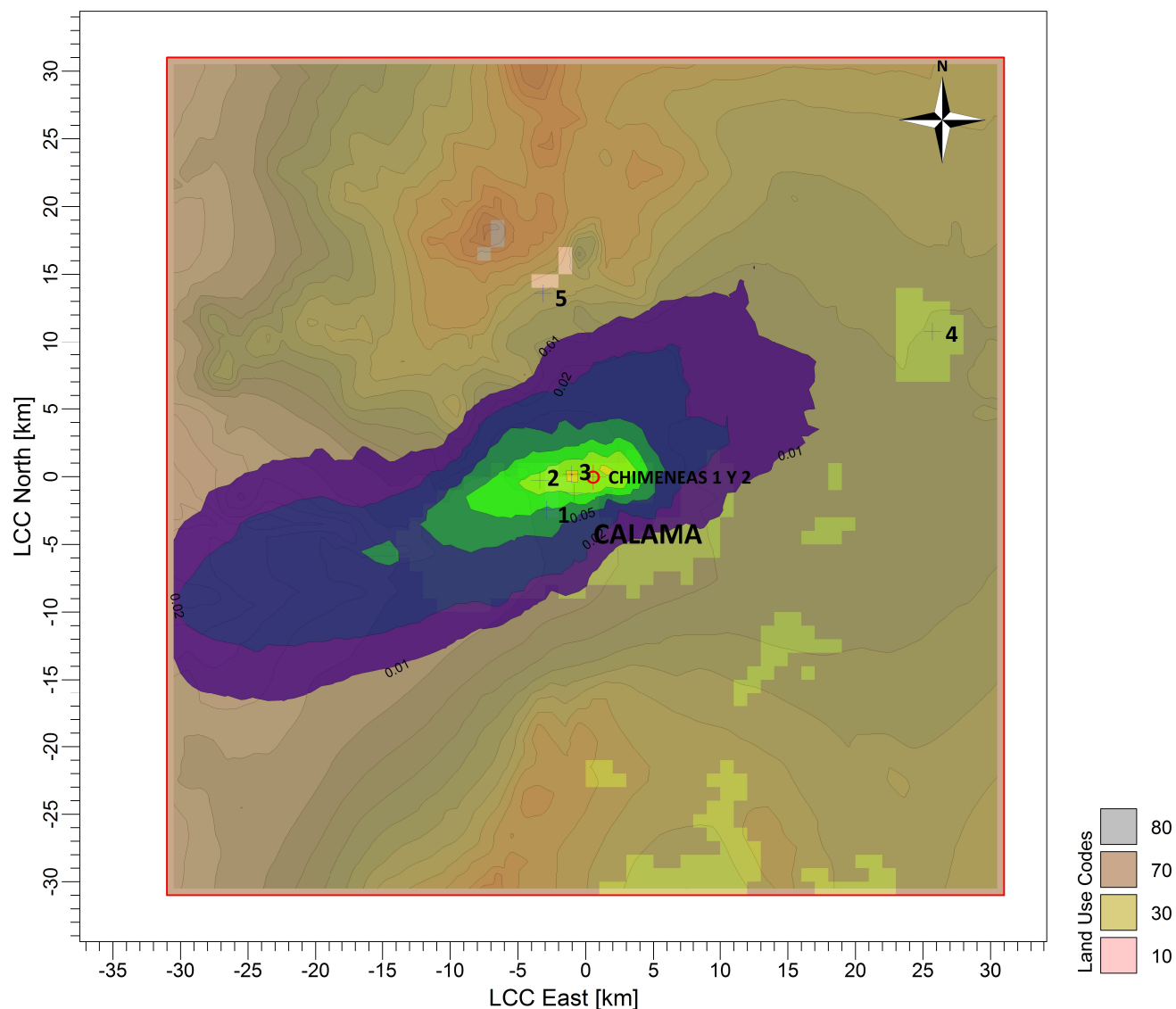
Los resultados del análisis de cumplimiento normativo indican que las emisiones del Horno N°1 RAM más aquellas correspondientes a la ampliación de la planta, no influyen en la superación o excedencia de los límites establecidos en toda la normativa de calidad del aire vigente, obteniéndose para todos los contaminantes, concentraciones menores a los límites establecidos en la normativa primaria y secundaria de calidad del aire, vigentes en el territorio nacional.

