

EN LO PRINCIPAL: PRESENTA DENUNCIA; **EN EL PRIMER OTROSÍ**: SOLICITA HACERSE PARTE DEL PROCESO ADMINISTRATIVO SANCIONATORIO ROL D-166-2021; **EN EL SEGUNDO OTROSÍ**: ACOMPAÑA DOCUMENTOS; **EN EL TERCER OTROSÍ**: ACREDITA PERSONERÍA; **EN EL CUARTO OTROSÍ**: INDICA MEDIO DE NOTIFICACIÓN.

SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

SEBASTIÁN ALEJANDRO LEIVA ASTORGA, chileno, casado, abogado, C.I. N° [REDACTED] en representación de **FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA LIMITADA**, Rol Único Tributario N° [REDACTED], ambos domiciliados para estos efectos en Nueva de Lyon 145, piso 11, Providencia, Región Metropolitana, al Señor Superintendente del Medio Ambiente, respetuosamente digo:

I. PRESENTA DENUNCIA EN CONTRA DE COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA “PROYECTO: CANDELARIA 2030 – CONTINUIDAD OPERACIONAL”

Que, de conformidad a lo dispuesto por el artículo 2 de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (en lo sucesivo, “LOSMA”), prescribe que ésta repartición tendrá por objeto ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las Resoluciones de Calificación Ambiental, así como también, de todos los otros instrumentos de carácter ambiental que establezca la ley. Para estos efectos, la ley entregó una serie de atribuciones y facultades a esta repartición pública, dentro de las cuales se encuentra la de imponer sanciones, de conformidad a lo señalado en la Ley en comento.

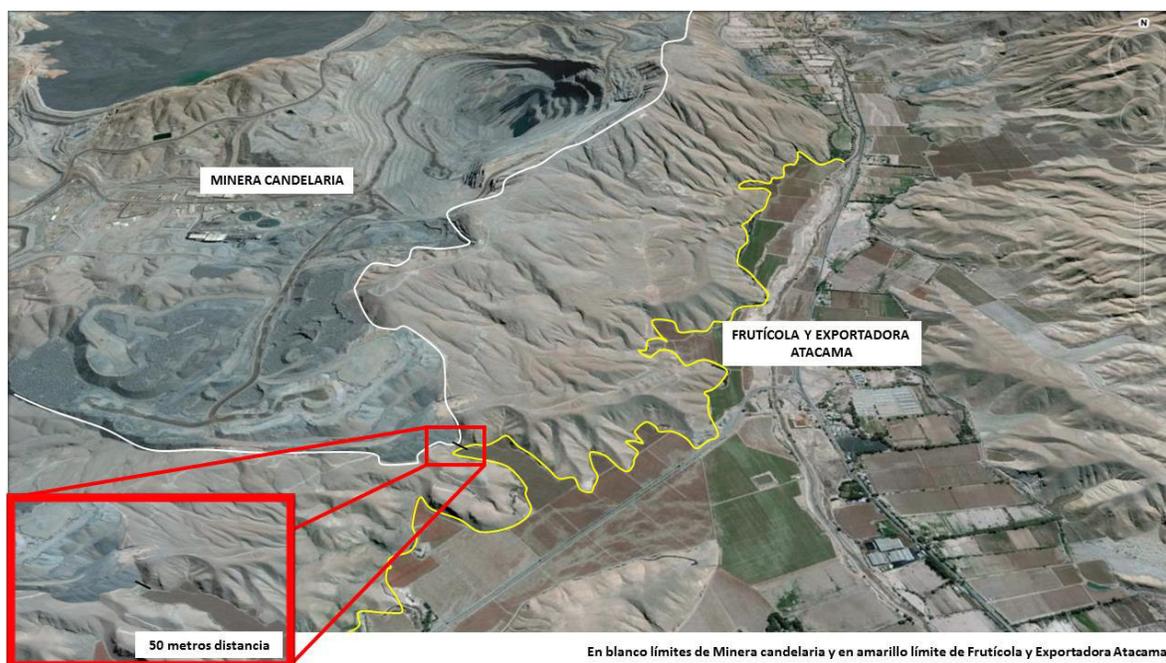
En atención a las potestades, señaladas en el párrafo anterior, el artículo 47 de la mencionada Ley, sostiene que el procedimiento administrativo sancionatorio podrá iniciarse de oficio o a petición de algún organismo sectorial o a solicitud de alguna persona interesada. En el último caso, toma el carácter de “Denuncia”. En efecto, conforme al artículo 21 del citado cuerpo normativo, se indica que *“cualquier persona podrá denunciar ante la Superintendencia el incumplimiento de instrumentos de gestión ambiental y normas ambientales”*.

Así, a continuación, se exponen los antecedentes que fundan la presentación de la denuncia.

I.1 ANTECEDENTES GENERALES

Las actividades de mi representada se emplazan en la Comuna de Tierra Amarilla, Provincia de Copiapó, Región de Atacama. La Figura siguiente grafica el emplazamiento.

Figura 1. Localización General del proyecto.



Como es posible apreciar de la Figura anterior, las partes, obras y acciones de Compañía Contractual Minera Candelaria (en lo sucesivo, “Minera Candelaria”) se emplazan de manera colindante a las actividades de mi representada.

I.2 DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE

Minera Candelaria cuenta con su respectiva “Autorización Ambiental” otorgada mediante la Resolución de Calificación Ambiental N°133/2015, dictada por la Comisión de Evaluación Ambiental, III Región de Atacama, (en lo sucesivo, “RCA N°133”). En esta Resolución se establece, entre otros temas de carácter ambiental, diversas exigencias y condiciones relacionadas con contaminantes atmosféricos y calidad del aire. En lo anterior, se encuentra contenido lo relativo a Material Particulado Sedimentable (en lo sucesivo, “MPS”) y Material Particulado Respirable 10 (en lo sucesivo, “MP10”), que más adelante analizaremos.

En la citada RCA, específicamente en su punto 6.1, relacionado con “Emisiones y Calidad del Aire”, se establece que:

“Las normas consideradas para comparar los valores de material sedimentable corresponden al D.S. N°4/92 del Ministerio de Agricultura que establece normas para material particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco en la III Región; El Decreto N°3395/96, Reglamento de la Ley N°5965 y 4 normas europeas, definidas para Alemania, Argentina, Países Bajos y Suiza.”.

De este modo, mediante el considerando 6.1 de la RCA N°133 se establecen los cuerpos reglamentarios a cumplir en materia de calidad del aire.

Para verificar el cumplimiento de lo anterior, mi representada, a su propia costa, contrató a DICTUC S.A. – organismo acreditado por el Instituto Nacional de Normalización – el desarrollo de un estudio detallado y pormenorizado de los contaminantes atmosféricos. Este estudio, se denominada **“Informe Final: Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla para Frutícola y Exportadora Atacama Ltda”**, de fecha 29 de octubre de 2019 (en lo sucesivo, el “Informe” o “Documento Técnico”).

El referido estudio, considera el muestreo de 8 estaciones de análisis, las cuales se singularizan a continuación:

Tabla 1. Denominación, coordenadas y altitud de los 8 puntos de medición

Punto	Denominación	Coordenada E	Coordenada N	Altitud
1	Placas Solares	367.576	6.943.413	997
2	Fundo las Terrazas	368.472	6.945.878	915
4	Casa de Rubén	371.068	6.949.847	721
5	Oficina Las Pintadas	372.955	6.951.943	604
7	La rotonda cuartel 17	373.910	6.953.395	558
8	Las compuertas cuartel 2	374.521	6.955.334	543
10	Parcela 15	375.886	6.951.572	573
11	Santa Laura	374.007	6.952.326	570

Con las estaciones anteriores, el citado documento técnico realizó una comparación, entre los resultados obtenidos en él, con el modelo receptor, para el MPS. aportado por Minera Candelaria, más lo informado por ellos, en el EIA del Proyecto “Candelaria 2030 – Continuidad Operacional”, que culminó con la obtención de la RCA N°133.

Para hacer dicha comparación, se utilizó la siguiente información:

“i) MPS modelado en dicho EIA para el caso del Escenario Actual de Operación 2011 como parámetro del Escenario Base 2011 (con las emisiones ambientalmente aprobadas). Esta información se presenta en el Adenda 3 del citado EIA (Apéndice 6 del Anexo Calidad del Aire, Figura 16), así como en la RCA del citado Proyecto, Resolución 133 de fecha 23 de julio 2015, donde se presenta los resultados de la modelación del MPS asociado exclusivamente a la operación actual de Mina Candelaria.

ii) Los resultados de la Tabla 11 (modelo de receptor), ajustando los aportes de fuente por el ratio MPS observado/MPS modelado, de manera que los valores modelados coincidan con los observados en cada sitio de medición.”

