



Santiago, 09 de diciembre de 2019

**GMA N° 065/2019**

**Señores  
Ministerio de Medio Ambiente  
San Martín N°73  
Santiago**

**At.: Sra. Victoria Gazmuri Munita  
Seremi de Medio Ambiente Región de Valparaíso**

**Ref.: Ord N°643 del 02/10/19 de la Seremi de Medio Ambiente Región de Valparaíso  
Aporta antecedentes solicitados.**

De nuestra consideración,

De acuerdo a lo requerido en el Ord N°643 del 02/10/19 de la Seremi de Medio Ambiente Región de Valparaíso y con el fin aportar antecedentes para la para la elaboración del Anteproyecto del Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica por material particulado MP10 como concentración anual y latente por MP10 como concertación diaria, a la provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe, se adjunta la siguiente información:

- Anexo N°1, información de calidad del aire de las estaciones de monitoreo asociadas al Complejo Termoeléctrico Nehuenco de Colbún S.A., correspondientes a las estaciones: San Pedro, La Palma y Bomberos, todas ellas ubicadas en la comuna de Quillota, ente los años 2015 – 2018.
- Anexo N°2, Informe "Análisis de antecedentes para la elaboración del Anteproyecto del Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica por material particulado MP10 como concentración anual y latente por MP10 como concertación diaria, a la provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe" de la Facultad de Física de la Universidad de Santiago de Chile.
- Anexo N°3, Informe "Análisis de Antecedentes de Calidad del Aire para la comuna de Quillota para MP10 y Emisiones Atmosféricas de MP del Complejo Nehuenco" de Colbún S.A.

De acuerdo a la información aportada y a los análisis que se adjuntan en los Anexos, es importante destacar las siguientes conclusiones:

Av. Apoquindo 4775, piso II  
Las Condes, Santiago-Chile  
Tel.: (56-2) 2460 40 00  
Fax: (56-2)2460 40 05  
www.colbun.cl





- Las centrales termoeléctricas no generan material particulado como parte de su proceso de combustión a gas, y respecto de su operación a diésel ésta se encuentra restringida a situaciones de emergencia decretadas por las autoridades.
- En la comuna de Quillota no hay superación de las normas de MP10 y respecto de la latencia sólo se alcanzó en una estación de monitoreo en el sector urbano en un período trianual pasado, lo anterior dista mucho de lo que ocurre en Catemu y La Calera donde hay superaciones de norma estadísticamente relevantes.
- La información disponible, especialmente en las comunas con altos niveles de MP10 (Catemu), no es suficiente para realizar conclusiones, en particular es insuficiente la cantidad y distribución de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en dicha zona.
- Es importante analizar la estacionalidad del MP10 en la calidad del aire, ya que al realizar el análisis por ejemplo en la estación Bomberos, se pudo apreciar que las concentraciones mayores se registran durante el invierno en la noche, lo cual se relaciona probablemente (como en gran parte del centro sur de Chile) con sistemas domiciliarios de calefacción a leña.
- Es necesario desarrollar inventarios de emisiones que permitan determinar las principales fuentes emisoras, utilizando metodologías robustas y validadas, en especial respecto de fuentes difusas y areales (transporte, calefacción a leña, quemas agrícolas, polvo por deforestación, entre otras).
- Se sugiere considerar estudiar la composición química de los compuestos de MP10 ya que también puede ser un aporte para determinar los aportes de cada fuente emisora.

Por último, quisiéramos indicar que, recogiendo la solicitud del Ministerio de Medio Ambiente (Carta N°195530 del 22/11/19), hemos tomado el compromiso voluntario de, en los próximos meses, conectar en línea nuestras estaciones de monitoreo de calidad del aire asociadas al complejo Nehuenco (San Pedro, Bomberos y La Palma) al Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio de Medio Ambiente.

De esta forma reafirmamos nuestro compromiso por una gestión de cara a la comunidad y un trabajo colaborativo con las autoridades para contar con un Plan de Prevención y Descontaminación que permita mejorar la calidad del aire en la zona donde aplicará el Plan.

**COLBÚN S.A.**

**Daniel Gordon Adam**  
Gerente de Medio Ambiente

- Anexos se adjuntan en un dispositivo de almacenamiento digital

Av. Apoquindo 4775, piso II  
Las Condes, Santiago-Chile  
Tel.: (56-2) 2460 40 00  
Fax: (56-2) 2460 40 05  
www.colbun.cl

## Análisis de Antecedentes de Calidad del Aire para la comuna de Quillota para MP10 y Emisiones Atmosféricas de MP del Complejo Nehuenco.

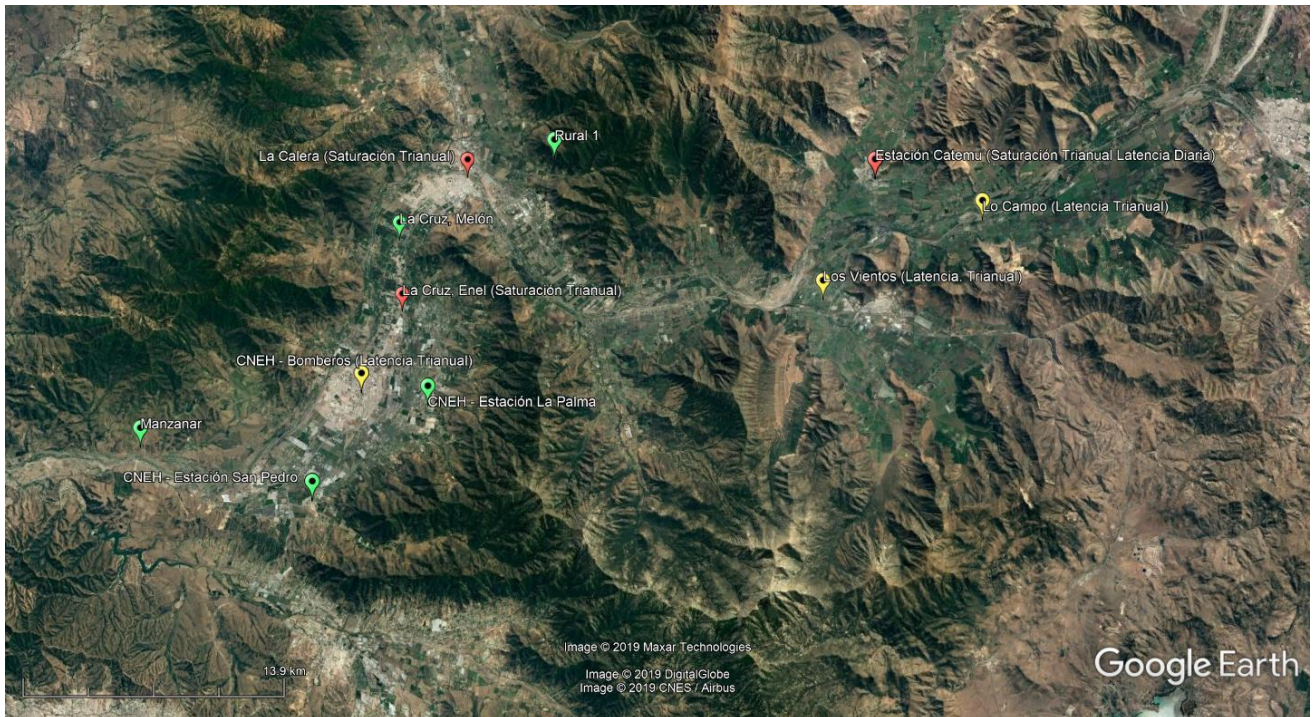
**Colbún S.A.**  
Diciembre 2019

### 1. Antecedentes de Contexto

La declaración de la Zona Saturada por material particulado MP10, como concentración anual y latente por MP10 como concentración diaria a la provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe de Aconcagua”, abarca un área de más de 50 km de río Aconcagua de características muy diferentes: geográficas, fuentes fijas (centrales térmicas, cementera, fundición) y fuentes difusas (transporte, calefacción a leña, quemas agrícolas, deforestación para plantación de frutales, entre otras), lo anterior debe ser considerado en los levantamientos de terreno considerando las dinámicas de los últimos años en las comunas declaradas.

### 2. Estaciones de Calidad del Aire

Las estaciones que presentan saturación (superación de la norma, en rojo) están en las comunas aguas arriba (Calera, Llay Llay y Catemu) y ninguna de éstas está en la comuna de Quillota.