Dado lo anterior, se puede concluir que la operación de la planta no afecta la salud de la población ni los recursos naturales presentes en el área de influencia del proyecto.

ANEXO 1 CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN

TITULO

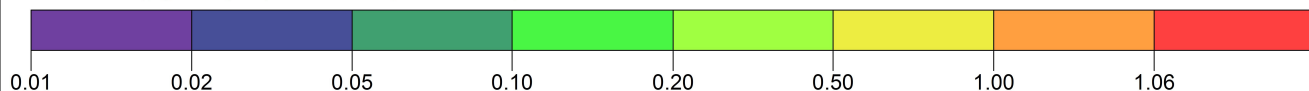
CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN PM10 - CONCENTRACIÓN 24 HORAS PERCENTIL 98



8 RANK 24 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (PM10)

Max = 1.06 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] at (X = -1044.00, Y = 179.00)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$



PROYECTO

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

COMPAÑÍA

UAS/ISON

ELABORADO POR

Kisi Cerdá

SCALE 1:500,000

0 10 km

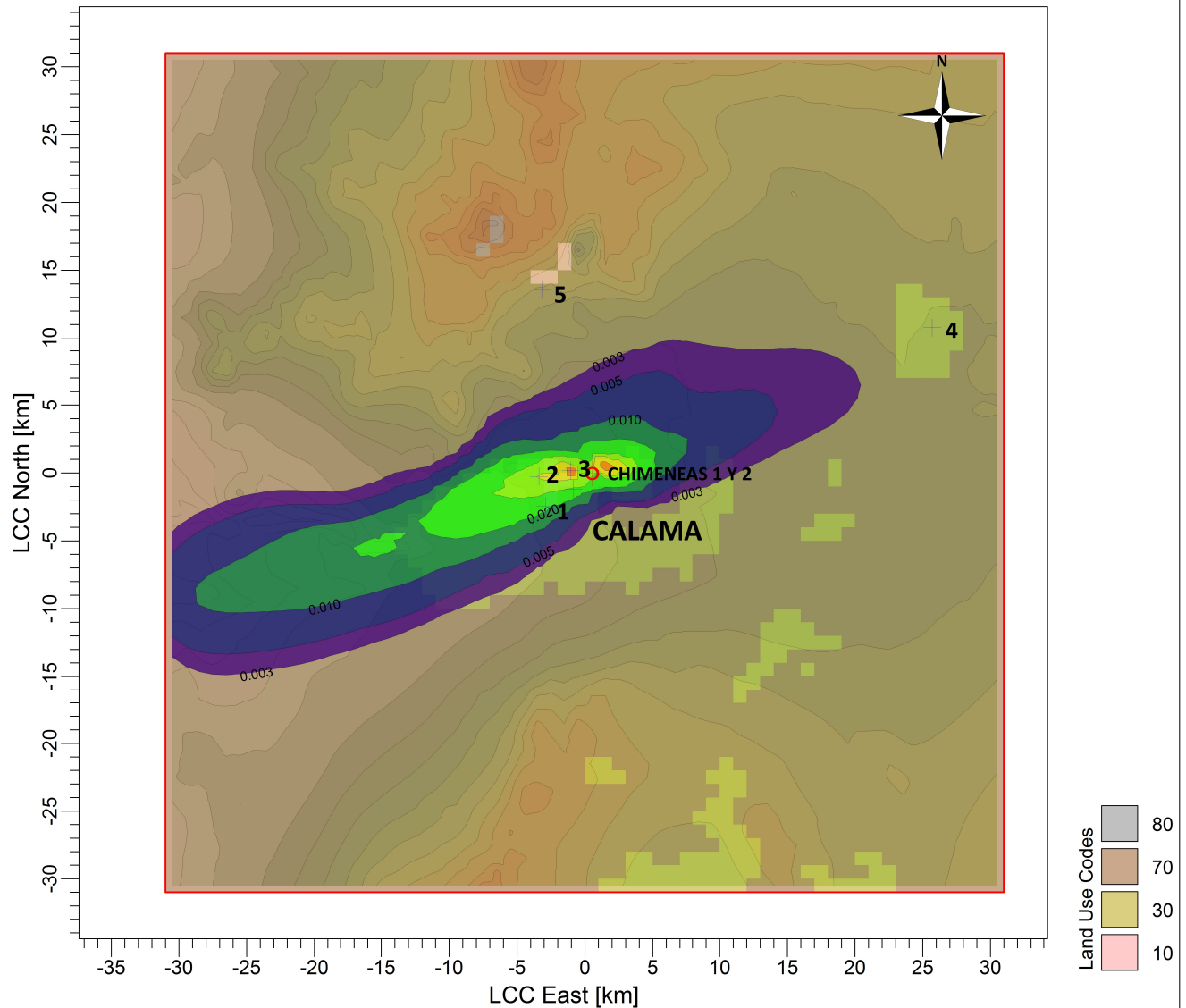
FECHA

27-12-2016

UASvision
Ingeniería

FIGURA

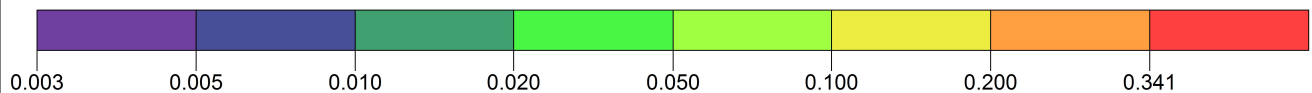
TÍTULO CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN PM10 - CONCENTRACIÓN ANUAL



VALUE 8760 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (PM10)

Max = 0.341 [ug/m**3] at (X = -1044.00, Y = 179.00)