Con la información anterior, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Comparación valores promedio de aportes al MPS de Mina Candelaria en sitios de monitoreo (mg/m²/día) estimados por el modelo receptor y por la modelación de calidad del aire presentada en el EIA “Candelaria 20130 – Continuidad de Operación”

Sitio de monitoreo	Fuentes que contribuyen al MPS (mg/m ² /día)			Aporte de Mina Candelaria al MPS		
	Fundición Paipote	Polvo fino de Minería	Polvo grueso de Minería	Según modelo de receptor ⁽¹⁾	Según EIA Escenario 2011 A ⁽²⁾	Según EIA Escenario 2011 B ⁽³⁾
Casa de Rubén	2,7	103,5	6,4	110	<1	1 – 2
Fundo Las Terrazas	0,1	15,4	5,0	20	<1	<1
Packing las terrazas	2,8	35,8	9,3	45	<1	1 – 2
La Rotonda Cuartel 17	12,7	53,1	12,9	66	<1	10
Las Compuertas cuartel 2	16,4	65,6	25,0	91	<1	3
Oficina Las Pintadas	6,2	50,8	10,6	61	<1	3 – 4
Campamento la ballena	2,3	70,2	5,6	76	<1	1 – 2
Placas Solares	0,7	2,3	2,3	4,6	<1	<1
Santa Laura	7,9	65,0	11,5	76	<1	3
Parcela 15	17,2	79,8	6,9	87	<1	1 - 2

(1) Corresponde a la suma de aportes de polvo y polvo grueso muestreados por Dictuc.

(2) El escenario 2011 A corresponde a la condición de operación actual, con las emisiones atmosféricas de material particulado calculadas para la operación real de Mina Candelaria, año 2011. Fuente: Figura 16, página 17, Anexo 34 Calidad del Aire, EIA “Candelaria 2030 – Continuidad Operacional”, mayo 2014.

(3) El escenario 2011 B corresponde a usar las emisiones ambientalmente aprobadas para Mina Candelaria, año de operación 2011. Fuente: Figura 5, página 6, Apéndice

6, Anexo 34 Calidad del Aire, EIA “Candelaria 2030 – continuidad de Operación”, mayo 2014.

Respecto a lo anterior, la Figura 16, del citado Estudio de Impacto Ambiental (en lo sucesivo, “EIA”) indica que los valores modelados del MPS disminuyen rápidamente con la distancia a las fuentes emisoras, de manera que los aportes actuales (año base 2011) de Minera Candelaria, al MPS (modelados en el EIA), serían todos menores a $1 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, expresados como promedio anual. Sin embargo, los valores estimados, en el Informe DICTUC, **que son atribuibles a la actividad de Minera Candelaria, superan ampliamente el valor de $1 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, como se puede constatar para todos los sitios de medición más cercanos a esta actividad.**

Las conclusiones anteriores, también, son aplicables al escenario futuro (año 2020) del citado EIA, donde se estima, en todos los sitios de monitoreo de MPS, que los aportes de Minera Candelaria serían menores a $1 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, lo que está en clara discrepancia con los resultados presentados en el Informe de DICTUC.

Refrenda o corrobora lo anterior, el Informe Técnico DICTUC, el cual indica:

“[L]os sectores agrícolas más cercanos a mina Candelaria son los más afectados por la depositación de MPS proveniente de esa actividad minera, dado que la actividad de la Mina Candelaria se va a expandir hacia el sur de su ubicación actual [en relación con la RCA N°133/2015], aumentando las emisiones de polvo fugitiva en la zona [...] entonces se concluye que los aportes de Candelaria al MPS en la actividad agrícola aumentaría en magnitud, hacia el sur de la ubicación actual de la mina. En contraste, el EIA del Proyecto “Candelaria 2030 – Continuidad Operación” sostiene que en el escenario futuro (año 2020), todos los sitios de monitoreo de MPS estarían con aportes de Mina Candelaria bajo $1 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, incluso aquellos hacia el sur de Mina Candelaria, lo que está en clara contradicción con los resultados presentados en este Estudio, que señalan que los impactos 2017 – 2018 de MPS, de Mina Candelaria, en todos los sitios de monitoreo cercanos a dicha actividad superan ampliamente esas estimaciones del citado EIA. Por lo tanto, concluimos que no es posible que la futura operación de Mina Candelaria cumpla con el compromiso (señalado en la RCA respectiva) de no exceder los $25,3 \text{ (mg/m}^2/\text{día)}$ como promedio anual ni tampoco los

32,3 (mg/m²/día) como promedio mensual, ya que ambos valores están actualmente excedidos en varios de los sitios de monitoreo de MPS”¹ (énfasis añadido).

I.3 DEL MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE 10

Para la determinación de las concentraciones de MP10, se estableció un “Plan de Monitoreo Continuo” en la zona de Tierra Amarilla – tal como muestra la Figura a continuación – y consistió en la medición permanente de MP10 con un monitor de atenuación beta y la medición simultánea de variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa del aire, dirección y magnitud del viento.

¹ Informe Final de Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla para Frutícola y Exportadora Atacama Ltda. DICTUC, 2019 (pp.11).

Figura 2. Mapa de la zona de Tierra Amarilla donde se realizó el monitoreo ambiental. Panel izquierdo: vista general, incluyendo la zona urbana de Copiapó, destacada con borde negro. Panel derecho: vista ampliada de la zona de monitoreo.



La ubicación de la estación de monitoreo está dada por las coordenadas UTM WGS 84, Huso 19: 374.470 mE; 6.953.042 mN.

Los datos de la campaña de mediciones de MP10 se tomaron entre los meses de septiembre a diciembre de 2017. Respecto a lo anterior, el Informe del DICTUC presenta una metodología estadística para proyectar las concentraciones modeladas en la campaña a todo el trienio 2016 – 2018, a fin de poder comparar con las normas de calidad primaria de MP10 – revisar detalle en sección 5.2 del Informe del DICTUC -. Con esta data proyectada para el trienio 2016 – 2018, es posible construir la siguiente Tabla de resúmenes de evaluación de la normativa ambiental del MP10.

Tabla 3. Proyección de las concentraciones de MP10 en Tierra Amarilla periodo 2016 – 2018

Periodo	MP ₁₀ anual medido en Copiapó, (µg/m ³)	Proyección MP ₁₀ anual En Tierra Amarilla, (µg/m ³)	P98 MP ₁₀ 24 h medido en Copiapó, (µg/m ³)	Proyección P98 MP ₁₀ 24 h en Tierra Amarilla, (µg/m ³)
2016	53	105	122	222
2017	42	87	99	183
2018	43	88	102	188
2016-2018	46	93	107	198

De estos resultados, queda claro que en Copiapó se cumplen ambas normas de calidad del aire para MP10. En contraste, en la zona de Tierra Amarilla, la campaña de monitoreo continua mostró que esa zona está saturada para la norma anual de MP10 y que dichas concentraciones están dominadas por emisiones fugitivas de MP10. Dado que Minera Candelaria es la fuente dominante de emisiones fugitivas de MPS, en la zona de monitoreo, se concluye, entonces, que Minera Candelaria también es una fuente relevante de aportes de MP10.

Los valores proyectados para el sitio de monitoreo en Tierra Amarilla – considerando como referencia el monitoreo oficial del Ministerio de Medio Ambiente en Copiapó para el periodo 2016 – 2018- establecen que se superaría la norma anual y diaria de MP10.

Este escenario, sin duda, genera una afectación sobre los agricultores de la zona, específicamente, respecto a los emplazados en las cercanías de Minera Candelaria – como es el caso de mi representada – y, por lo tanto, se configuraría un daño inminente al Medio Ambiente y a la Salud de la Población circundante.

Atendidas estas consideraciones y, además en vista de la pretensión hecha valer por medio del presente, es preciso observar y explicar a esta Superintendencia que, las emisiones de MPS y MP10, determinadas mediante el Informe Técnico del DICTUC, presentan una realidad significativamente diferente a lo proyectado y estimado en el proceso de evaluación ambiental, que culminó en la obtención de la RCA N°133. Lo anterior, se traduce en un claro impacto en la actividad agrícola de la zona, toda vez que la depositación de MPS y MP10 – según los niveles determinados por DICTUC – tienen un impacto significativo sobre el desarrollo fenológico de las especies cultivadas y en el sector. Por tanto, existiría un claro perjuicio a los intereses y desarrollo de actividades del firmante de esta presentación. Dicho interés, es digno de protección, sea por el daño que ocasiona a las actividades agrícolas que desarrollan sus titulares, o, derechamente, por el impacto y grave daño que la actividad desarrollada por Minera Candelaria provoca sobre el Derecho a Vivir en un Medio Ambiente Libre de Contaminación. Fuere cual fuere el interés particular del afectado, los hechos descritos, anteriormente, y que evidencia sendos incumplimientos a las obligaciones ambientales de Minera Candelaria, han ocasionado y ocasionan un grave daño a los derechos y legítimos intereses que tiene el firmante.

POR TANTO,

EN MÉRITO DE LO ANTES EXPUESTO, SOLICITO A ESTA SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE, que a la luz de lo dispuesto en el artículo 21 de la Ley N°20.1417, que “Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente”, se sirva por tener presentada la denuncia en contra de **COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA** por los graves incumplimientos a su Resolución de Calificación Ambiental y tener por presentados los antecedentes que fundan la solicitud, para que así ésta Superintendencia pueda efectuar la correspondiente investigación y formulación de cargos correspondiente.