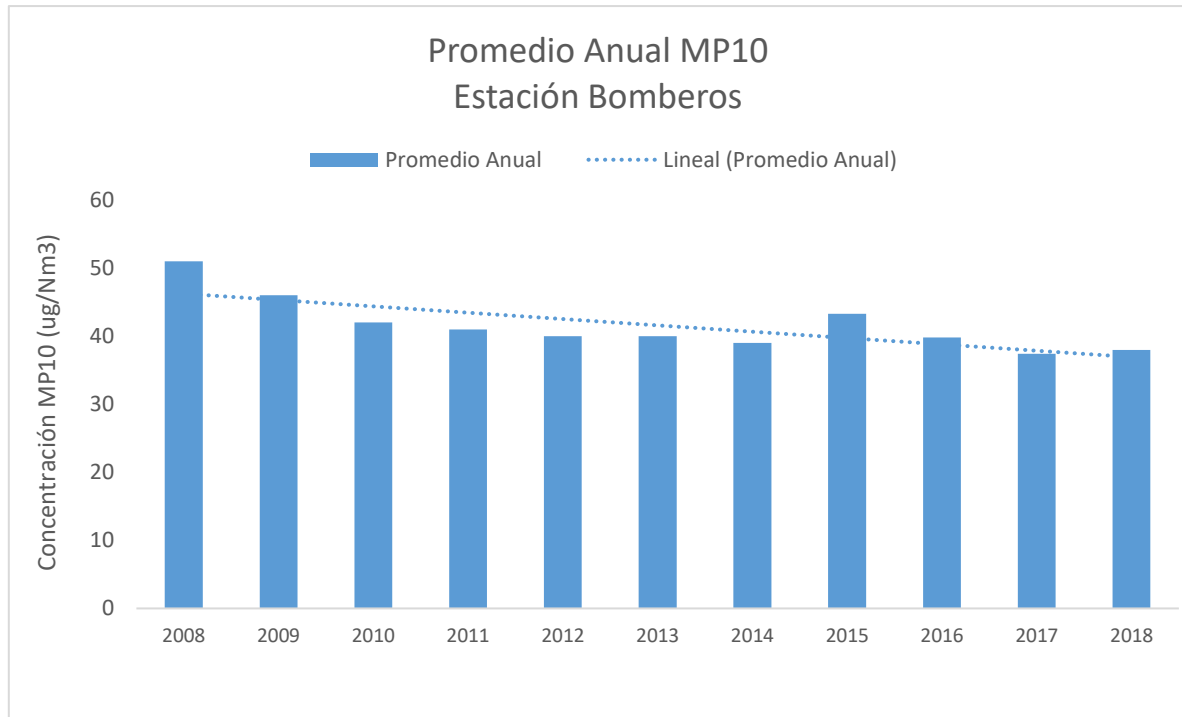


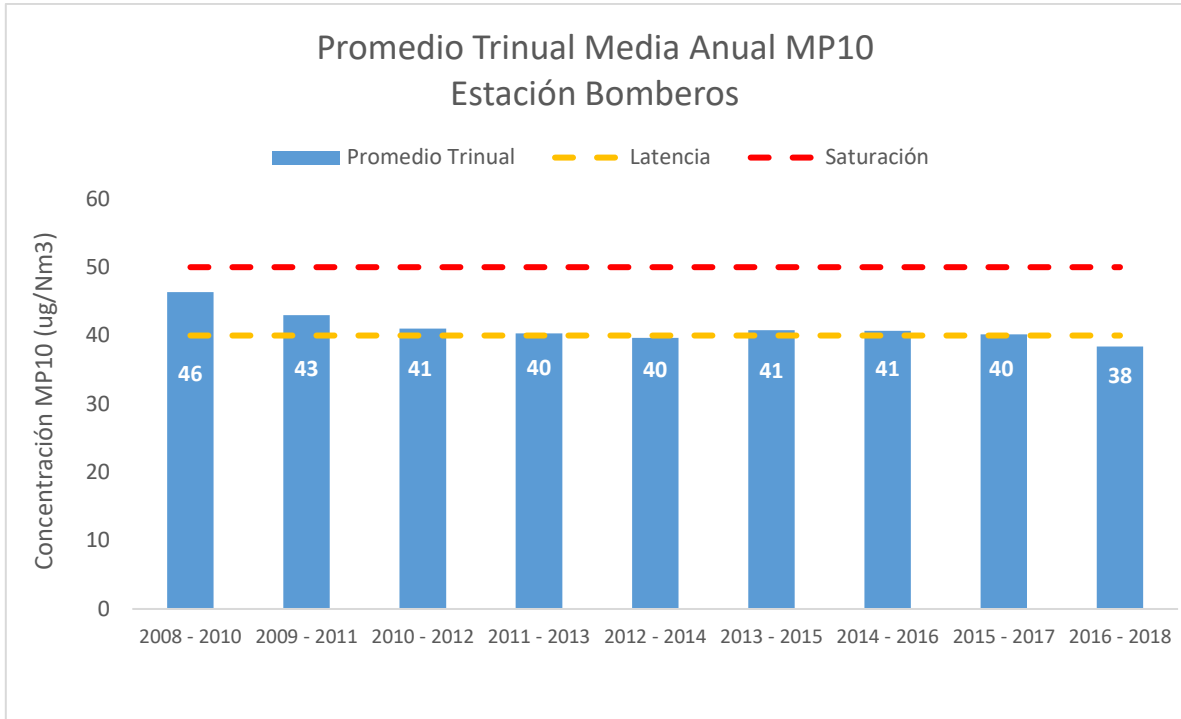
Existen cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire que se encuentran ubicadas en la comuna de Quillota, la instalación y operación de éstas obedece a una exigencia de las resoluciones de calificación ambiental (RCA) que aprobaron los proyectos de las centrales termoeléctricas San Isidro y Nehuenco. De estas estaciones de monitoreo de la calidad del aire, tres de ellas corresponden un compromiso compartido entre ambas centrales: San Pedro, Bomberos y La Palma.

Respecto a dichas estaciones, la estación La Palma es la más alejada de las centrales termoeléctricas representa a un sector agrícola de la comuna. La estación de monitoreo Bomberos representa al sector urbano de la comuna de Quillota, y finalmente la estación San Pedro es la más cercana a las centrales térmicas y fue la que en el proceso de evaluación ambiental presentó el punto de máximo impacto.

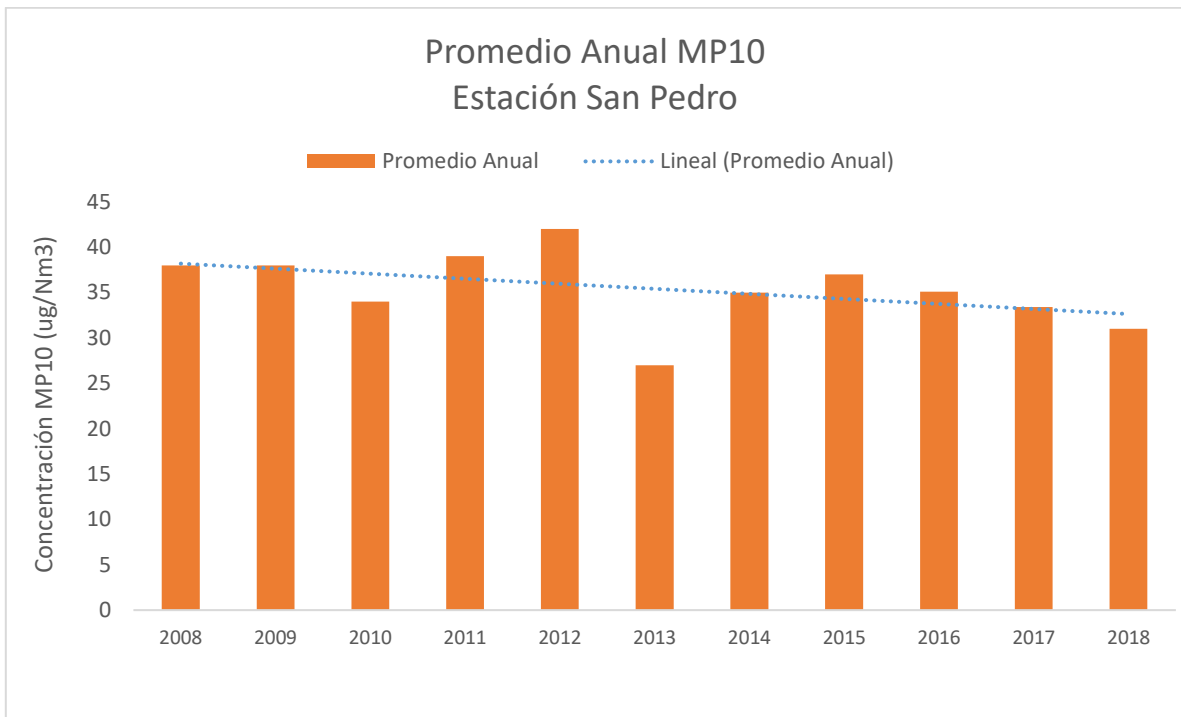
En la comuna de Quillota sólo la estación Bomberos presentó latencia (norma anual), dicha estación al ser urbana da cuenta de dicha realidad. Para determinar dicha latencia se utilizaron los datos del período 2015 – 2017 con lo cual se llega justamente al 80% de la norma anual.

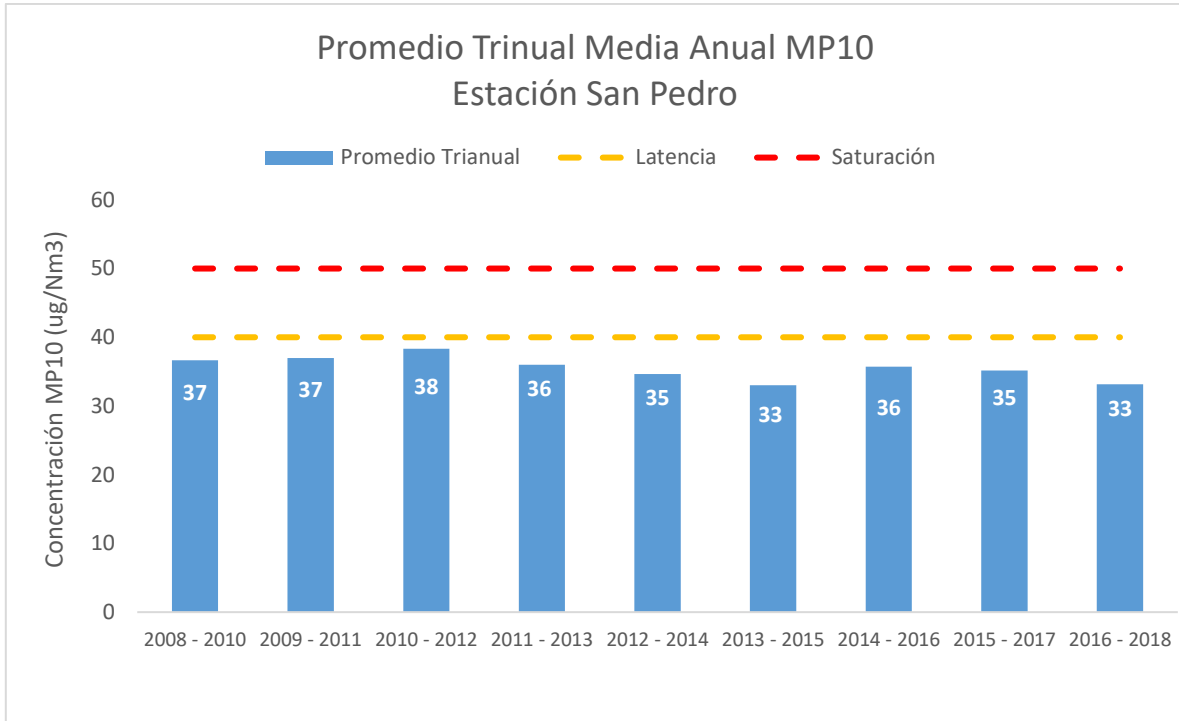
Sin embargo, al realizar el análisis con datos más actualizados 2016 – 2018 se alcanza un 75% de la norma anual, con lo que no se alcanza la latencia, se presenta análisis de tendencia y cumplimiento de norma:





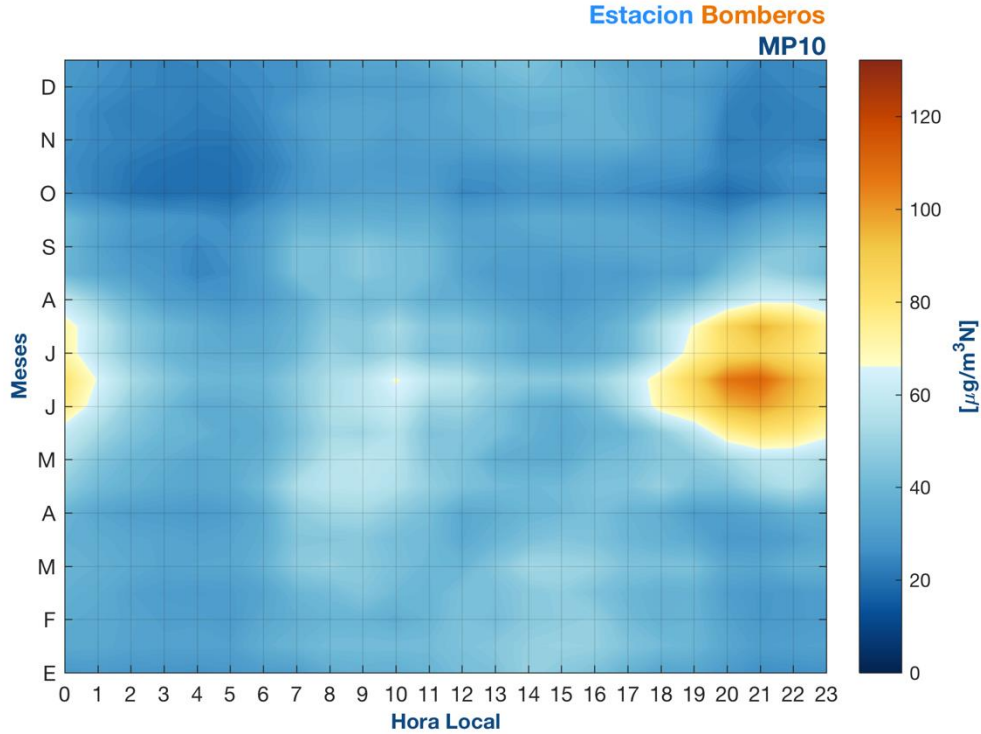
Por su parte la estación San Pedro no presenta ni saturación ni latencia, y es la que representa el punto de máximo impacto de las centrales térmicas ubicadas en Quillota. Se presenta análisis de tendencia y cumplimiento de norma:





Otro tema relevante en el análisis es la estacionalidad respecto a la calidad del aire en MP10, al respecto al graficar las concentraciones para la estación Bomberos se puede apreciar que las concentraciones mayores se registran durante el invierno en la noche, también se observa un aumento -aunque menor- durante la mañana de los meses de invierno.

Por otro lado, durante los meses de verano se registran concentraciones bajas tanto durante el día como la noche, con concentraciones levemente mayores durante el día que durante la noche. Lo anterior, al igual que en gran parte del país, se relaciona generalmente con sistemas de calefacción poco eficientes, como por ejemplo la leña.