ug/m**3



PROYECTO

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

COMPAÑÍA

UASVISION

ELABORADO POR

Kisi Cerda

SCALE: 1:500,000

0 10 km

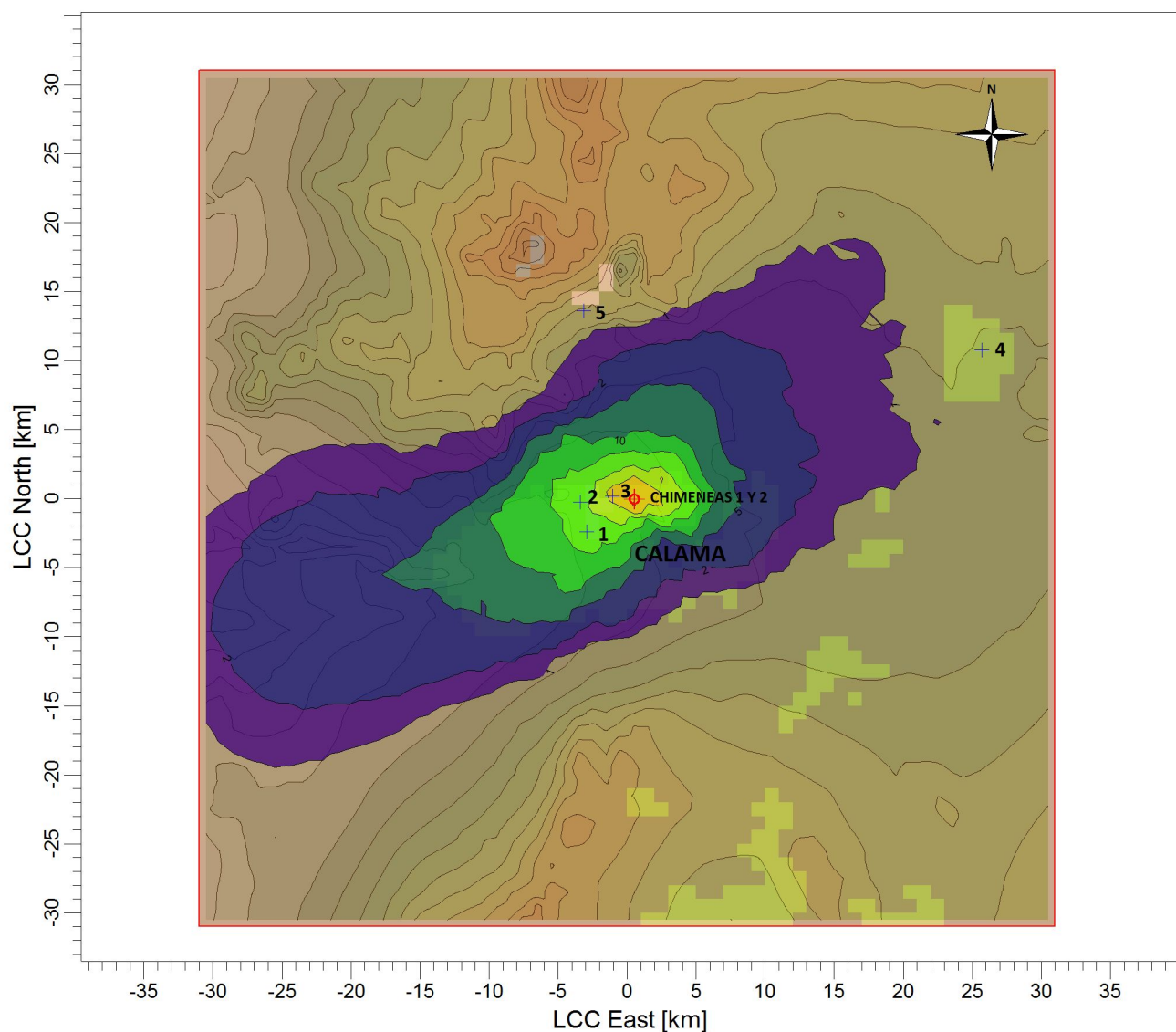
FECHA

27-12-2016

UASvision
Ingeniería

FIGURA

CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN SO₂ - CONCENTRACIÓN 1 HORA PERCENTIL 99,73



10 RANK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (SO₂)

ug/m**3

Max = 208 [ug/m**3] at (X = 500.00, Y = -500.00)