PRIMER OTROSÍ: SOLICITA HACERSE PARTE DEL PROCESO ADMINISTRATIVO SANCIONATORIO ROL D-166-2021

Que, con fecha 22 de julio del 2021, la Superintendencia de Medio Ambiente (en lo sucesivo, “SMA”), mediante la Resolución Exenta N°1/ROL-D-166-2021 (en lo sucesivo, “Res.Ex.N°1”), formula 6 cargos en contra de la Compañía Contractual Minera Candelaria (en lo sucesivo, “Minera Candelaria” – ninguno de estos, relacionado con los antecedentes expuestos precedentemente -. De estos cargos, cinco versan sobre el incumplimiento de la RCA N°133.

Que, el artículo 62 de la LOSMA indica *“en todo lo no previsto en la presente ley, se aplicará supletoriamente la Ley N°19.880”*. así, en atención al carácter supletorio de la Ley de Bases de Procedimientos Administrativos, y en observancia del principio de contradictoriedad y el artículo 17 letra f), se desprende que las personas, en su relación con la Administración, tiene el derecho a formular alegación y aportar documentos u otro elemento de juicio en cualquier fase del procedimiento administrativo.

Que, adicionalmente el artículo 21 de la Ley N°19.880, dispone y reconoce la calidad de interesados en los procedimientos administrativos a quienes *“sin haber iniciado el procedimiento, tengan derechos que puedan resultar afectados por la decisión que en el mismo se adopte”*; así como también a *“aquellos cuyos intereses, individuales o colectivos, puedan resultar afectados por la resolución y se apersonen en el procedimiento en tanto no haya recaído en resolución definitiva”*. En base a lo anterior, a continuación, se desarrolla el análisis de pertinencia de la calidad de parte interesada en el proceso sancionatorio ROL D-166-2021.

A. TITULARES DE DERECHOS O INTERESES INDIVIDUALES O COLECTIVOS

El Informe Técnico elaborado por DICTUC, indica lo siguiente:

“[...] los sectores agrícolas más cercanos a mina Candelaria son los más afectados por la depositación de MPS proveniente de esa actividad minera. Dado que la actividad de mina Candelaria se va a expandir hacia el sur de su ubicación actual, aumentando las emisiones de polvo fugitivo en esa zona (antes no había allí tantas emisiones) entonces se concluye que los aportes de Candelaria al MPS en la actividad agrícola aumentarían en magnitud, hacia el sur de la ubicación actual de la mina. En contraste, el EIA del Proyecto “Candelaria 2030 – Continuidad Operación” sostiene que en el escenario futuro (año 2020), todos los sitios de monitoreo de MPS estarían con aportes de Mina Candelaria bajo $1 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, incluso aquellos hacia el sur de Mina Candelaria, lo que está en clara contradicción con los resultados presentados en este Estudio, que señalan que los impactos 2017 – 2018 de MPS de Mina Candelaria en todos los sitios de monitoreo cercanos a dicha actividad superan ampliamente esas estimaciones del citado EIA. Por lo tanto, concluimos que no es posible que la futura operación de Mina Candelaria cumpla con el compromiso (señalado en la RCA respectiva) de no exceder los $25,3 \text{ (mg/m}^2/\text{día)}$ como promedio anual ni tampoco los $32,3 \text{ (mg/m}^2/\text{día)}$ como promedio mensual, ya que ambos valores están actualmente excedidos en varios de los sitios de monitoreo de MPS.”.

Respecto a lo anterior, mi representada es dueña de los predios agrícolas emplazados inmediatamente al sur de las actividades de Minera Candelaria – tal como se visualizó en la Figura N°1 del presente documento – y, conforme a las conclusiones desarrolladas por DICTUC, las emisiones de MPS en la actividad agrícola al sur de Candelaria, aumentarían en magnitud.

Lo anterior, se traduce en un claro impacto en la actividad agrícola de la zona, toda vez que la depositación por Tronaduras (**Cargo n° 3 y n° 4**) – según los niveles determinados por DICTUC – tiene un impacto significativo sobre el desarrollo fenológico de las especies cultivadas y en el sector y, por tanto, existiría un claro perjuicio a los intereses y desarrollo de actividades del firmante de esta presentación. Dicho interés es digno de protección, sea por el daño que ocasiona a las actividades agrícolas que desarrollan sus titulares o, derechamente, por el impacto y grave daño que la actividad desarrollada por Minera Candelaria provoca sobre el Derecho a Vivir en un Medio ambiente Libre de

Contaminación. Fuere cual fuere el interés particular afectado, los hechos descritos anteriormente, y que evidencian sendos incumplimientos a las obligaciones ambientales de Minera Candelaria, han ocasionado y ocasionan un grave daño sobre los derechos y legítimos intereses que tiene el firmamente.

B. AFECTACIÓN POR LA DECISIÓN QUE SE ADOPTE

Mi representada será claramente afectada por la decisión que la Autoridad adopte en materia de calidad del aire y contaminación atmosférica; toda vez que, las sanciones o medidas provisionales que se pudieran adoptar en pro de la preservación de la adecuada calidad del aire, determinará la viabilidad de mantener las operaciones agrícolas en los predios actuales.

Por lo tanto, una negativa en la solicitud de hacernos parte del proceso sancionatorio y, consecuentemente, la no consideración de los antecedentes que acompaño a esta presentación, podría significar el cese de las actividades de mi representada, debido a que los contaminantes atmosféricos emitidos por Minera Candelaria afectan gravemente el desarrollo de nuestra actividad.

C. INTERESES INDIVIDUALES O COLECTIVOS QUE PUEDAN VERSE AFECTADOS Y QUE NO EXISTA RESOLUCIÓN DEFINITIVA

Conforme a la revisión del expediente del proceso sancionatorio, publicado en el sitio web de la SMA, a la fecha, de esta solicitud, la Autoridad aún no ha emitido su decisión final o resolución sancionatoria y, por ende, no se ha puesto término al proceso sancionatorio.

En suma y conforme al tenor de la presente petición, específicamente de aquello indicado en los “Antecedentes” y análisis de “Parte Interesada” de la presente, queda en evidencia el legítimo interés del firmante sobre el proceso sancionatorio ROL D-166-2021.

POR TANTO,

EN MÉRITO DE LO ANTES EXPUESTO, SOLICITO A ESTA SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE, que a la luz de lo dispuesto en los artículos 10, 17 letra f) y 21 de la Ley N°19.880 que "Establece bases de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los órganos de la Administración del Estado" se sirva tener por parte interesada en el procedimiento sancionatorio ROL D-166-2021 a **FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA LIMITADA,** que suscribe esta presentación.

SEGUNDO OTROSÍ: ACOMPAÑA DOCUMENTOS

SIRVASE A UD., tener por acompañados los siguientes documentos, bajo apercibimientos legales correspondientes:

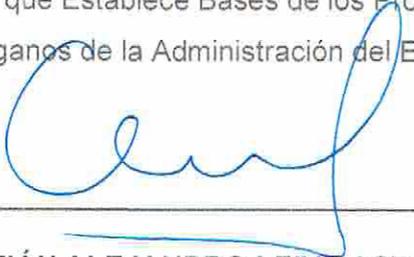
1. Informe DICTUC: Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla para Frutícola y Exportadora Atacama Ltda".
2. Copia de la cédula de identidad del señor Sebastián Alejandro Leiva Astorga.
3. Poder Especial otorgado por Frutícola y Exportadora Atacama a Sebastián Alejandro Leiva Astorga.

TERCER OTROSÍ: ACREDITA PERSONERÍA

SOLICITO A UD., se sirva tener presente mi personería para representar a Frutícola y Exportadora Atacama Limitada, la cual consta en Poder Especial otorgado mediante escritura pública, cuya copia acompaño en el presente acto.

CUARTO OTROSÍ: INDICA MEDIO DE NOTIFICACIÓN

SOLICITO A UD., tener en consideración el domicilio Nueva de Lyon N°145, piso 11, comuna de Providencia, para todos los efectos de practicar las notificaciones dispuestas en el artículo 46 de la Ley 19.880 que Establece Bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado



SEBASTIÁN ALEJANDRO LEIVA ASTORGA





Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla

para Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.

Santiago, 29 de octubre 2019



Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla

Autores

Jefe de Proyecto: Fabián Hormazábal Pollicardo

Ingeniero Experto: Héctor Jorquera González

Ingeniero de Proyecto: Omar Barraza Tagle

Dictuc S.A.

Vicuña Mackenna Nº 4860, Macul – Santiago

Datos Mandante

Razón Social: Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.

RUT: [REDACTED]

Dirección: Avenida Las Condes 11.380, Of.102, Vitacura

Cuerpo del informe

61 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

29/10/2019

Información Contractual

OC N°: 59786

Contraparte técnica

Nombre: Sergio Ruiz-Tagle Borda

Cargo: Ventas Exportaciones

E-mail: [REDACTED]



Sr. Fabián Hormazábal Pollicardo

Ingeniero Asociado

Dictuc S.A.



Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.