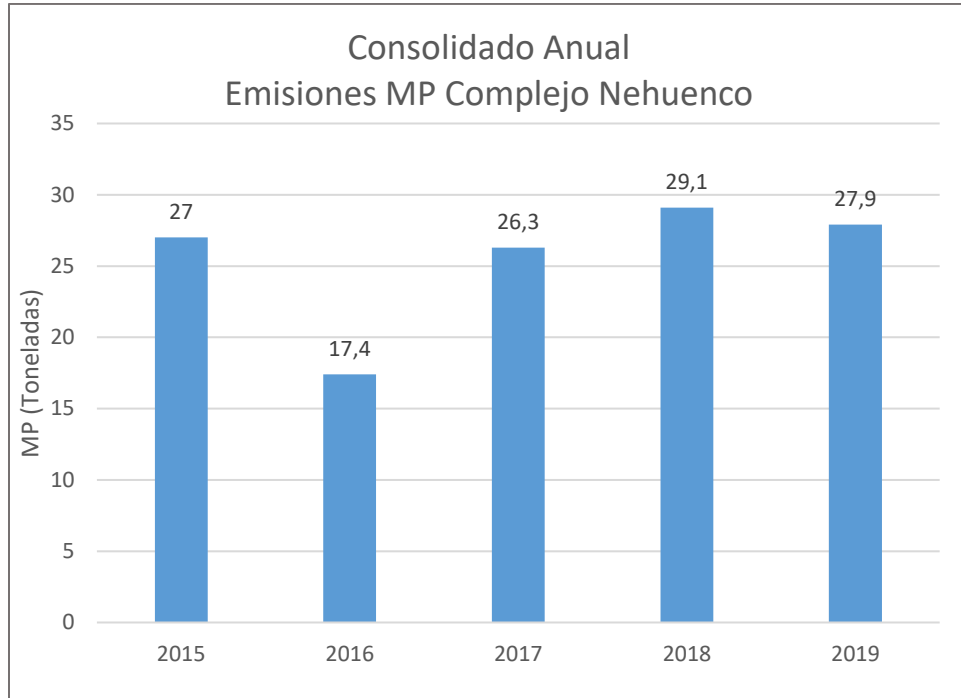


### 3. Emisiones Atmosféricas Complejo Nehuenco

El Complejo Termoeléctrico Nehuenco se compone de tres unidades cuyo combustible principal es gas natural con una potencia instalada de 863 MW, estas unidades sólo pueden operar con petróleo diésel ante situaciones de emergencia decretadas por la autoridad.

Al complejo Nehuenco se aplica la Norma de Termoeléctricas (DS N°13/MMA) la cual no restringe este contaminante cuando se opera con gas. Cabe precisar que la operación con gas, no aporta material particulado, las emisiones de dicho parámetro corresponden básicamente al material particulado que está presente en el aire y que es captado por el sistema de inyección para la combustión, pero que no alcanzado a ser retenido por el filtro de dicho sistema, lo que explica que las emisiones de material particulado del Complejo son bajas.

Sin perjuicio que la totalidad de la información de emisiones es reportada a las plataformas de la Superintendencia del Medio Ambiente, tal como lo exige el Decreto Supremo N°13 del Ministerio de Medio Ambiente, se presenta una gráfica que muestra la evolución de las emisiones de material particulado en los últimos años.



Fuente: CEMS, Complejo Neuqueno – Sistema SIV SMA.

\*El año 2016, la Unidad NEH II presentó falla en transformador





## **Informe**

Análisis de antecedentes para la elaboración del Anteproyecto del Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica por material particulado MP10 de la provincia de Quillota y las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe.

**Departamento de Física  
Facultad de Ciencia  
Universidad de Santiago de Chile**

## 1. Presentación.

Se entrega a continuación un análisis técnico de la información utilizada para la Declaración de zona saturada y proceso de elaboración de Plan de descontaminación Atmosférica para Quillota, Región de Valparaíso.

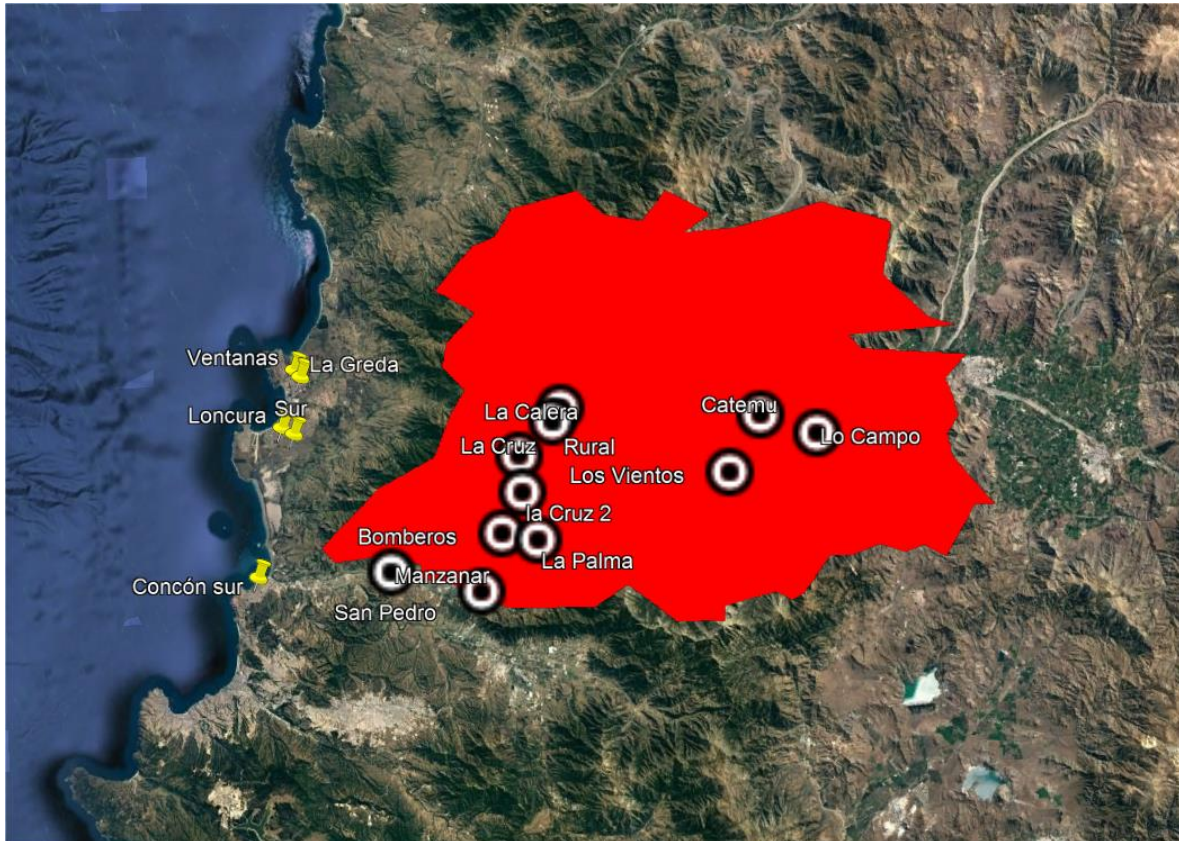
Esta determinación se basa en el resultado de las mediciones efectuadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Catemu, Lo campo, La Calera, La Cruz, Rural 1, Bomberos, La Palma, San Pedro, la Cruz 2, Manzanar y Los Vientos. Estas estaciones de monitoreo cuentan con representatividad poblacional según consta en el Decreto 107, del Ministerio del Medio Ambiente, publicado el 11 de Junio de 2019, promulgado el 27 de Diciembre de 2018, titulado “declara zona saturada por material particulado MP10, como concentración anual y latente por MP10 como concentración diaria a la provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llayllay de la provincia de San Felipe de Aconcagua”.

- ✓ “para la norma diaria de MP10, se observó para los años 2016 y 2017 concentraciones por sobre el 80% de la norma de 24 horas en la estación Catemu, registrándose concentraciones de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y 132  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , respectivamente, lo que daría origen a una condición de **latencia en la estación de Catemu como concentración diaria**”
- ✓ “con respecto a la evaluación de la Norma Primaria de Calidad Ambiental para MP10, mediante el cálculo del promedio trianual (2015-2016-2017), se determinó que **la norma anual fue superada en las estaciones de Catemu, La Calera y La Cruz 2**, con concentraciones de 72  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , respectivamente” **generando una condición de saturación.**
- ✓ “se verificó un porcentaje superior al 80% de la norma anual en las estaciones de Los Vientos con una concentración de 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , Lo Campo con una concentración de 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y Bomberos con una concentración de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , lo que implica además, una **condición de latencia para dicho contaminante**”

## 2. Revisión de antecedentes técnicos usados para la declaración de zona latente y saturada.

### 2.1 Descripción de equipos de medición utilizados para la evaluación de zona latente y saturada.

La información disponible a la fecha indica que el plan de descontaminación en cuestión se aplicaría en la provincia de Quillota y las comunas de Catemu, Panquehue y Llayllay de la provincia de San Felipe. El área marcada en rojo de la Figura 1 muestra la demarcación de la zona.



**Figura 1.-** Área de influencia del PDA de Quillota con las estaciones de monitoreo involucradas, con un área de alrededor de 198 hectáreas. Fuente: Elaboración propia en función de la delimitación de la provincia y comunas declaradas.

## 2.2 Descripción de equipos de medición utilizados para la evaluación de zona latente y saturada.

De acuerdo a los antecedentes indicados en el informe técnico “Cumplimiento de norma de calidad del aire por MP<sub>10</sub> en las redes de calidad del aire interior de la Región de Valparaíso” de la Superintendencia del Medio Ambiente del 20 de Agosto de 2018, en la Tabla 1 se describen los instrumentos y métodos de medición de MP<sub>10</sub> utilizados en las estaciones de calidad del aire mencionadas anteriormente. Cinco de los equipos utilizados corresponden a muestreadores gravimétricos de alto volumen que colectan muestra durante 24 horas cada 3 o 4 días. En estos equipos se obtiene una muestra con el promedio diario. Seis de los equipos corresponden a muestreadores que utilizan el método de atenuación beta. Estos equipos miden en forma continua y entregan datos cada 1 hora. Para estos datos es posible realizar un análisis de perfil diario que se puede utilizar para entregar información aproximada sobre las fuentes que generan el MP<sub>10</sub>.

**Tabla 1. Listado de estaciones, instrumento y método de medición.**

Red	Estación de Monitoreo	Parámetro	Método de Medición	Marca/Modelo	Método de Referencia o Equivalente EPA
Fundición Chagres	Catemu (El Arrayán)	MP <sub>10</sub>	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	GrasebyAndersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	Lo Campo	MP <sub>10</sub>	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	GrasebyAndersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
Melón	La Calera	MP <sub>10</sub>	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Tisch Environmental Modelo TE-6070	RFPS-0202-141
	La Cruz	MP <sub>10</sub>	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Tisch Environmental Modelo TE-6070	RFPS-0202-141
	Rural 1	MP <sub>10</sub>	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Tisch Environmental Modelo TE-6070	RFPS-0202-141
San isidro / Nehuencho	Bomberos	MP <sub>10</sub>	Método de atenuación beta	Thermo Andersen/ Serie FH 62 C14	EQPM-1102-150
	La Palma	MP <sub>10</sub>	Método de atenuación beta	Thermo Andersen/ Serie FH 62 C14	EQPM-1102-150
	San Pedro	MP <sub>10</sub>	Método de atenuación beta	Thermo Andersen/ Serie FH 62 C14	EQPM-1102-150
	La Cruz 2	MP <sub>10</sub>	Método de atenuación beta	Thermo Andersen/ Serie FH 62 C14	EQPM-1102-150
	Manzanar	MP <sub>10</sub>	Método de atenuación beta	Thermo Andersen/ Serie FH 62 C14	EQPM-1102-150
Eléctrica Santiago	Los Vientos	MP <sub>10</sub>	Método de atenuación beta	MetOne/ BAM1020	EQPM-0798-122

### 2.3 Evaluación de la norma de 24 horas para MP<sub>10</sub>

De acuerdo a lo indicado en el informe técnico “Cumplimiento de norma de calidad del aire por MP<sub>10</sub> en las redes de calidad del aire interior de la Región de Valparaíso”, se realizó una evaluación para el periodo comprendido entre el día 1° de enero de 2015 y el día 31 de diciembre de 2017. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los valores obtenidos del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de la norma de MP<sub>10</sub> para los años 2015, 2016 y 2017, en las estaciones de monitoreo de la Red.