Receptores

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

Compañía

UASVISION

Elaboración

Kisi Cerda

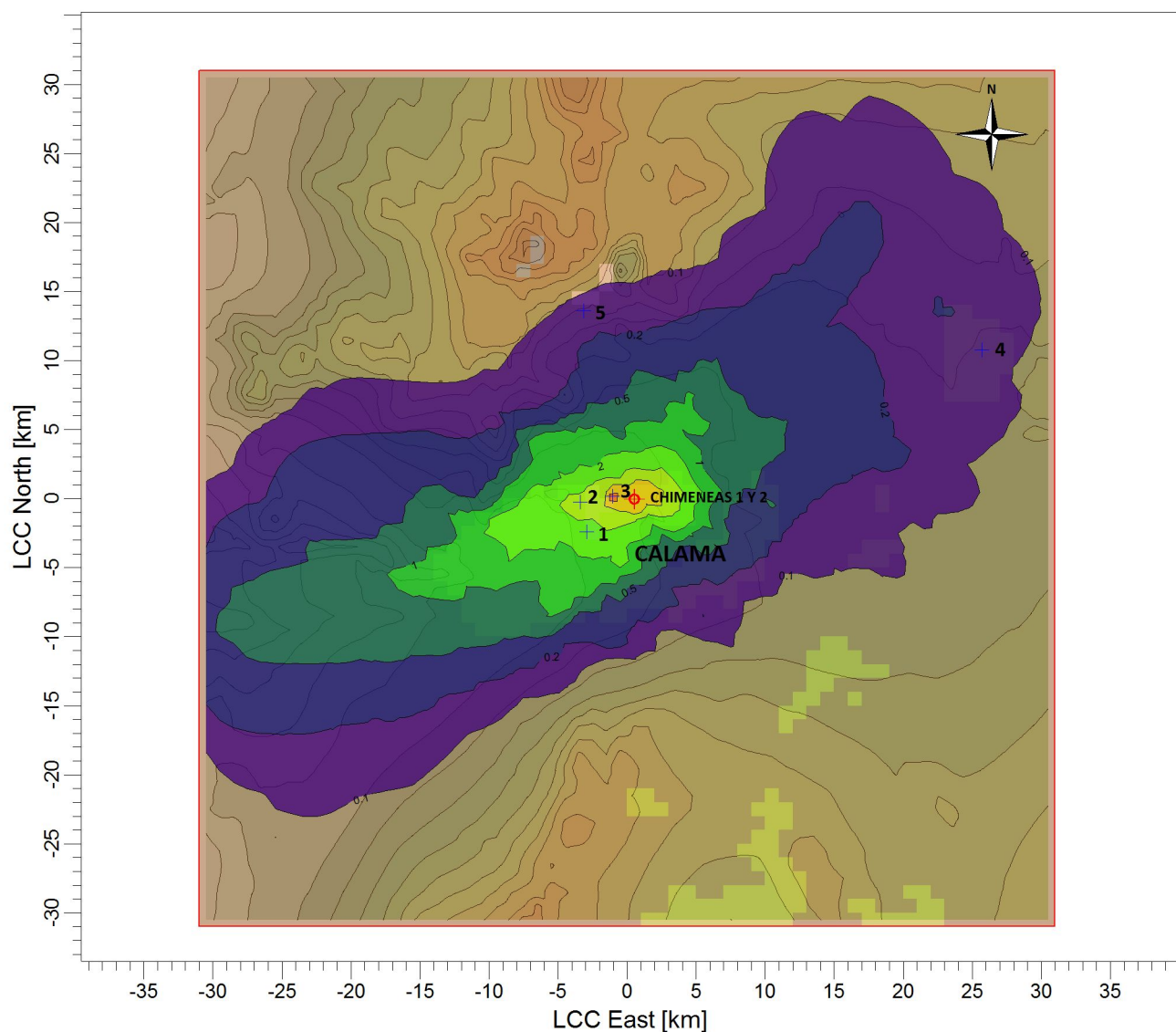
SCALE: 1:500,000

0 10 km

Fecha

08-08-2016

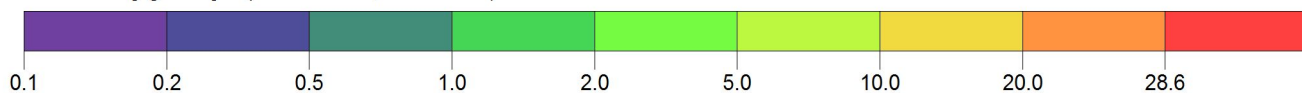
CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN SO₂ - CONCENTRACIÓN 24 HORA PERCENTIL 99,7



2 RANK 24 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (SO₂)

ug/m³

Max = 28.6 [ug/m³] at (X = -1044.00, Y = 179.00)