Felipe Enrique
Bahamondes Cid

Firmado digitalmente por Felipe
Enrique Bahamondes Cid
Fecha: 2021.02.01 17:05:58
-03'00'

NORMAS GENERALES

- El presente informe contiene los resultados finales del estudio “**Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla**” desarrollado durante el período septiembre de 2017 a septiembre de 2019.
- El presente informe fue preparado por **Dictuc** a solicitud del **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.** para un uso a definir por este, bajo su responsabilidad exclusiva.
- Los alcances de este estudio están definidos explícitamente en la Sección 3 del presente informe. Las conclusiones de este informe se limitan a la información disponible para su ejecución.
- Para el desarrollo de este estudio **Dictuc** utilizó la información individualizada en los Anexos. Dichos Anexos identifican además las fuentes que proporcionaron dichos antecedentes.
- La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de **Dictuc** mediante un Contrato de Uso de Marca.
- **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.** podrá manifestar y dejar constancia verbal y escrita, frente a terceros, sean estas autoridades judiciales o extrajudiciales, que el trabajo fue preparado por **Dictuc**, y si decide entregar el conocimiento del presente informe de **Dictuc**, a cualquier tercero, deberá hacerlo en forma completa e íntegra, y no partes del mismo.
- El presente informe es propiedad de **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.** sin embargo si **Dictuc** recibe la solicitud de una instancia judicial hará entrega de una copia de este documento al tribunal que lo requiera, previa comunicación por escrito a **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.**
- El presente informe es resultado de las metodologías desarrolladas por **Dictuc**, del alcance del informe encomendado y de los antecedentes que **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.** puso a disposición de **Dictuc**. **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.** acepta expresamente que los resultados del presente informe pueden en definitiva, no serles favorables a sus intereses particulares.
- **Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.** declara conocer y aceptar los términos y condiciones generales para la prestación de servicios, disponibles para todo el público en su sitio web oficial www.dictuc.cl/tyc.

CONTENIDO

1. Introducción	12
2. Objetivos	12
3. Alcances	12
4. Metodologías	12
4.1. Plan de Monitoreo Continuo de MP10	12
4.2. Plan de Monitoreo Mensual de MPS	14
4.3. Análisis Químico de las Muestras de MPS.....	20
4.4. Estimación de Aportes de Fuentes al MPS	20
5. Resultados.....	21
5.1. Resultados Medición de MP10	21
5.2. Proyección de los resultados de la campaña de monitoreo ambiental de MP ₁₀	26
5.3. Resultados campaña de monitoreo de MPS y su composición química.....	31
5.3.1. Elementos de la corteza	33
5.3.2. Elementos asociados al mineral de cobre	38
5.3.3. Iones presentes en el material particulado sedimentable (MPS).....	41
5.3.4. Aplicación del modelo receptor para MPS	45
5.3.5. Resultados del modelo de receptor	46
5.3.6. Estimación de aportes de fuentes al MPS	48
5.3.7. Comparación entre estimaciones del modelo de receptor y del EIA Candelaria 2030 – Continuidad Operacional, para el MPS.	51
6. Conclusiones	54
7. Bibliografía	58
8. Anexos	58
8.1. Imágenes del polvo emitido por la actividad minera en el valle	58

Resumen ejecutivo

Este Informe Final reporta un análisis exhaustivo de los antecedentes recopilados del monitoreo ambiental (MP₁₀, meteorología y Material Particulado Sedimentable (MPS)) llevado a cabo en una campaña de mediciones realizada en Tierra Amarilla entre septiembre 2017 y septiembre 2018.

Los datos del monitoreo continuo del MP₁₀, realizado por una EFTA durante septiembre a noviembre 2017 en Tierra Amarilla, muestran que los niveles promedio de MP₁₀ medidos (79 µg/m³) son elevados, y claramente mayores que los medidos en la ciudad de Copiapó. Al proyectar estadísticamente los datos diarios medidos (comparando con el monitoreo de MP₁₀ en Copiapó), es posible hacer un análisis de más largo plazo, incluyendo los años 2016 a 2018. Los resultados de este análisis evidencian que en la zona monitoreada se supera claramente la norma anual (50 µg/m³) y también la norma diaria (150 µg/m³), con una proyección trianual de 93 y 198 (µg/m³), respectivamente (Tabla 5). Además, el monitoreo muestra que se produce claramente un aumento de las concentraciones de MP₁₀ en las tardes, cuando los vientos son más intensos; asimismo las concentraciones mínimas de MP₁₀ se registran en las mañanas, simultáneamente con las bajas velocidades del viento a esas mismas horas; todo esto refleja un aporte dominante de emisiones fugitivas de MP₁₀ a las concentraciones ambientales del MP₁₀ allí medidas.

Se realizó el monitoreo de MPS durante un año completo de mediciones. Los sitios de monitoreo se definieron al comienzo de la campaña y se presentan en la siguiente figura. En ella, además, se muestran las masas totales depositadas (en mg) en cada uno de los puntos de monitoreo, para el periodo septiembre 2017 a septiembre 2018.



Figura 1. Ubicación de estaciones de monitoreo de MPS y cantidad total acumulada de polvo, entre septiembre 2017 y septiembre 2018.

A partir de marzo 2018, el sitio 2 (Fundo Las Terrazas) se trasladó al sitio Packing Las Terrazas, ya que los valores de MPS medidos en dicho sitio 2 eran bajos. Además, el sitio 10 (Parcela 15) se cambió, debido a la presencia de faenas en terreno que podrían modificar los resultados del monitoreo. Este sitio se trasladó al Campamento La Ballena. Ambos sitios se muestran en detalle en la siguiente figura, y están ubicados entre los sitios 2 y 4 en la figura anterior.



Figura 2. Sitios de muestreo alternativos desde marzo a septiembre 2018.

La siguiente Tabla muestra las mediciones de material particulado sedimentable (MPS, expresados en $\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$) para todas las muestras tomadas en los sitios de monitoreo de MPS definidos en esta campaña 2017-2018. Se puede apreciar que los valores más bajos de masa sedimentada fueron medidos en el sitio 1, Placas Solares, donde el MPS observado está siempre por debajo de $10 \text{ (mg}/\text{m}^2/\text{día})$ durante todo el año. Esto confirma que ese sitio, escogido como sitio de referencia basal (o *background*), está con un bajo impacto de fuentes antropogénicas y que fundamentalmente refleja las condiciones base del MPS en la zona del estudio. También se confirma que el sitio 2, el segundo más al sur (Fundo Las Terrazas) estaba con la segunda medición más baja de MPS. Esto indica que las fuentes dominantes de MPS se encuentran al norte de los sitios 1 y 2. Por esta razón, se cambió la ubicación del sitio 2 al Packing Las Terrazas, ubicado más al norte del sitio 2 original.

Los sitios 4, 5, 7, 8, 10 y 11 son los que presentan mayores cantidades de MPS, todos ellos están ubicados en un transepto que bordea el límite este y sur de la actividad de mina Candelaria. En el sitio 2 se supera la norma anual de $100 \text{ (mg}/\text{m}^2/\text{día})$ definida en el DS 4 MinAgr para la zona baja del valle del Huasco, misma región de Atacama. En los sitios 4, 8 y 10 se supera la norma mensual de $150 \text{ (mg}/\text{m}^2/\text{día})$ vigente para el valle del Huasco.

Tabla 1. Resultados de la campaña de mediciones de MPS (mg/m²/día). En negrita valores que exceden normas del DS 4 1992.

Punto	Denominación	Sep Oct	Oct Nov	Nov Dic	Dic Ene	Ene Feb	Feb Mar	Mar Abr May	May Jun	Jun Jul	Jul Ago	Ago Sep	Promedio anual
1	Placas solares	4.3	12.4	5.9	4.1	1.9	4.3	5.8	9.2	1.7	2.7	5.9	5.3
2	Fundo las terrazas	17	20.5	1.9	13.5	11.6	6.5	28.2					
4	Casa de Rubén	71.5	169.2	124.2	135.3	94.7	118.2	123.9	20.8	83.4	128.5	170.4	112.7
5	Oficina Las Pintadas	19.3	90.4	25.7	22	24.7	28.8	55	7.8	57.4	26.4	44.5	36.5
7	La rotonda cuartel 17	5.5	148.9	30	60.6	20.1	14.4	69.1	6.2	32.9	34	36.1	41.6
8	Las compuertas cuartel 2	53.2	70.2	93.7	164.3	56	79.3	131.7	27.9	36.6	58.9	113.9	80.5
10	Parcela 15	23.2	54.4	12.9	27.7	11	15.3	153.4					
11	Santa Laura	9.1	138.7	39.8	75.4	19.4	105.5	83.4	19.3	40.7	37.3	63.6	57.5
3	Campamento La Ballena								11.5	67	108.3	125.6	
#	Packing Las Terrazas								4.5	23.7	39.1	80.8	

De las 88 muestras de MPS presentadas en la Tabla 1, 51 fueron enviadas al Wisconsin State Laboratory of Hygiene (Madison, Wisconsin, EEUU) para realizar los siguientes análisis (todos expresados en µg/g):

- Análisis por ICP-MS de 51 elementos en el MPS: desde Li hasta U (no se mide silicio).
- Análisis por cromatografía iónica de los siguientes iones en el MPS: cloruro, nitrato, fosfato, sulfato, sodio, amonio, potasio.

Estos resultados permitieron estimar también la cantidad de depositación de elementos y de iones en los sitios de monitoreo, para las 51 muestras de MPS analizadas.