**Tabla 2. Percentil 98 de las concentraciones diarias (24 horas) de MP<sub>10</sub> y porcentaje de superación de la norma.**

Red	Estación de Monitoreo	Percentil 98 año 2015 (µg/m <sup>3</sup> )	% de la Norma 24 horas 2015 150(µg/m <sup>3</sup> N)	Percentil 98 año 2016 (µg/m <sup>3</sup> )	% de la Norma 24 horas 2015 150(µg/m <sup>3</sup> N)	Percentil 98 año 2017 (µg/m <sup>3</sup> )	% de la Norma 24 horas 2015 150(µg/m <sup>3</sup> N)
Fundición Chagres	Catemu (El Arrayán)	173	115	120	80	132	88
	Lo Campo	76	51	73	49	63	42
Melón	La Calera	104	69	92	61	89	60
	La Cruz	93	62	66	44	66	44
	Rural 1	82	55	67	45	75	50

San isidro / Nehuenco	Bomberos	97	65	74	49	74	49
	La Palma	78	52	54	36	57	38
	San Pedro	81	54	62	41	63	42
	La Cruz 2	113	75	81	54	83	55
	Manzanar	65	43	49	33	62	41
Eléctrica Santiago	Los Vientos	110	74	95	64	72	48

La Figura 1 muestra la superación de la norma debido al percentil 98 para todas las estaciones de la red en los años 2015 – 2017. Se puede observar, que sólo la estación Catemu tiene superación de esta norma.

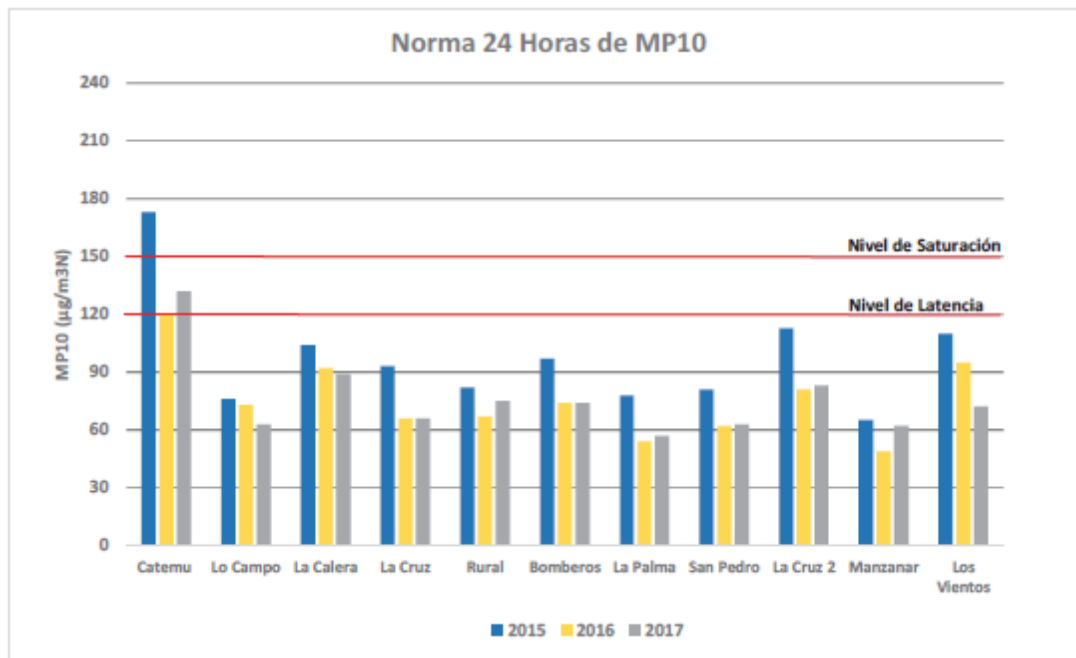


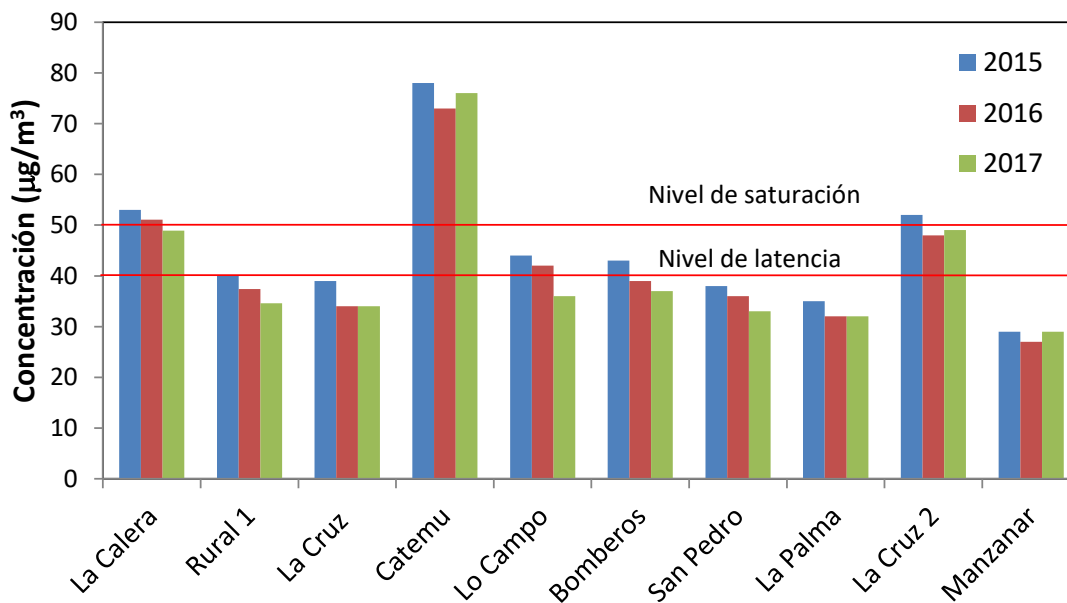
Figura 1. Gráfico del percentil 98 para todas las estaciones de la red los años 2015, 2016 y 2017.

#### 2.4 Evaluación de la norma anual para MP<sub>10</sub>

El período de evaluación de superación de la norma para MP<sub>10</sub> va desde el día 1° de enero de 2015 y el día 31 de diciembre de 2017. En la Tabla 3 se presenta un resumen de los valores obtenidos a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2015, 2016 y 2017, para las estaciones de monitoreo de la Red.

**Tabla 3.** Promedios anuales y trianuales de MP<sub>10</sub> para todas las estaciones. En rojo se indican las estaciones que superan la norma.

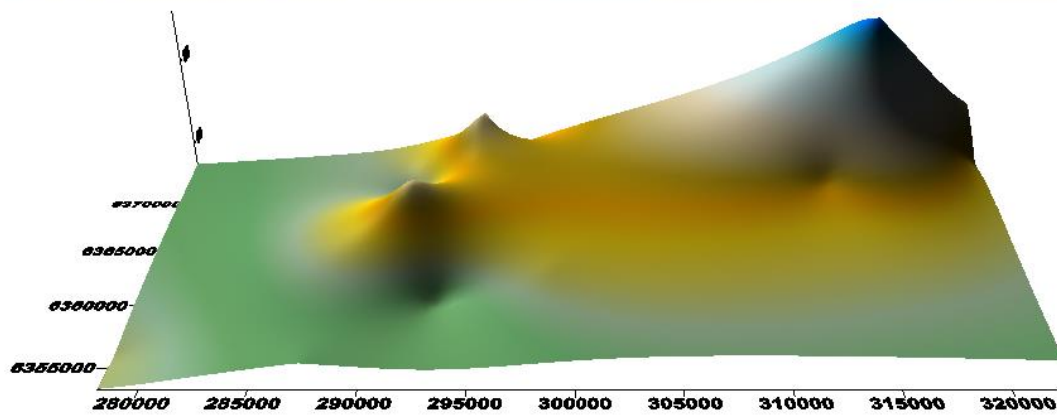
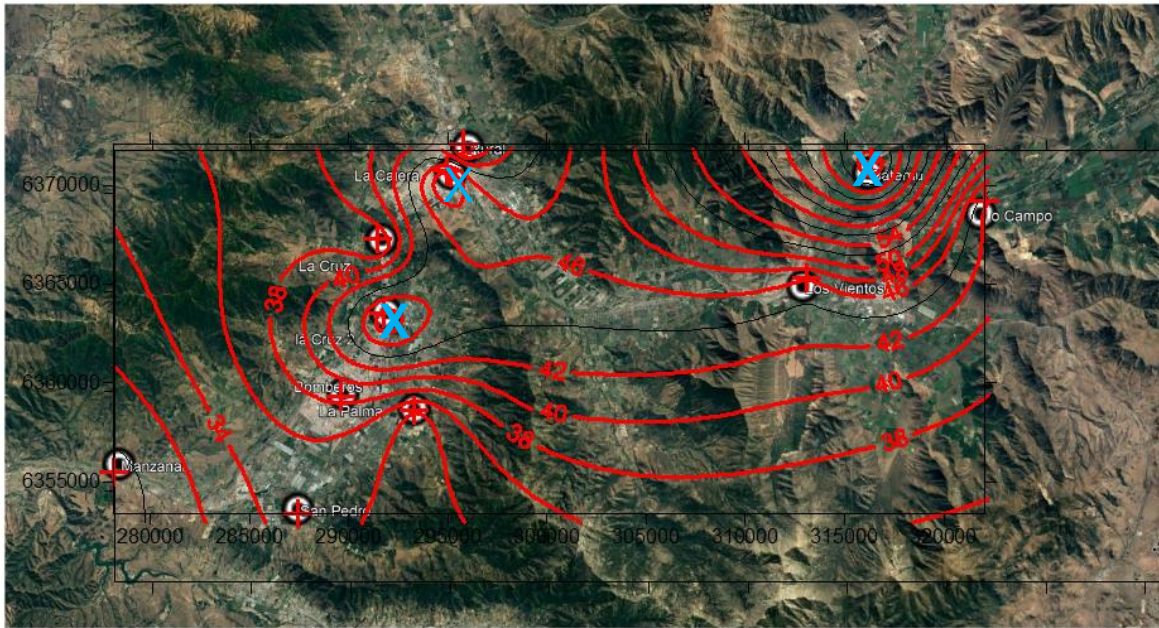
Red	Estación de Monitoreo	Promedio anual 2015 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio anual 2016 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio anual 2017 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio Trianual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Fundición Chagres	Catemu (El Arrayán)	78	73	66	72
	Lo Campo	44	42	36	41
Melón	La Calera	52	51	49	51
	La Cruz	39	34	34	36
	Rural 1	40	37	35	37
San isidro / Nehuenco	Bomberos	43	39	37	40
	La Palma	35	32	32	33
	San Pedro	38	36	33	35
	La Cruz 2	52	48	49	50
Eléctrica Santiago	Los Vientos	55	44	35	45



**Figura 2.** Concentraciones anuales en las estaciones de la red para los años 2015 – 2017.

La Figura 2 muestra el promedio anual de las estaciones de la red entre los años 2015 – 2017. Se puede observar que la estación Catemu supera claramente la norma anual, y las estaciones La Calera y La Cruz 2 solo la superan levemente.