Receptores

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

Compañía

UASVISION

Elaboración

Kisi Cerdá

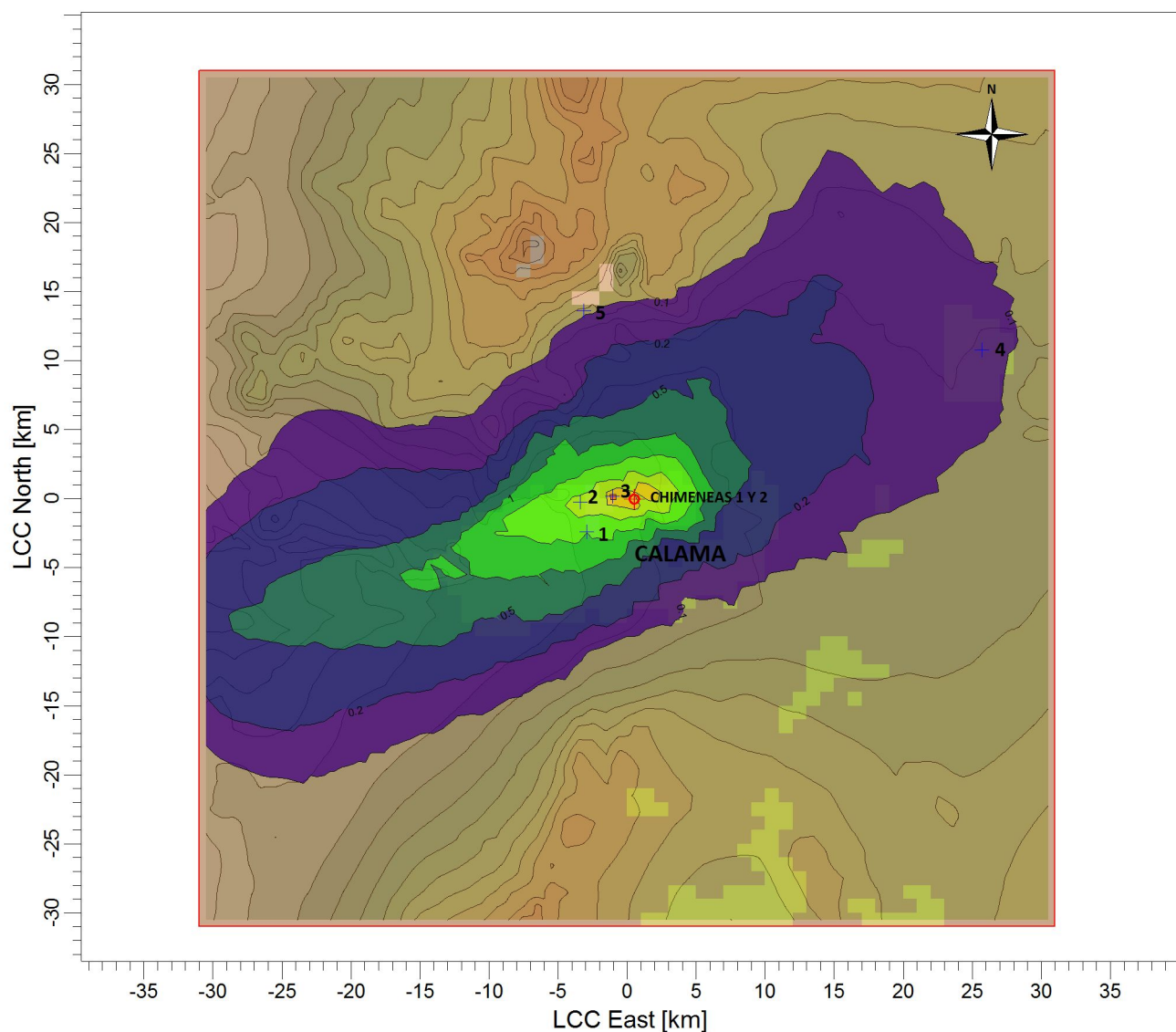
SCALE: 1:500,000

0 10 km

Fecha

08-08-2016

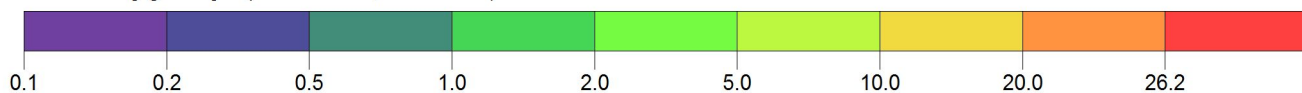
CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN SO₂ - CONCENTRACIÓN 24 HORA PERCENTIL 99,7



5 RANK 24 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (SO₂)

ug/m**3

Max = 26.2 [ug/m**3] at (X = -1044.00, Y = 179.00)