Los elementos de corteza tales como aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), titanio (Ti) y potasio (K), fueron los más abundantes entre los elementos medidos en la campaña, y sus valores más altos se presentaron en los sitios 4, 5, 7, 8, 10 y 11, justamente aquellos más cercanos a la faena de mina Candelaria. Esto indica que las actividades de Candelaria aportan con cantidades relevantes de esos elementos de corteza en la zona, especialmente en los citados sitios.

Al evaluarse la depositación de Cu, As, Pb, Mo y Zn, todos elementos asociados a mineral de cobre, los sitios con mayores valores de depositación también corresponden a aquellos más cercanos a la faena Candelaria. Además, los valores de estos metales depositados son mínimos en los sitios ubicados más al sur en la zona de estudio: Placas Solares y fundo Las Terrazas. Esto confirma que la fuente emisora se encuentra al norte de esos dos sitios y concuerda con la ubicación de la mina Candelaria.

Además, en esos mismos sitios es máxima la depositación de nitrato, un contaminante que se produce solamente a partir de óxidos de nitrógeno (NOx) provenientes del consumo de combustibles fósiles, bajo condiciones de alta radiación solar que promueven una rápida oxidación atmosférica de NOx a nitratos. Nuevamente, la única gran fuente de NOx en la zona de estudio es la mina Candelaria, debido al elevado consumo de combustibles asociado a su operación continua (la Fundición Paipote no consume combustibles fósiles en magnitud relevante). Según la RCA vigente (página 123), las emisiones actuales de NOx de Candelaria son de 1935 t/año, y aumentarían a 2120 t/año en el escenario con expansión. Luego, la similitud de comportamiento temporal y espacial entre el nitrato y los elementos Cu, As, Pb, Mo y Zn, indica que ambos contaminantes provienen de la misma fuente, en este caso, mina Candelaria.

Por otra parte, en el EIA de expansión 2030 de dicha faena minera se reconoce que los impactos por MPS disminuyen rápidamente con la distancia a la fuente emisora; por lo tanto, no es posible que los impactos en depositación de Cu, As, Pb, Mo y Zn, medidos en la campaña aquí reportada, provengan de fuentes mineras más al norte de Candelaria, dada esta situación de variabilidad espacial del MPS (en otras palabras, las otras fuentes no podrían contribuir con aportes de MPS en los puntos de monitoreo de la campaña aquí reportada). Además, como el viento predominante es norte el 70% del tiempo, tampoco es posible que los altos impactos medidos en los sitios descritos en esta sección provengan de una actividad minera ubicada al SE de Nantoco (Planta Cerrillos), ya que en tal caso los elementos As, Mo, Pb y Zn con Cu no podrían ser máximos en el sitio 4, dada su lejanía y orientación con respecto a dicha actividad.

Se analizaron los datos de concentraciones de elementos y de iones en el MPS, empleando el modelo de receptor UNMIX, versión 6, desarrollado por la Environmental Protection Agency de EEUU¹ a las mediciones de composición química del material particulado sedimentable (MPS). Con este modelo fue posible estimar la presencia de cuatro fuentes de MPS en las muestras de MPS de la campaña de monitoreo:

- i. Una fuente que concentra la gran mayoría del níquel. Este metal es un trazador de la combustión de petróleo pesado, como fuel oil por ejemplo. En todo caso, esta fuente no contribuye a los niveles de MPS medidos en la campaña de monitoreo.
- ii. La segunda fuente tiene la mayoría de la concentración de sulfatos y una contribución menor de nitrato, así como azufre. Debido a esto, esta fuente se identifica principalmente con las emisiones de la fundición de cobre Paipote, ubicada al norte de la zona de monitoreo. Además, esta fuente no tiene concentraciones significativas de elementos de corteza (Al, Fe, Ca, Ti, K) ni de Cu en su composición química. Luego, se puede concluir que el modelo UNMIX ha podido identificar la fuente que corresponde a Paipote y, además, que desde el sector norte de la zona de estudio (donde está ubicado Paipote) no llegan elementos de corteza en cantidades significativas. En otras palabras, no aparece evidencia de transporte de emisiones de polvo fugitivo desde zonas al norte de Candelaria hacia los sitios de la campaña de monitoreo de MPS.
- iii. La tercera fuente tiene las mayores concentraciones de nitrato y concentraciones relevantes de elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe). Dado que los nitratos solamente se pueden producir en zonas con altas emisiones de NOx (como mina Candelaria) y debido a la alta presencia de elementos de polvo superficial, a esta fuente la vamos a identificar como 'polvo fino de minería', ya que los nitratos normalmente se encuentran en tamaños menores a 10 μm .

¹ Disponible en: <https://www.epa.gov/scram/air-pollutant-receptor-modeling>

iv. La cuarta fuente contiene la mayor proporción en masa de elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe, Sr), y la mayor proporción de azufre y cobre. Debido a estas características, a esta fuente la identificamos como 'polvo grueso de minería', ya que esos elementos del suelo son más abundantes a mayores tamaños de partícula.

Posteriormente, se hizo el cálculo de los aportes de estas cuatro fuentes a las mediciones de MPS, empleando los resultados del modelo UNMIX, encontrándose que las fuentes 1 a 4 contribuyen (en promedio) con 0, 5,8, 57,0 y 9,9 (mg/m²/día), respectivamente, a las mediciones de MPS en la campaña de monitoreo.

Luego, en promedio la actividad de mina Candelaria aporta un 92% del MPS monitoreado en la campaña anual realizada en ocho sitios, lo que indica que esta fuente domina el MPS en los sitios de la campaña de mediciones, en particular aquellos más cercanos al perímetro de la propiedad de Candelaria. En el caso del polvo fino, el sitio que es más impactado no es el más cercano a la faena de mina Candelaria, sino que está al sur de ella. Debido a la dirección predominantemente norte del viento en la zona de Tierra Amarilla durante el día, la pluma de polvo fino emitida por Candelaria es levantada por el viento y luego desciende hacia el suelo del valle, ubicado a una cota menor de elevación que la faena de mina Candelaria. Esto explica que el mayor aporte sea en el sitio 4, seguido de aportes en los sitios 3 y 10, mientras que el menor valor se presenta justamente en el sitio 1, el sitio más al sur con mediciones de MPS.

En el caso de las emisiones de la fundición Paipote, esta fuente contribuye con aportes menores al MPS, debido a que son emisiones por chimenea, de partículas de tamaños menores a 10 µm, que se dispersan más eficientemente en el aire, a medida que son transportados desde la fundición hacia el sur, siguiendo los vientos predominantes con dirección norte. Los sitios con mayores aportes están cercanos a los cerros del sector este del valle, por lo que dichos aportes pueden atribuirse a que la pluma de Paipote alcanza la ladera de esos cerros y allí se estanca, depositando más MPS que en otros sectores del valle por donde la pluma es transportada por el viento hacia el sur sin presencia de obstáculos.

El aporte de mina Candelaria al MPS es máximo en el sitio 4, ubicado al sur de dicha actividad minera (donde alcanza un promedio anual de 112 (mg/m²/día)), seguido en importancia de otros sitios agrícolas (5, 7, 8, 10 y 11) cercanos a dicha actividad minera. El modelo de receptor también predice que esos aportes se van reduciendo en magnitud a medida que aumenta la distancia hacia al sur del límite de la mina Candelaria, siendo mínimos en el sitio 1, el que está ubicado más al sur de mina Candelaria. Este comportamiento espacial es concordante con las condiciones meteorológicas (predominio de viento norte durante todo el día) y con el hecho que el MPS depositado de una gran fuente emisora de área disminuye con la distancia a dicha fuente.

Se compararon los resultados de los aportes estimados de Mina Candelaria al MPS, obtenidos con el modelo de receptor en los sitios de monitoreo, con las predicciones presentadas por Minera Candelaria en el EIA de su Proyecto "Candelaria 2030 – Continuidad Operación". La Tabla 12 muestra claramente que los aportes estimados por el modelo de receptor en los sitios de monitoreo (en promedio de 64 mg/m²/día) son considerablemente mayores que los reportados en dicho EIA, tanto para el escenario Actual 2011 (donde en promedio se estiman estar por debajo de 1 mg/m²/día) como para el escenario Base 2011 (con emisiones ambientalmente aprobadas, con un promedio alrededor de 2 mg/m²/día).

Aun cuando se considerase un error típico de un factor de 2 para el modelo de receptor (y algo similar para el modelo de dispersión empleado en el EIA), subsisten diferencias enormes entre ambas metodologías de

estimación de impactos por MPS. Además, los resultados del modelo de receptor indican claramente que los impactos mayores se producen hacia el sur de la actividad de Mina Candelaria, lo que es consistente con la rosa de los vientos (con vientos predominantemente norte todo el año) y con la intensidad del viento por las tardes, que facilita el transporte de emisiones fugitivas de polvo hacia el sur de Mina Candelaria.

Una conclusión de esta comparación es que los impactos estimados en el EIA asociados a la actividad de Mina Candelaria fueron claramente subestimados. Otra conclusión es que no es posible que la futura actividad de Mina Candelaria cumpla con el compromiso (manifestado en la RCA respectiva) de tener impactos por MPS menores a 25,3 (mg/m²/día) como promedio anual.