Una figura con una interpolación de concentraciones medidas se muestra en Figura 4. La interpolación (de tipo Krigging) solo usa los datos de  $\text{MP}_{10}$  de las estaciones y rellena los espacios intermedios, no es una simulación. Se puede ver que en los alrededores de las estaciones que solo levemente superan la norma (La Calera y La Cruz 2) los niveles de  $\text{MP}_{10}$  son bastante más bajos. Esto se verá con más detalle más adelante.



**Figura 3.** Mapas con interpolaciones de las concentraciones medidas. Las cruces azules muestran las estaciones con valores iguales o superiores a la norma de  $MP_{10}$ . La figura inferior, muestra un mapa tridimensional de las concentraciones.

## 2.5 Estadísticas descriptivas

Para evaluar la pertinencia de la declaración de Zona Saturada utilizando la información entregada en la Tabla 3 se hará un análisis de los errores y variabilidad experimental de los datos.

**Tabla 4.** Información estadística de las mediciones de  $MP_{10}$  en unidades de ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) para las tres estaciones que superan la norma en los años 2015 – 2017.

Estación	Parámetro	2015	2016	2017	Trianual
Catemu <sup>1</sup>	Promedio	<b>78,1</b>	72,8	65,5	72,1
	Desv. estándar	<b>36,8</b>	24,0	25,1	29,6
	Máximo	267,5	148,3	155,0	267,5
	Mínimo	15,9	14,6	7,9	7,9
	Mediana	72,5	69,8	65,3	68,1
La Calera <sup>1</sup>	Promedio	52,3	51,1	48,9	50,8
	Desv. estándar	22,6	16,7	17,5	19,1
	Máximo	126,1	97,1	129,1	129,1
	Mínimo	1,3	11,8	18,0	1,3
	Mediana	49,7	49,7	48,8	49,5
La Cruz <sup>2</sup>	Promedio	51,7	48,3	49,267	49,7
	Desv. estándar	34,0	30,1	32,2	32,1
	Máximo	641,9	485,7	462,8	641,9
	Mínimo	0,7	0,5	0,7	0,5
	Mediana	44,4	41,7	41,7	42,5

<sup>1</sup>Calculado con los promedios diarios del período

<sup>2</sup>Calculado con los promedios horarios del período

En la Tabla 4 se puede observar que el promedio trianual de MP<sub>10</sub> en Catemu es claramente mayor que 50 µg/m<sup>3</sup>. Pero el promedio trianual en La Calera es levemente mayor que 50 y en La Cruz 2, es levemente menor que 50. Además, la desviación estándar es aproximadamente el 40% del valor del promedio para todas las estaciones. Esto indica que se debe hacer análisis estadístico para determinar si el promedio es mayor o igual que la norma. Esto se hará en la sección 3.1.

La desviación estándar indica la incertidumbre que tiene el promedio en un grupo de medidas, y esto se expresa por medio de probabilidades. Por ejemplo para el año 2015 en Catemu (marcado en rojo en la Tabla 4), la desviación estándar indica que existe una probabilidad del 64,2% de que el promedio esté contenido entre (78,1 – 36,8) y (78,1 + 36,8).

## 2.6 Sistematización de la información de fuentes

Se muestran a continuación las fuentes emisoras industriales, medianas y grandes que existen en la provincia de Quillota y en San Felipe. De acuerdo al RETC para el año 2017, para las comunas mencionadas existe una emisión consolidada de 1.070 t/año de MP por fuentes fijas declaradas, y el 99,2% (1.061 t/año) se concentran en las siguientes fuentes:



**Tabla 5. Lista de las fuentes emisoras industriales, medianas y grandes que existen en la provincia de Quillota y en San Felipe**

Titular	Establecimiento	Tipo de fuente	Emisión MP (t/año)	Coordenadas Norte	Coordenadas Este
ANGLO AMERICAN SUR S.A.	ANGLO AMERICAN SUR S.A.	Proceso con combustión	775,81	6369240	316996
ANGLO AMERICAN SUR S.A.	ANGLO AMERICAN SUR S.A.	Proceso sin combustión	123,10375	6369240	316996
COMPANIA ELECTRICA TARAPACA S A	CENTRAL SAN ISIDRO I	Proceso con combustión	61,561	6353373	283427
COMPANIA ELECTRICA TARAPACA S A	CENTRAL SAN ISIDRO I	Proceso con combustión	5,86586322	6353373	283427
ENEL GENERACION CHILE S.A.	CENTRAL SAN ISIDRO II	Proceso con combustión	6,472	6353313	283436
COLBUN S A	COMPLEJO TERMOELÉCTRICO NEHUENCO I	Proceso con combustión	16,899	6353249	282921
COLBUN S A	COMPLEJO TERMOELÉCTRICO NEHUENCO II	Proceso con combustión	9,284	6353249	282921
MELON S.A.	CEMENTO MELÓN PLANTA LA CALERA	Proceso sin combustión	22,412448	6369818	293930
SODIMAC S A	HOMECENTER QUILLOTA	Grupo Electrónico	5,664343	6357992	289871
MELON S.A.	CEMENTO MELÓN PLANTA LA CALERA	Proceso con combustión	4,66926	6369818	293930
ANGLO AMERICAN SUR S.A.	ANGLO AMERICAN SUR S.A.	Proceso sin combustión	4,64875	6369240	316996
ANGLO AMERICAN SUR S.A.	ANGLO AMERICAN SUR S.A.	Proceso sin combustión	4,4805	6369240	316996
CENCOSUD RETAIL S.A.	SISA 646	Grupo electrónico	3,1780224	6360133	290986
CENCOSUD RETAIL S.A.	SISA 850	Grupo electrónico	3,05317152	6358069	289207
CENCOSUD RETAIL S.A.	N544 SISA LA CALERA JJPerez	Grupo electrónico	2,83752	6370308	294910
CENCOSUD RETAIL S.A.	SANTA ISABEL N848	Grupo electrónico	2,7807696	6357810	288143
CRISTALERIAS DE CHILE S A	CRISTALERIAS DE CHILE S A PLANTA LLAY LLAY	Proceso con combustión	2,77996	6363872	318291
CRISTALERIAS DE CHILE S A	CRISTALERIAS DE CHILE S A PLANTA LLAY LLAY	Proceso con combustión	2,4916	6363872	318291
VIVEROS HIJUELAS S A	VIVEROS HIJUELAS SA	Caldera industrial	2,33984	6365539	300946
CENCOSUD RETAIL S.A.	SISA N549	Grupo electrónico	1,1917584	6370141	295063

Asimismo, existen las siguientes faenas mineras (no subterráneas) declaradas para dichas comunas:

**Tabla 6. Lista de faenas mineras en la provincia de Quillota y en San Felipe**

N°	Nombre faena	Comuna	Extracción	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
1	Mina El Molle	Quillota	Sulfuro de cobre, rajo abierto	295.885	6.382.020
2	Cía. Minera Catemu Ltda.	La Calera	Concentración de oro y cobre	303.750	6.373.050
3	Planta Proquimin	La Calera	Concentración de caolín	294.170	6.369.170
4	Soc. Minera Godoy Schwenger y Cía.	Hijuelas	Planta de chancado de carbonato de calcio blanco	299.092	6.368.492
5	Anglo American Sur S.A., División El Soldado – Mina Caquicito	Nogales	Sulfuros de cobre, rajo abierto	304.570	6.375.380
6	Anglo American Sur S.a. – División el Soldado – Planta Lixiviación y Extracción por Solventes	Nogales	Sulfuros de cobre	302.440	6.384.342
7	Anglo American Sur S.A., División El soldado – Rajo Veta Blanca	Nogales	Sulfuros de cobre, rajo abierto	302.440	6.386.500
8	Gunter Rochefort Ernst – Planta Veta del Agua	Nogales	Sulfuros de cobre, Planta de molienda	300.853	6.381.906
9	Anglo American Sur S.A., División El Soldado – Planta de Sulfuro	Nogales	Sulfuros de cobre – concentración	299.100	6.384.800
10	Ingrid Campodónico Martínez – Mina El Álamo Sur	Nogales	Óxidos de cobre – rajo abierto	297.845	6.375.016
11	Soc. Minera San José – Mina San José	Nogales	Caliza – Refinación electrolítica	296.321	6.389.000
12	Jaime Alonso Estay Valencia – Mina El Molle	Nogales	Óxidos de cobre – rajo abierto	290.885	6.382.350
13	Pinto Hermanos Ltda. – Mina Pucalán 4	Nogales	Caliza, rajo abierto	284.600	6.376.400
14	Minera Melón S.A. – Planta Chancado Ñilhue	Catemu	Carbonato de calcio blanco, molienda	323.300	6.378.450
15	Inmobiliaria e Inversiones El Cano Ltda. – Mina Cony	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	323.077	6.386.726
16	Inmobiliaria e Inversiones El Cano Ltda. – Mina La Cony	Catemu	Sulfuros y óxidos de cobre, rajo abierto	323.077	6.386.726
17	Inmobiliaria e Inversiones El Cano Ltda. – Mina Cardonal	Catemu	Sulfuros y óxidos de cobre, rajo abierto	323.077	6.386.726
18	Esteban Gómez Aguilera, Mina Chagualito	Catemu	Sulfuros de cobre, rajo abierto	323.000	6.385.800
19	Juan Schiappacase Ahumada – Planta Guayacán	Catemu	Molienda de feldespato sódico	322.270	6.373.145
20	Juan Schiappacase Ahumada – Mina Guayacán	Catemu	Feldespato sódico, rajo abierto	322.248	6.373.549
21	Iradae Baeza Rivas – Mina Lucifer 10	Catemu	Sulfuros de cobre, rajo abierto	321.632	6.388.319
22	Soc. Exportadora El Escorial S.A. – Planta La Poza	Catemu	Cuarzo, molienda	321.318	6.381.253
23	Minera e Industrial Llay- Llay S.A. - Mina Jenny 1 al 20	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	317.005	6.384.449
24	Hugo Gerardo Ibarra Escudero – Mina Roger	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	316.817 316.800	6.386.393 6.386.376
25	CEMIN – Mina Uva	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	316.701	6.378.031
26	Armando Patricio Torres Briceño –	Catemu	Óxidos de cobre,	316.676	6.384.221

	Mina Jenny		rajo abierto		
27	Diego Bustamante Salinas – Mina San Diego	Catemu	Sulfuros de cobre, rajo abierto	316.308	6.383.831
28	Guido Samuel Codoceo Tapia – Mina Morterito 1 al 20	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	315.985	6.384.129
29	Manuel Fernández Olivares – Mina Punto Cuatro	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	315.878	6.383.839
30	José Iván Rojas Villarroel – Mina Marne 1/600	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	315.524	6.375.009
31	Luis Humberto Gamboa – Mina La Higuera	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	315.471	6.383.684
32	Soc. Constructora La Patagua – Planta Las Pataguas	Catemu	Óxido de cobre, lixiviación y extracción por solventes	314.873	6.382.517
33	CEMIN – Mina La Cardenilla	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	314.709	6.382.505
34	Soc. Contractual Minera Oximin – Mina El Sauce	Catemu	Sulfuros de cobre, rajo abierto	314.655	6.374.457
35	Soc. Contractual Minera Oximin – Mina Colbert	Catemu	Sulfuros de cobre, rajo abierto	314.627	6.374.457
36	Minera Alto Cordillera Ltda. – Mina Vicente Dos	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	314.248	6.375.124
37	Freddy Rivera Saavedra – Mina la Molino	Catemu	Óxidos y sulfuros de cobre, rajo abierto	313.500	6.374.500
38	Ricardo Hernán Parra Araya – Mina Boyen	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	313.366	6.382.284
39	Ricardo Felipe Parra Jamet - Mina El Boldo 1 al 20	Catemu	Óxidos de cobre, rajo abierto	312.619	6.378.635
40	Ricardo Hernán Parra Araya – Mina La Fortuna 21/31	Catemu	Sulfuros de cobre, rajo abierto	310.729	6.382.544
41	Cía. Minera Amalia Ltda. – Planta Catemu	Llay Llay	Óxidos de cobre, Lix. Y extracción por solvente	303.750	6.373.050
42	Hugo Gerardo Ibarra Escudero – Mina La Mona	Llay Llay	Cuarzo Rajo Abierto	328.328	6.358.479
43	Sociedad Minera Monte-Rey S.A. - Mina La Suerte 1-10	Llay Llay	Cobre – oro rajo abierto	326.495	6.358.325
44	Mina La verdosa	Llay Llay	Óxidos de cobre – rajo abierto	324.553	6.361.092
45	Mina David		Sulfuros de cobre – rajo abierto	324.177	6.360.085
46	Mina Mazona		Óxidos de cobre, rajo abierto	323.175	6.360.931
47	Los Loros (2)		Sulfuros de cobre, rajo abierto	323.172	6.361.470
48	Los Loros		Óxidos de cobre, rajo abierto	323.133	6.361.470
49	Las Ventanas		Sulfuros de cobre, rajo abierto	321.300	6.355.650
50	Las Varillas		Sulfuros de cobre, rajo abierto	320.894	6.355.465
51	Los Riscos de San Lorenzo		Sulfuros y óxidos de cobre, rajo abierto	320.817	6.365.325
52	Mina Mantolín		Óxidos de cobre, rajo abierto	315.498	6.357.737

Mapas con la ubicación de las fuentes emisoras y las compañías mineras del sector se muestran a continuación en la Figura 4. Se puede ver que existen muchas fuentes distribuidas por toda la región, sin embargo, sólo las fuentes que están cercanas a las estaciones o viento arriba de ellas influyen en las concentraciones medidas.