Receptores

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

Compañía

UASVISION

Elaboración

Kisi Cerda

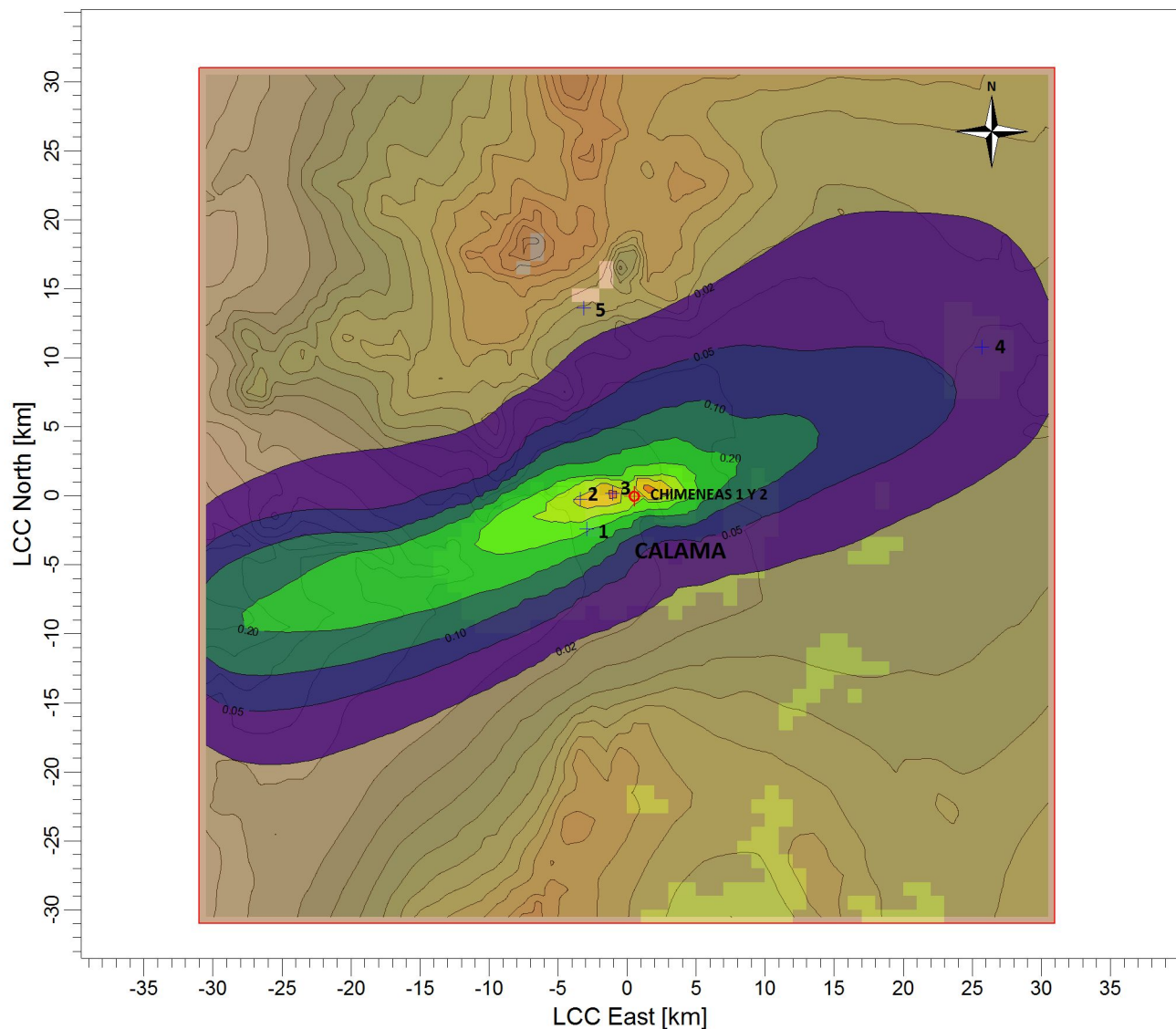
SCALE: 1:500,000

0 10 km

Fecha

08-08-2016

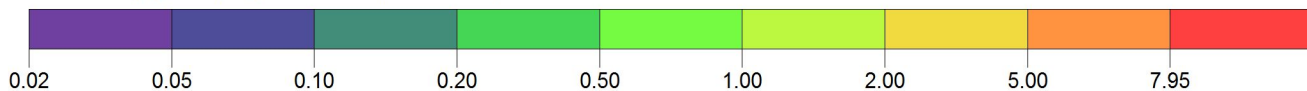
CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN SO2 - CONCENTRACIÓN ANUAL



VALUE 8760 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (SO2)

ug/m**3

Max = 7.95 [ug/m**3] at (X = -1044.00, Y = 179.00)