Por lo anterior, los sectores agrícolas más cercanos a mina Candelaria son los más afectados por la depositación de MPS proveniente de esa actividad minera. Dado que la actividad de mina Candelaria se va a expandir hacia el sur de su ubicación actual, aumentando las emisiones de polvo fugitivo en esa zona (antes no había allí tantas emisiones) entonces se concluye que los aportes de Candelaria al MPS en la actividad agrícola aumentarían en magnitud, hacia el sur de la ubicación actual de la mina. En contraste, el EIA del Proyecto “Candelaria 2030 – Continuidad Operación” sostiene que en el escenario futuro (año 2020), todos los sitios de monitoreo de MPS estarían con aportes de Mina Candelaria bajo 1 mg/m²/día, incluso aquellos hacia el sur de Mina Candelaria, lo que está en clara contradicción con los resultados presentados en este Estudio, que señalan que los impactos 2017-2018 de MPS de Mina Candelaria en todos los sitios de monitoreo cercanos a dicha actividad superan ampliamente esas estimaciones del citado EIA. Por lo tanto, concluimos que no es posible que la futura operación de Mina Candelaria cumpla con el compromiso (señalado en la RCA respectiva) de no exceder los 25,3 (mg/m²/día) como promedio anual ni tampoco los 32,3 (mg/m²/día) como promedio mensual, ya que ambos valores están actualmente excedidos en varios de los sitios de monitoreo de MPS.

En la zona de Tierra Amarilla, la campaña de monitoreo continuo realizada el año 2017 mostró que esa zona está saturada para la norma anual de MP₁₀, y que dichas concentraciones están dominadas por emisiones fugitivas de MP₁₀. Dado que mina Candelaria es la fuente dominante de emisiones fugitivas de material particulado total (MPS) en la zona de monitoreo, entonces se concluye que mina Candelaria también es una fuente relevante de aportes al material particulado respirable (MP₁₀) en la zona de Tierra Amarilla. En efecto, dado que el monitoreo de MPS y su reparto de fuentes (mediante modelo de receptor) indica que se están subestimando los impactos por MPS, podemos concluir también que se están subestimando los aportes de Mina Candelaria al MP₁₀ en Tierra Amarilla, ya que se trata del mismo modelo de dispersión y las mismas fuentes emisoras consideradas en la modelación presentada en el EIA “Candelaria 2030 – Continuidad Operación”.

Los valores proyectados para el sitio de monitoreo en Tierra Amarilla (usando como referencia el monitoreo oficial del MMA en Copiapó) para el periodo 2016-2018 indican que se superaría la norma anual y diaria de MP₁₀ en dicho sitio de monitoreo (Tabla 5). Estos valores son consistentes con monitoreo reportado para Tierra Amarilla en el SEIA en años anteriores (Fuente: RCA 133, Copiapó, 23 de julio 2015), lo que valida la metodología realizada en este informe.

En resumen, en la zona de Tierra Amarilla, mina Candelaria es una fuente de emisiones dominante para el MPS y relevante para el MP₁₀. Este resultado se ha verificado para un año completo de datos de MPS medidos en esa zona, los que han sido analizados químicamente en EEUU y procesados mediante un modelo de receptor recomendado por la Agencia de Protección del Ambiente de EEUU (US EPA).

1. Introducción

El señor Sergio Ruiz-Tagle Borda, en representación de la empresa Frutícola y Exportadora Atacama Ltda., solicitó a la Unidad de Ingeniería Térmica y Medio Ambiente de Dictuc realizar un estudio de monitoreo y análisis ambiental en la zona donde se encuentran emplazadas sus operaciones agrícolas de la comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama.

La comuna de Tierra Amarilla tiene una actividad agrícola orientada a la exportación de productos como la uva de mesa. Sin embargo, en la misma zona del valle se encuentran ubicadas varias actividades mineras, siendo la más relevante en magnitud y cercanía a las actividades agrícolas la faena minera Candelaria.

El estudio solicitado serviría para el establecimiento de la línea base de la calidad del aire respirable y sedimentable, y para la estimación de la distribución espacial de los aportes de la actividad minera en el sector.

El presente documento corresponde al informe final presentado por Dictuc a Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.

2. Objetivos

El objetivo general del presente estudio fue conocer la concentración de material particulado respirable (MP₁₀) y la cantidad y composición del material particulado sedimentable (MPS) en la zona de Tierra Amarilla, donde se encuentran ubicadas las operaciones agrícolas de la frutícola.

3. Alcances

El estudio contempló subcontratar la instalación de una estación de monitoreo de MP₁₀ y la instalación propia de las estaciones de medición de MPS, además del análisis químico del MPS en EEUU y seguimiento a ambos sistemas. Además, incluyó la entrega y análisis de los resultados obtenidos.

4. Metodologías

Para desarrollar el estudio se utilizaron las siguientes metodologías:

4.1. Plan de Monitoreo Continuo de MP₁₀

La campaña de mediciones se realizó en la zona de Tierra Amarilla, como muestra la Figura 3. La campaña fue realizada por la empresa SERPRAM (EFTA), y consistió en la medición continua de MP₁₀ con un monitor de atenuación beta (equipo aprobado por EPA – EEUU para medición de MP₁₀) y la medición simultánea de variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa del aire, dirección y magnitud del viento.

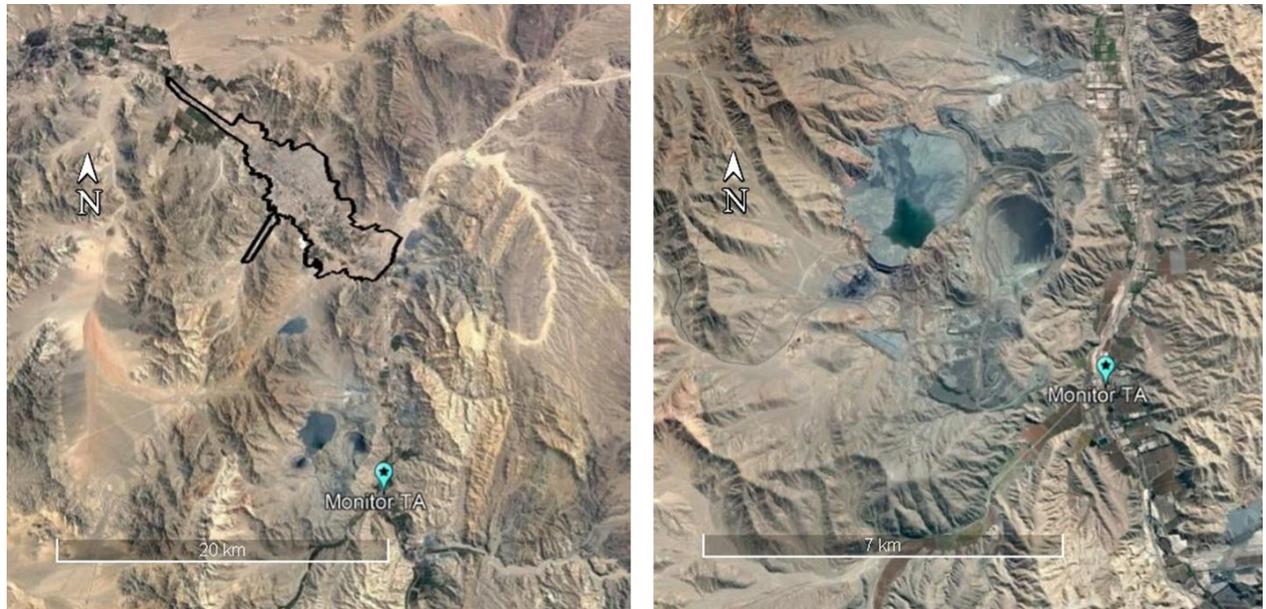


Figura 3. Mapa de la zona de Tierra Amarilla donde se realizó el monitoreo ambiental. Panel izquierdo: vista general, incluyendo la zona urbana de Copiapó destacada con borde negro. Panel derecho: vista ampliada de la zona de monitoreo.

La campaña se desarrolló desde el 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2017. Los equipos se instalaron en un terreno cercado y que cuenta con vigilancia permanente, como se muestra en la Figura 4. La ubicación de la estación de monitoreo en coordenadas UTM (datum: WGS84, zona 19 J) está dada por los puntos: 374470 m E, 6953042 m N.

El equipo de medición de MP_{10} consistió en un monitor de atenuación beta E-BAM (MetPro, EEUU), el anemómetro dispersivo con filtro de correlación, metro y veleta es marca R.M. Young, el sensor de humedad y temperatura relativa es HMP 155A-L11. Finalmente, el *data logger* es un Campbell CR 1000. Los datos fueron traspasados al Consultor por la empresa SERPRAM, en planillas con valores validados. La misma empresa proporcionó un servicio de transmisión de datos monitoreados en línea a través de una página web.

Todo el análisis de datos que se presenta a continuación fue realizado con el software de dominio público R (<http://cran.r-project.org/>).



Figura 4. Fotografías del sitio de emplazamiento del monitor de MP10 y de la torre meteorológica.

4.2. Plan de Monitoreo Mensual de MPS

Las campañas de medición se realizaron en la zona Agrícola del valle de Tierra Amarilla, tomando como referencia la norma *ASTM D1739-98 "Método de Prueba Estándar para la Recolección de la Caída de Polvo (Material Particulado Sedimentable)"*. Para desarrollar el monitoreo de MPS, en conjunto con personal de la Frutícola, se seleccionaron 8 puntos de medición de un total de 11 iniciales, los que se pueden ver en la Figura 5 y se especifican en la Tabla 2.