Figura 4. Mapa con las estaciones de monitoreo y las fuentes emisoras de material particulado.

### 3. Análisis estadístico y fenomenológico de los antecedentes

El análisis de las fuentes emisoras, que incluye su localización, compuestos emitidos, variación temporal es importante porque permite asignar responsabilidades para el  $MP_{10}$  medido en las estaciones. Por ejemplo, si el perfil temporal diario de una estación tiene un aumento de concentraciones entre las 8 y 10 de la mañana, significa que las el tráfico vehicular es responsable del aumento a esa hora. Si el aumento ocurre en la noche, durante el invierno, entonces las emisiones de quema de leña para calefacción son las responsables del aumento. El análisis de t-Student se utilizará para determinar si existe certeza estadística respecto a la superación de la norma, o sólo igualdad.

#### 3.1 Análisis de T-Student en Catemu, La Calera y La Cruz 2.

Las pruebas estadísticas se utilizan porque los datos siempre tienen errores o variabilidad, que no permiten tener certeza del significado de una media u otro valor. Las pruebas estadísticas muestran la probabilidad de que la media u otro valor cumpla alguna condición. La prueba estadística de t-Student entrega la probabilidad de que la media sea mayor, menor o igual que otro valor. En este caso en particular, que la media trianual del  $MP_{10}$  de las estaciones, sea mayor, menor o igual a la norma de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De acuerdo al DS 107 del 27 de diciembre de 2018 el nivel de saturación es alcanzado cuando el promedio tri-anual de las concentraciones es mayor o igual a  $50(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ . Por ello, se realizó un análisis de estadístico t-Student para determinar si se supera o iguala la norma con certeza estadística suficiente. El análisis se realizó con todos los datos de  $\text{MP}_{10}$  para las tres estaciones y se comparó con la norma de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 7. Análisis estadístico t-Student de mediciones de  $\text{MP}_{10}$  en Catemu para los años 2015 – 2017.**

Estación	Catemu
<b>Parámetro: <math>\text{MP}_{10}</math></b>	
Nº de muestras válidas	364
Nº de muestras faltantes	1
<b>Hipótesis: Media es</b>	<b>MENOR o IGUAL QUE 50</b>
Certeza	99%
Valor crítico	2,337
Valor prueba T	14,26
Valor P	0,0
<b>Resultado, la hipótesis es:</b>	<b>Rechazada</b>
<b>Conclusión: La media es mayor que 50</b>	

Los resultados del análisis t-Student para la estación de Catemu se muestran en la Tabla 7, y la conclusión es que se puede demostrar con certeza estadística del 99% que la media de los años 2015 – 2017 en Catemu es mayor que  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 8. Análisis estadístico t-Student de mediciones de  $\text{MP}_{10}$  en La Calera para los años 2015 – 2017.**

Estación	La Calera
<b>Parámetro: <math>\text{MP}_{10}</math></b>	
Nº de muestras válidas	366
Nº de muestras faltantes	0
<b>Hipótesis: Media es</b>	<b>IGUAL a 50</b>
Certeza	99%
Valor crítico	2,589
Valor prueba T	0,769
Valor P	0,443
<b>Resultado, la hipótesis es:</b>	<b>Aceptada</b>
<b>Conclusión: La media es igual a 50</b>	

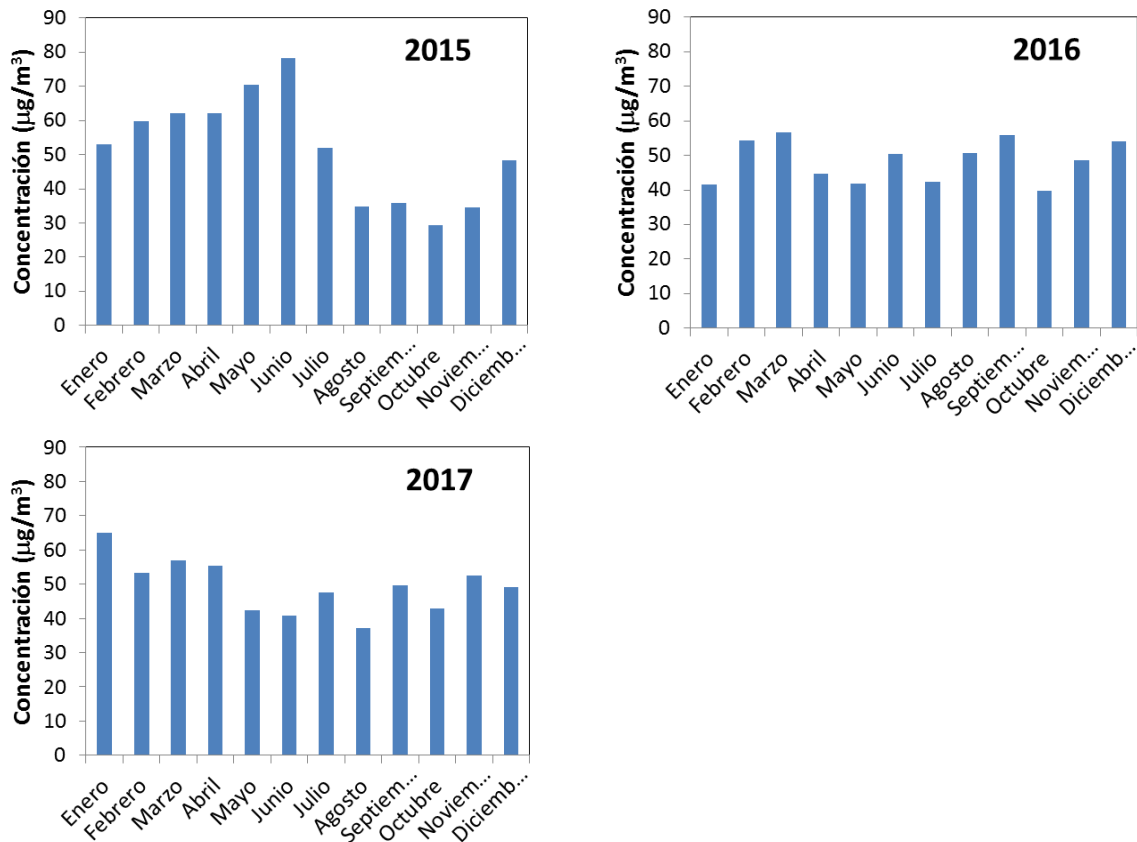
Los resultados del análisis t-Student para la estación de La Calera se muestran en la Tabla 8, y la conclusión es que se puede demostrar con certeza estadística del 99% que la media de los años 2015 – 2017 es igual que  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto significa que no se puede afirmar con certeza estadística que La Calera supera la norma, sino que solo alcanza el nivel de la norma.

**Tabla 9. Análisis estadístico t-Student de mediciones de MP<sub>10</sub> en La Cruz 2 para los años 2015 – 2017.**

Estación	La Cruz 2
<b>Parámetro: MP<sub>10</sub></b>	
Nº de muestras válidas	26.042
Nº de muestras faltantes	262
<b>Hipótesis: Media es</b>	<b>IGUAL a 50</b>
Certeza	99%
Valor crítico	-2,576
Valor prueba T	-1,329
Valor P	0,184
<b>Resultado, la hipótesis es:</b>	<b>Aceptada</b>
<b>Conclusión: La media es igual a 50</b>	

Los resultados del análisis t-Student para la estación de La Cruz 2 (Tabla 9) son similares a lo obtenido en La Calera y la conclusión es que se puede demostrar con certeza estadística del 99% que la media de los años 2015 – 2017 es igual que 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Al igual que en La Calera, no se puede afirmar con certeza estadística que La Cruz 2 supera la norma, sino que solo alcanza el nivel de la norma.

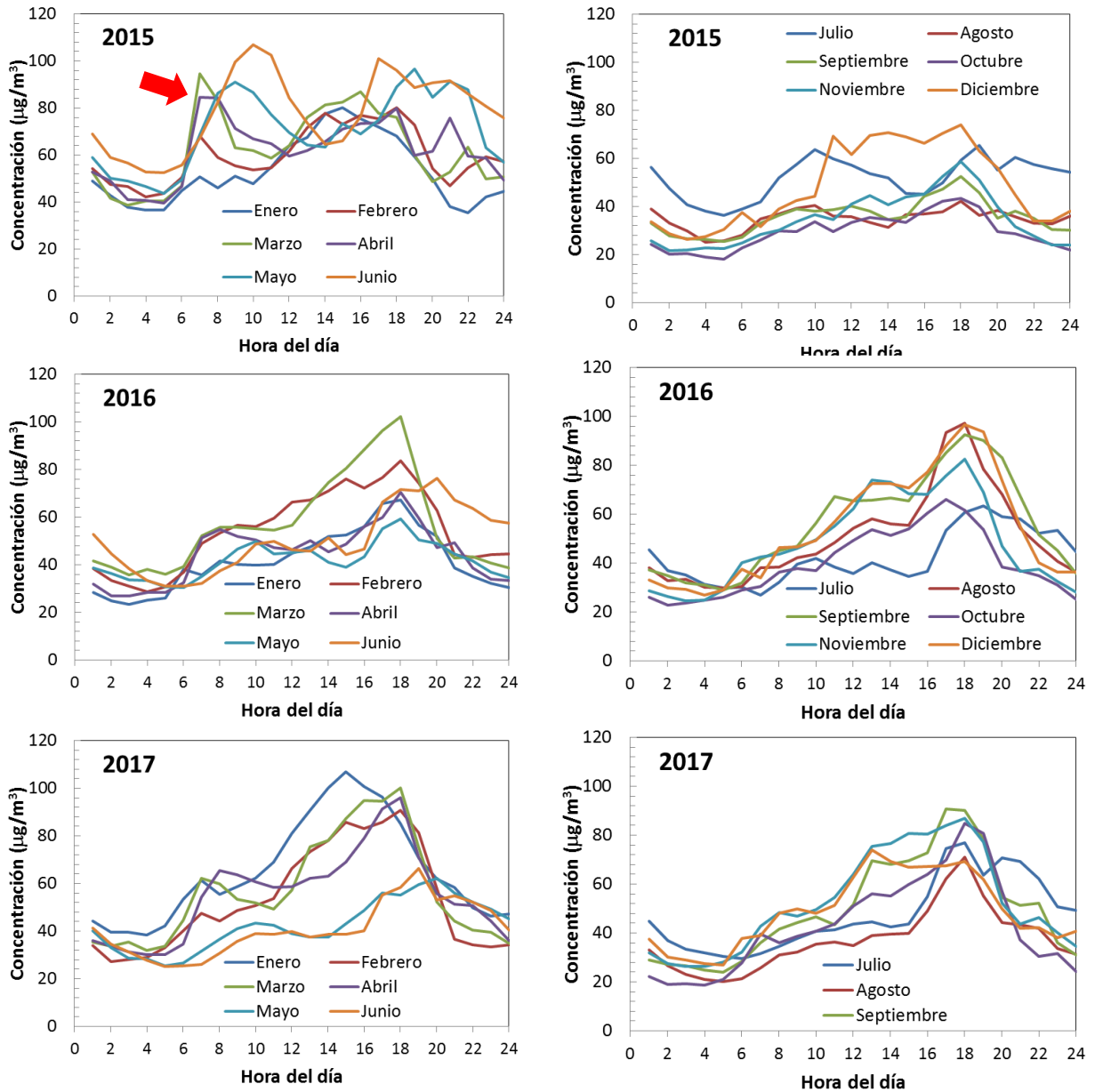
### 3.2 Perfil horario y mensual en la estación La Cruz 2.