Receptores

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

Compañía

UASVISION

Elaboración

Kisi Cerda

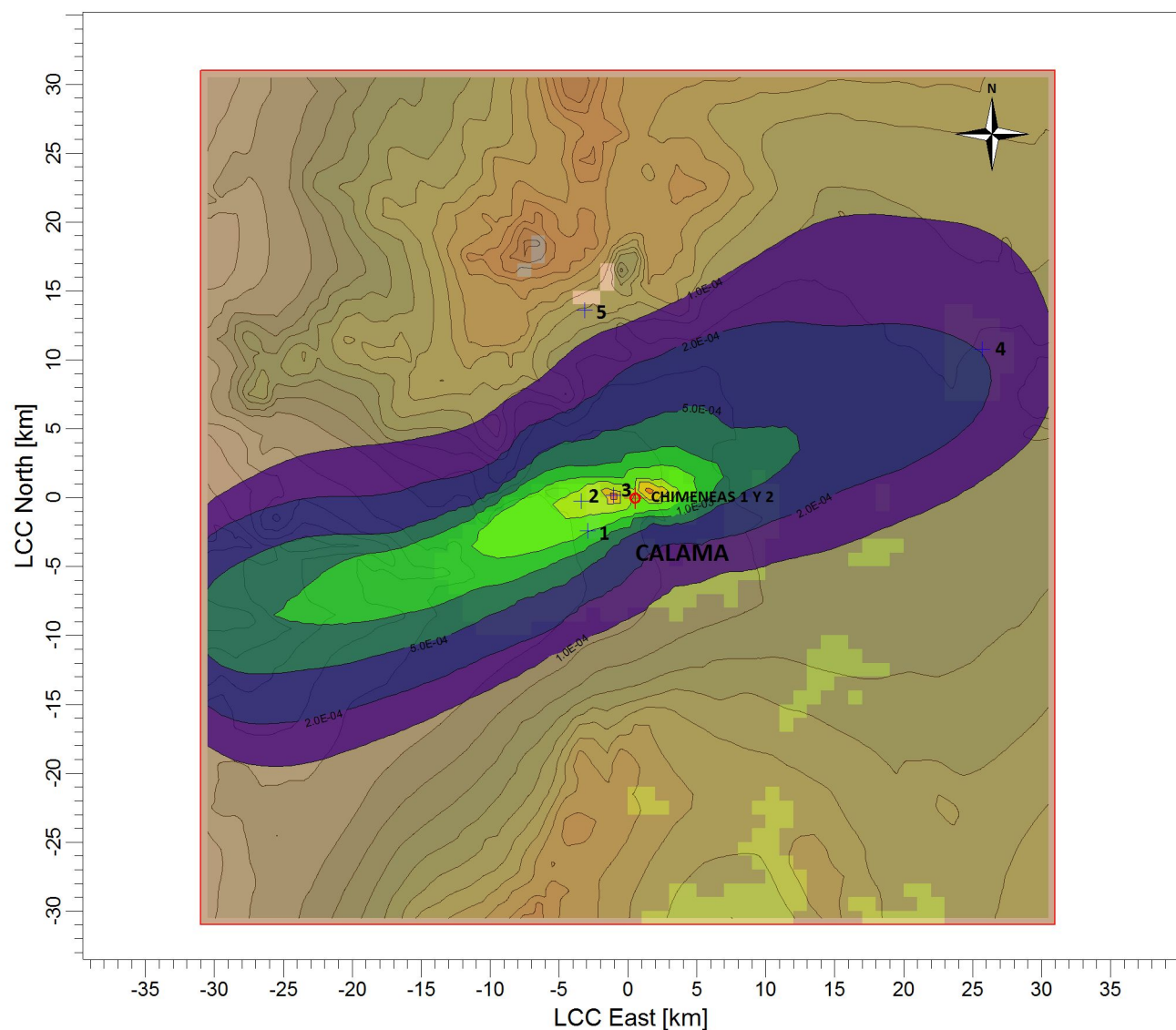
SCALE: 1:500,000

0 10 km

Fecha

08-08-2016

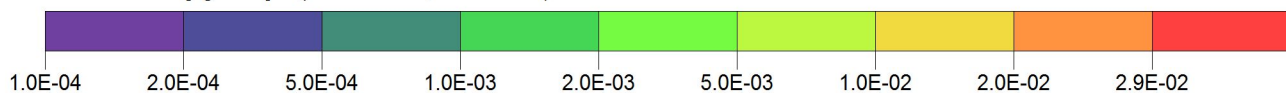
CURVAS DE ISOCONCENTRACIÓN Pb - CONCENTRACIÓN ANUAL



1 RANK 8760 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (PB)

ug/m**3

Max = 2.9E-02 [ug/m**3] at (X = -1044.00, Y = 179.00)



Receptores

- 1 Estación Centro
- 2 Estación Colegio Pedro Vergara Keller
- 3 Estación Escuela Kamac Mayu
- 4 Chiu Chiu
- 5 Chuquicamata

Compañía

UASVISION

Elaboración

Kisi Cerdá

SCALE: 1:500,000

0 10 km

Fecha

08-08-2016