Figura 5. Mapa de la zona de Tierra Amarilla donde se está realizando el monitoreo de MPS.

Tabla 2
Denominación, coordenadas y altitud de los 8 puntos de medición.

Punto	Denominación	Coordenada	Coordenada	Altitud
1	Placas solares	367.576 mE	6.943.413 mN	997 m
2	Fundo las terrazas	368.472 mE	6.945.878 mN	915 m
4	Casa de Rubén	371.068 mE	6.949.847 mN	721 m
5	Oficina Las Pintadas	372.955 mE	6.951.943 mN	604 m
7	La rotonda cuartel 17	373.910 mE	6.953.395 mN	558 m
8	Las compuertas cuartel 2	374.521 mE	6.955.334 mN	543 m
10	Parcela 15	375.886 mE	6.951.572 mN	573 m
11	Santa Laura	374.007 mE	6.952.326 mN	570 m

Una vez establecido los puntos de monitoreo, se procedió a la instalación de las estaciones de monitoreo, las que se pueden apreciar en las siguientes figuras.



Figura 6. A la izquierda el punto de muestreo denominado “Placas solares” y a la derecha el punto de muestreo de “Fundo las Terrazas”.



Figura 7. A la izquierda el punto de muestreo “Casa Rubén” y a la derecha el punto de muestreo “Oficina Las Pintadas”.



Figura 8. A la izquierda el punto de muestreo “La Rotonda Cuartel 17” y a la derecha el punto de muestreo “Las Compuertas Cuartel 2”.



Figura 9. A la izquierda el punto de muestreo “Parcela 15” y a la derecha el punto de muestreo “Santa Laura”.

Las estaciones de monitoreo de MPS se componen básicamente de un trípode de acero, con un colector en la zona superior, el cual permite capturar las partículas en suspensión, decantando en un recipiente de acrílico, el cual es remplazado dentro de un mínimo de 30 días y un máximo de 35 días corridos. La parte

superior del colector tiene un deflector de latón para prevenir que fuentes muy locales de polvo contribuyan a la masa medida en cada colector. Una vez realizada la medición, el polvo acumulado se mide gravimétricamente utilizando una balanza de alta precisión ((Sartorius, modelo Cubis-DF LSM011, Goettingen, Alemania) con una resolución de 1 μg .

Como se aprecia en las figuras anteriores, en general las estaciones se encuentran en lugares de difícil acceso y con vigilancia permanente de personal de la empresa Frutícola y Exportadora Atacama Ltda.



Figura 10. Sitios de muestreo alternativos desde marzo a septiembre 2018.

Posteriormente, a partir de marzo 2018 y en conjunto con el mandante, el sitio 2, fundo Las Terrazas se trasladó al sitio packing Las Terrazas, ya que los valores de MPS medidos en el sitio 2 eran bastante bajos. Además, el sitio 10 (Parcela 15) se cambió debido a la presencia de faenas en terreno que podrían modificar los resultados del monitoreo, este sitio se trasladó al Campamento La Ballena. Ambos sitios se muestran en detalle en la siguiente figura, y están ubicados entre los sitios 2 y 4 de la figura 5, y se muestran más específicamente en las Figuras 11 y 12.



Figura 11. En las figuras se aprecia de diferente ángulo, el punto de monitoreo de “Campamento La Ballena”.



Figura 12. Estación de monitoreo “Packing las Terrazas”.

4.3. Análisis Químico de las Muestras de MPS

De un total de 88 muestras de MPS, se enviaron 51 de ellas para análisis químico a EEUU, ya que el modelo de receptor, explicado más adelante, necesita al menos 50 muestras para poder aplicarse. Las muestras escogidas fueron aquellas donde hubo mayores valores de MPS medidos, además de incluir los sitios 1 y 4 completos debido a que, como se verá en los resultados, presentaron los valores más bajos y más altos de MPS medidos, respectivamente. Los análisis se realizaron en el Wisconsin State Laboratory of Hygiene (Madison, Wisconsin, EEUU, <http://www.slh.wisc.edu/>), y consistieron en los siguientes análisis (todos expresados en $\mu\text{g/g}$):

- Análisis por ICP-MS de 51 elementos en el MPS: desde Li hasta U (no se mide silicio)
- Análisis por cromatografía iónica de los siguientes iones en el MPS: cloruro, nitrato, fosfato, sulfato, sodio, amonio, potasio.

En todos los casos, las determinaciones tienen alta precisión (errores menores al 10%). Para aquellos casos en que se había medido valores muy bajos de MPS (caso del sitio 1, Placas Solares, por ejemplo), solamente se hizo el análisis de elementos por ICP-MS, ya que no había muestra suficiente para además realizar el análisis por cromatografía iónica. Los anexos digitales entregan los respectivos informes de resultados del laboratorio.

4.4. Estimación de Aportes de Fuentes al MPS

Con la información proporcionada por la actividad anterior, fue posible aplicar un modelo receptor a la base de datos del MPS y así obtener los aportes naturales y antropogénicos al MPS medido a lo largo del valle. Las mediciones de la composición química del material particulado sedimentable (MPS) resumidas en la Tabla 6 más adelante en el punto 5.2.4, se pueden representar como una matriz X , de dimensión $n \times m$, donde n es el número de muestras (51 en este caso), y m es el número de especies químicas cuya concentración se ha medido (iones y metales en este caso).

El problema de análisis por modelos de receptor (también llamado 'análisis de factores') se puede poner como sigue: encontrar las matrices G y F que permiten producir la siguiente representación de la matriz X :

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde X_{ij} es la concentración del j -ésimo metal (o ion) en la muestra del periodo ' i '; g_{ik} es el aporte en masa de la k -ésima fuente a la masa total de la muestra ' i '; f_{kj} es la fracción másica del j -ésimo compuesto químico en la k -ésima fuente, es decir, la composición química de la k -ésima fuente (también llamado perfil químico de la fuente ' k '); finalmente e_{ij} es la incertidumbre del modelo, la cual depende de la especie modelada (j), y del periodo (i) en que se tomó la muestra.

Luego, el objetivo de cualquier modelo receptor consiste en encontrar una combinación lineal de p fuentes (de composición fija $\{f_{kj}\}$) que ‘mejor’ explica las observaciones X , mediante una combinación lineal de contribuciones de fuentes, tal como está expresado matemáticamente en la ecuación anterior. Para esto se han hecho las siguientes suposiciones:

- a) Las composiciones (f_{kj}) son mayores o iguales a cero y constantes durante toda la campaña de medición; estas son las ‘huellas digitales’ de cada tipo de fuente.
- b) Las contribuciones de las fuentes a la masa (g_{ik}) son mayores o iguales a cero.

Dado que no se conocen las composiciones químicas de las fuentes emisoras, se debe calcular no solo los aportes de fuentes (g_{ik}), sino también las composiciones de ellas (f_{kj}), lo que corresponde a un sistema de ecuaciones no lineales, que se debe resolver en forma iterativa mediante métodos numéricos ad hoc.

A continuación, se puede estimar en forma cuantitativa qué proporción del MPS (medido en los distintos sitios de muestreo) se puede atribuir a las distintas fuentes emisoras en la zona de estudio. A partir de la ecuación 1 se puede plantear la siguiente expresión para encontrar el aporte a_k de cada una de las ‘ p ’ fuentes emisoras identificadas.

$$C_i = a_0 + \sum_{k=1}^p a_k g_{ik} + e_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde C_i es la depositación de MPS medida el periodo ‘ i ’, a_k es la contribución promedio de la fuente ‘ k ’ al MPS medido en ese periodo de análisis y a_0 representa aquella parte del MP que no puede ser explicado por las fuentes identificadas; el término g_{ik} entrega como se distribuyen temporalmente las contribuciones de la fuente ‘ k ’ en el periodo en que se tomaron los datos; finalmente el término e_i es un error del ajuste del modelo, o residuo de la regresión lineal en la ecuación anterior. De esta forma, se pueden estimar los aportes de fuentes usando un nivel de confianza del 95% en los coeficientes a_k (aportes de fuentes) en la ecuación anterior.

5. Resultados

A continuación, se exponen los resultados obtenidos siguiendo la metodología ya descrita. En primer lugar, se presentan los valores obtenidos de la medición de MP_{10} (3 meses de medición) y su análisis. Posteriormente se presentan los resultados de la campaña de 12 meses de medición de MPS junto con su análisis.

5.1. Resultados Medición de MP_{10}

A continuación, presentamos los resultados del monitoreo continuo de MP_{10} y variables meteorológicas, para lo cual se usan distintos tipos de gráficos y con diferentes perspectivas temporales. La Figura 13 muestra una línea del tiempo de las mediciones horarias de MP_{10} . Se aprecia que hay gran variabilidad en

las concentraciones, las cuales alcanzan valores horarios máximos por sobre 600 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). La siguiente Tabla resume la estadística de dichas mediciones.

Tabla 3.
Estadística de los valores horarios de MP₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en la campaña primavera 2017.