**Figura 5. Promedios mensuales para la estación La Cruz 2 para los años 2015 – 2017.**

La estación La Cruz 2 registró superación de la norma trianual durante los años 2015 – 2107. En particular, el año 2015 la concentración fue mayor que los años posteriores.

Para esta estación existen datos horarios de  $MP_{10}$ , ello permite calcular los perfiles diarios de contaminación. Estos perfiles son útiles para estimar las fuentes o las causas que general la contaminación.



**Figura 6.** Perfiles diarios de  $MP_{10}$  (calculados mensualmente) para los tres años en la estación La Cruz 2.

Los perfiles anuales de  $MP_{10}$  muestran poca variación durante el año. Esto se puede entender porque el  $MP_{10}$  está compuesto principalmente de polvo resuspendido. La

resuspensión es mayor en verano porque la velocidad del viento es mayor. Durante el invierno la velocidad del viento es menor y la humedad del suelo limita la resuspensión de polvo, por ello, debería haber menos  $MP_{10}$ . Sin embargo no se observa una baja notoria probablemente porque el menor polvo resuspendido en invierno es compensado por otras fuentes que generan  $MP_{10}$ .

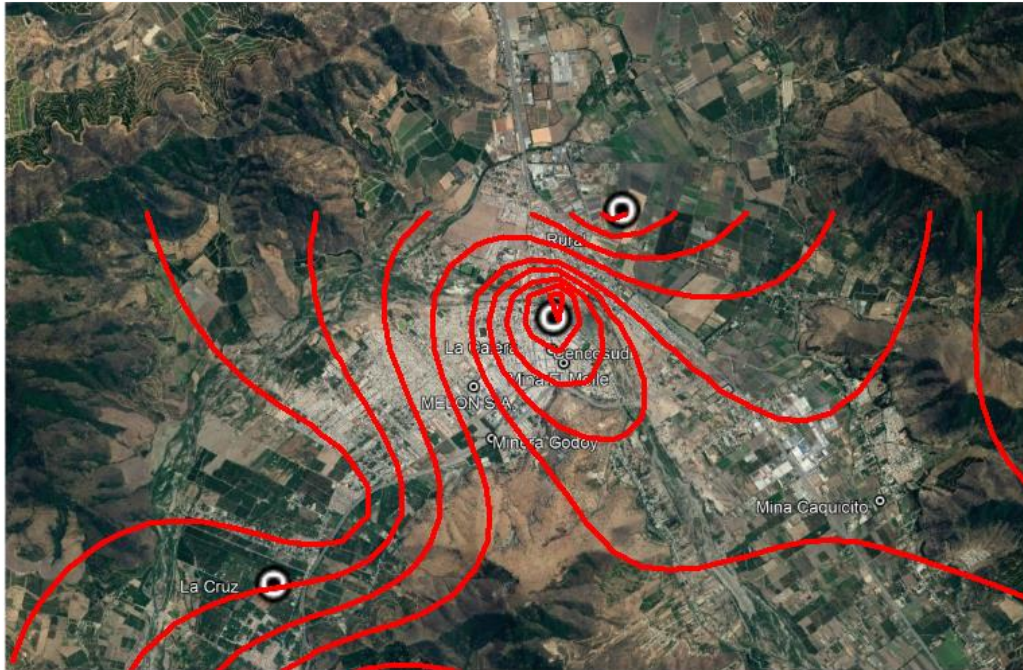
Por otro lado, el perfil anual del año 2015 difiere de los años 2016 y 2017. Se observa claramente que durante la primera mitad del año las concentraciones fueron más altas que durante la segunda. Esto puede ser debido a una fuente que generó  $MP_{10}$  durante los primeros meses del año 2015 y después ya no siguió generando  $MP_{10}$ . La fuente se puede identificar a partir de los perfiles diarios de  $MP_{10}$  que se muestran en la Figura 6. Durante los primeros 6 meses del año 2015, los niveles de  $MP_{10}$  fueron más altos que en los meses siguientes y los demás años. Además, se observa un aumento entre las 7:00 y 11:00 de la mañana, que no se observa en los años siguientes (ver flecha roja en la figura). Este aumento es debido a tráfico vehicular, es decir durante los primeros 6 meses del año 2015 hubo un tránsito vehicular más alto que en los demás años y que probablemente es responsable de la superación de la norma ese año.

Hay que hacer notar, que la estación La Cruz 2 está ubicada en el pueblo del mismo nombre y que el entorno de la estación es similar al entorno que existe en la estación La Palma y la estación La Cruz. Pero estas últimas estaciones tienen niveles promedio de  $MP_{10}$  que no superan ni igualan la norma. Esto significa que pueden existir fuentes en los alrededores de la estación La Cruz 2 responsables de los niveles de superación. Un inventario de emisiones que considerara todas las posibles fuentes sería importante para entender por qué existe superación de la norma. El inventario tendría que considerar fuentes areales tales como calefacción y quema de leña, fuentes difusas tales como uso de solventes, quema de residuos de cosecha, uso de maquinaria agrícola y fuentes vehiculares, ya que la estación La Cruz 2 está muy cerca de una carretera de alto flujo.

### **3.3 Perfil espacial y temporal en la estación La Calera**

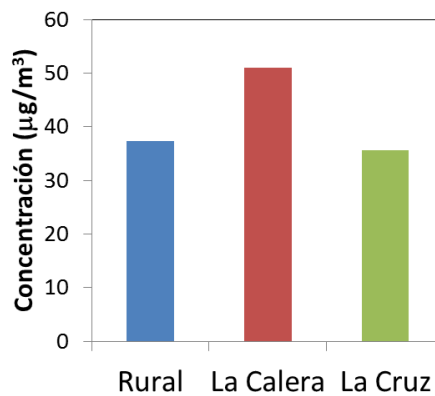
La estación La Calera, ubicada en el sector de la ciudad presenta superación de la norma. En el sector existen además otras dos estaciones de monitoreo de  $MP_{10}$  que presentan niveles más bajos (Rural y La Cruz).





**Figura 7.** Mapa del sector de La Calera con las líneas de nivel de  $MP_{10}$

Se puede ver en los niveles de  $MP_{10}$  de la Figura 7 son más altos en La Calera, ya que en La Cruz y en Rural los niveles de  $MP_{10}$  son menores. Esto se ve claramente en la Figura 8, que muestra los promedios trianuales.

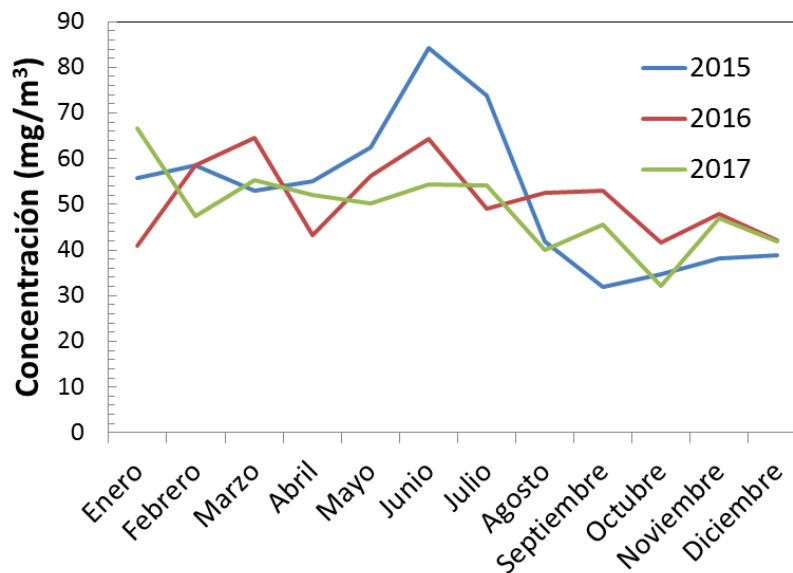


**Figura 8.** Promedio trianual de  $MP_{10}$  en las estaciones de Rural, La Calera y La Cruz.

La estación La Calera está dentro de la ciudad, mientras que las estaciones La Cruz y Rural están fuera de esta. Al ser los niveles del  $MP_{10}$  altos solamente dentro de la ciudad, esto indica que las fuentes dentro de la ciudad son las que generan la contaminación. Estas fuentes pueden ser vehiculares, combustión de leña, o empresas localizadas dentro de La Calera. Con los datos disponibles no es posible determinar cuáles son las fuentes que generan el  $MP_{10}$  o cuál es su importancia. Por ello, es necesario realizar una buena caracterización de las fuentes, especialmente las difusas y areales (leña, vehículos, pequeños talleres, etc.) y actualizar o mejorar el inventario de emisiones para el sector. Se sugiere también realizar estudios de composición

química de los compuestos del  $MP_{10}$  para determinar con mayor precisión las fuentes que lo generan.

Las concentraciones mensuales de  $MP_{10}$  para los años 2015 – 2017 en la estación La Calera se muestran en la Figura 9. Se puede ver que las concentraciones para los años 2016 y 2017 no varían mucho durante el año. Esto indica que las fuentes que típicamente aumentan sus emisiones en invierno (quema de biomasa) no son demasiado relevantes. El año 2015 hay un aumento en los meses de Junio – Julio. Los datos muestran que las concentraciones son probablemente generadas por fuentes que emiten en forma constante (faenas mineras, industriales o viento).

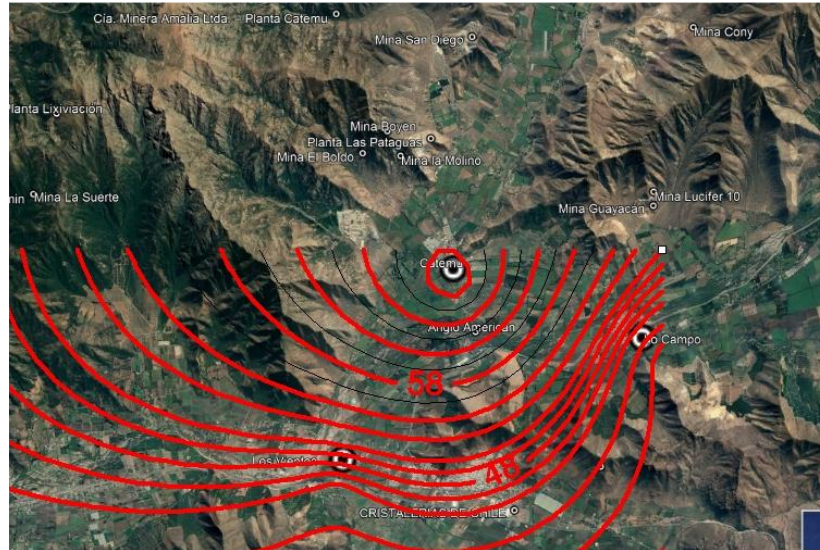


**Figura 9.** Concentraciones mensuales de  $MP_{10}$  para la estación La Calera.

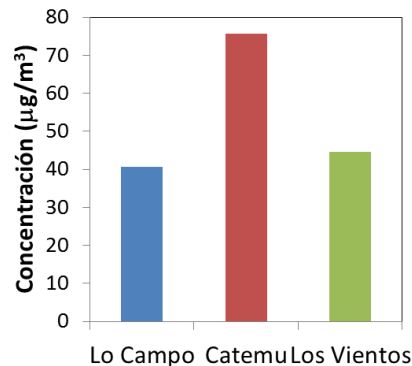
### 3.4 Perfil espacial y temporal en la estación Catemu.

La estación Catemu, que presenta superación de la norma se muestra en la Figura 10. Al igual que en La Calera, los niveles más altos de  $MP_{10}$  se presentan en el pueblo de Catemu, y las estaciones cercanas, ubicadas en el lado sur: Los Vientos y Lo Campo tienen concentraciones más bajas. Por otro lado, como se ve en la Figura 10, en el sector norte de Catemu, existen varias faenas mineras que también pueden ser responsables de las altas concentraciones. Luego, en el sector de Catemu, las altas concentraciones son probablemente generadas por emisiones del pueblo, por faenas mineras en el sector norte y por la planta de Anglo American. La Figura 11 muestra las concentraciones trianuales en Catemu, Los Vientos y Lo Campo. En este caso, los altos niveles de  $MP_{10}$  en Catemu son probablemente generados por fuentes dentro del pueblo, por faenas mineras en el sector norte o por la planta de Anglo American. La Figura 10 también muestra que en el sector norte de Catemu, existen muchas faenas minera que pueden generar altos niveles de  $MP_{10}$ , sin embargo no existe ninguna

estación de monitoreo que pueda dar cuenta de estas emisiones. Sería conveniente tener más información en ese sector para determinar con mejor certeza la responsabilidad de las fuentes.



**Figura 10.** Mapa de la zona de Catemu con líneas de nivel de  $MP_{10}$



**Figura 11.** Promedio trianual de  $MP_{10}$  en las estaciones de Lo Campo, Catemu y Los Vientos.

Las concentraciones mensuales de  $MP_{10}$  para los años 2015 – 2017 en la estación Catemu se muestran en la Figura 12. Se puede ver que las concentraciones para los años 2016 y 2017 no varían mucho durante el año. Esto indica que las fuentes que típicamente aumentan sus emisiones en invierno (quema de biomasa) no son demasiado relevantes. Solo se observa en el año 2015 un aumento en los meses de Mayo –Julio. Los datos muestran que las concentraciones son probablemente generadas por fuentes que emiten en forma constante (faenas mineras, industriales o viento). Al igual que en La Calera, con los datos disponibles no es posible determinar cuáles son las fuentes que generan el  $MP_{10}$  o cuál es su importancia. Por ello, se sugiere realizar estudios de composición química para identificar las fuentes y la fracción de  $MP_{10}$  que generan. Además, una mejora en los inventarios de emisiones, y un contraste con las concentraciones medidas puede mejorar el conocimiento sobre la responsabilidad de las fuentes.

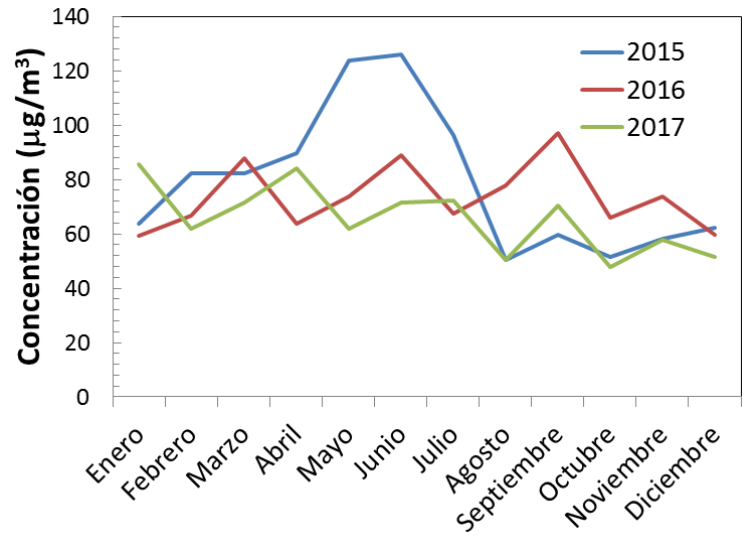
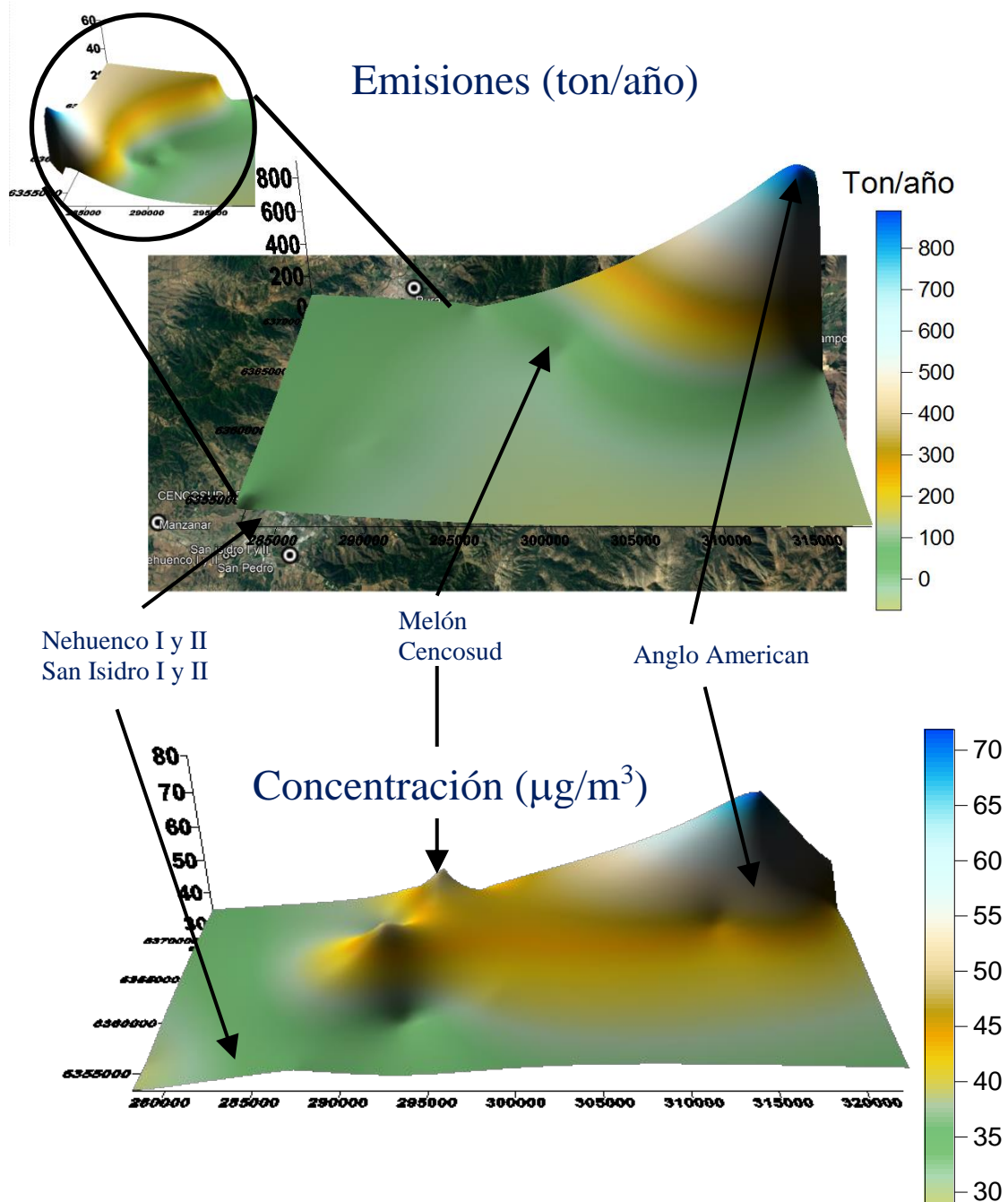


Figura 12. Concentraciones mensuales de MP<sub>10</sub> para la estación Catemu

### 3.5 Distribución de emisiones y relación con concentraciones.

Las emisiones de contaminantes que se indican en la Tabla 5 han sido graficadas en un mapa tridimensional en la Figura 13 junto con las concentraciones trianuales medidas en las 11 estaciones de la red.



**Figura 13.** Relación entre emisiones de las fuentes (ton/año) y concentraciones promedio medidas en las estaciones.

La figura anterior muestra que no hay necesariamente una relación lineal entre las emisiones y las concentraciones ya que los perfiles no son iguales.

Las máximas emisiones anuales de la zona son generadas por la planta de Anglo American (que se muestra en el panel superior de la Figura 13). Sin embargo las concentraciones máximas son medidas en Catemu (panel inferior), que se encuentra 2 km al norte de Anglo American. Esto indica que tiene influencia sobre la concentración en Catemu, pero no necesariamente es la única fuente.

En el sector de La Calera, se observa un máximo en las concentraciones medidas (panel inferior), sin embargo, las emisiones de las fuentes (Melón, Cencosud) localizadas en La Calera no muestran un máximo en ese sector (las flechas en el panel superior muestran la ubicación de las fuentes). Esto indica que existen otras emisiones de MP<sub>10</sub> que influyen sobre las concentraciones.

En el sector donde están ubicadas las centrales Nehuenco I y II y San Isidro I y II (las flechas indican la ubicación de las centrales), no se observan concentraciones más altas que los sectores aledaños (panel inferior). El panel superior muestra que hay emisiones de MP<sub>10</sub> generadas por las centrales termoeléctricas, pero que no tienen influencia sobre las concentraciones medidas en el sector (panel inferior).

#### 4. Conclusiones

- Los análisis estadísticos permiten determinar que sólo en Catemu se supera la norma anual de 50 µg/m<sup>3</sup>.
- En las estaciones de La Cruz 2 y La Calera, solamente se puede afirmar que el promedio trianual de MP<sub>10</sub> es igual a la norma. Esto es importante porque indica que con pequeños ajustes a las emisiones de las fuentes se puede salir de la condición de saturación.
- Los niveles iguales a la norma que se presentan en estación La Cruz 2, son probablemente debidos a un gran aumento en el tráfico durante la primera mitad del año 2015. Sin embargo no es claro por qué esta estación tiene niveles altos de MP<sub>10</sub> y las estaciones cercano no. Por ello, es necesario contar con un inventario con una buena caracterización de las fuentes.
- Los altos niveles de MP<sub>10</sub> en La Calera, son debidos a las fuentes locales (tráfico, calefacción o industrias) ya que en las estaciones cercanas los niveles de MP<sub>10</sub> son menores.
- En Catemu, los altos niveles de MP<sub>10</sub> pueden ser consecuencia de altas emisiones dentro del pueblo, de emisiones generadas por actividades mineras en el sector norte o la planta de Anglo American. Con la información disponible no es posible determinar la responsabilidad de las fuentes.
- Una mejora o actualización de los inventarios de emisiones puede ayudar en la determinación de las fuentes responsables de la generación de MP<sub>10</sub> en Catemu y La Calera. Es necesario especialmente caracterizar mejor las fuentes difusas y areales (leña, vehículos, pequeños talleres, etc.).

- En el sector norte de Catemu, existen muchas faenas mineras que pueden ser responsables del  $MP_{10}$  observado en el pueblo. Sin embargo, sería importante contar con mediciones en ese sector (actualmente no existen) que indiquen la concentración de  $MP_{10}$  y por lo tanto ayudar a determinar la responsabilidad de las fuentes.
- Un estudio de composición química de los compuestos de  $MP_{10}$  puede también ayudar en la determinación de la responsabilidad de las fuentes.