Mínimo	2
Percentil 25	48
Mediana	72
Media	79
Percentil 75	102
Máximo	629

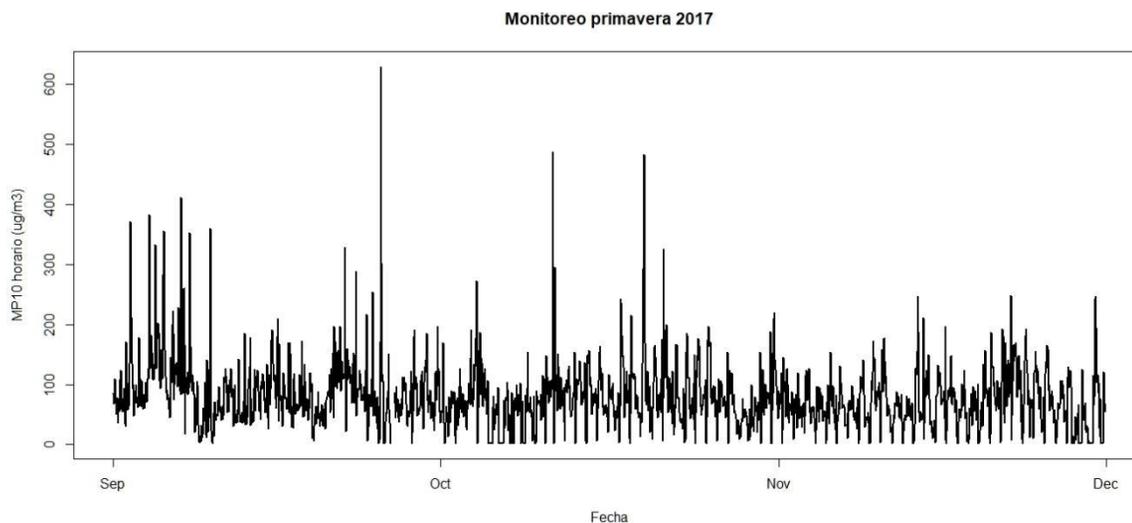


Figura 13. Línea del tiempo de concentraciones horarias de MP₁₀ medidas en Tierra Amarilla, campaña primavera 2017.

A continuación, en la Figura 14 presentamos la línea del tiempo correspondiente a los promedios diarios del MP₁₀. Se aprecia que mantiene una variabilidad importante en los datos, con días con bajas concentraciones, bajo los 40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), y con un par de días en que se supera el límite establecido para la norma diaria, la que corresponde al valor de 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

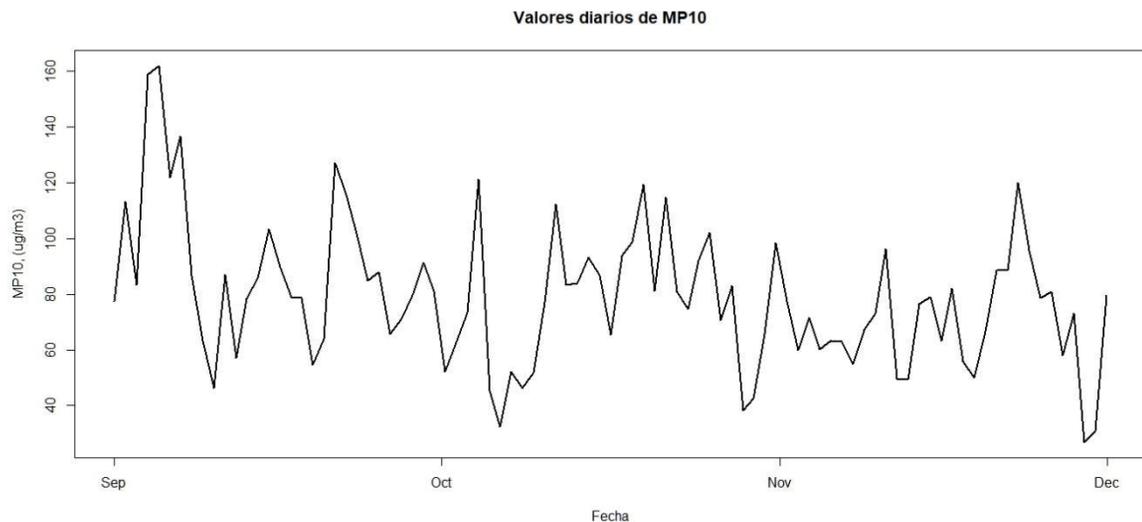


Figura 14. Línea del tiempo de concentraciones diarias de MP₁₀ medidas en Tierra Amarilla, campaña primavera 2017.

La siguiente Tabla resume la estadística de los promedios diarios de MP₁₀ medidos en la campaña. Si la tendencia central de los datos se hubiese mantenido para todo el año 2017, entonces se habría superado la norma anual del MP₁₀ de 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla 4.

Estadística de los valores diarios de MP₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en la campaña primavera 2017.

Mínimo	27
Percentil 25	63
Mediana	79
Media	79
Percentil 75	91
Máximo	162

Esta situación nos indica que la zona de Tierra Amarilla está con condiciones de saturación por la norma anual del MP₁₀.

La Figura 15 nos muestra la variabilidad de las concentraciones horarias del MP₁₀ a lo largo del día, para todos los datos de la campaña de monitoreo. Se aprecia que las mayores concentraciones se producen en las tardes (comparando las medianas destacadas con líneas negras en la 'caja' del gráfico), mientras que los mínimos se producen en la mañana. Sin embargo, tanto de día como de noche se aprecian valores extremos (círculos en la figura), que superan los 200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

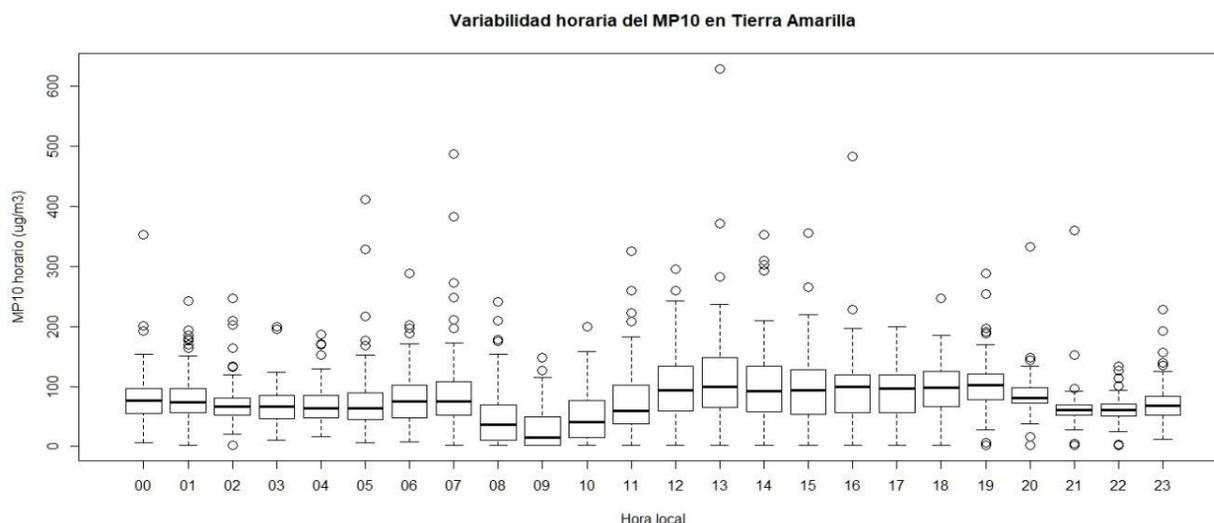


Figura 15. Variabilidad del MP10 horario a lo largo del día en la campaña de primavera 2017. Cada 'caja' tiene como límites los percentiles 25 y 75, mientras que la barra interna representa la mediana (percentil 50). Las líneas punteadas que terminan con un '—' representan los límites de ± 3 desviaciones estándar con respecto a la media. Finalmente, los círculos representan valores extremos ('outliers').

Para entender la variabilidad del MP₁₀ horario, consideremos la siguiente figura, que presenta la variabilidad de la dirección y magnitud del viento. En primer lugar, las bajas concentraciones matinales del MP₁₀ son coincidentes con las bajas velocidades del viento a esas mismas horas. En segundo lugar, el aumento de las concentraciones de MP₁₀ por las tardes está alineado con el aumento de las velocidades del viento. Luego, los datos sugieren que las emisiones fugitivas de MP₁₀ son las más relevantes en la estación de monitoreo, especialmente cuando el viento es más intenso y esos valores son mayores.

Respecto a la variabilidad de la dirección del viento, en las tardes el viento está predominantemente entre 0 y 50° (dirección N-NNE), presentándose en forma esporádica direcciones entre 200 y 300°. Lo que esto está mostrando es que durante el día el patrón de circulación del viento está dominado por corrientes ascendentes de aire, que van subiendo progresivamente hacia el sur del valle de Tierra Amarilla, desde la zona de Copiapó (elevación: 350 m sobre el nivel del mar) hasta el sitio 1 de monitoreo (elevación: 1000 m sobre el nivel del mar). La dirección diurna del viento está muy marcada además por la topografía del valle, que presenta elevaciones hacia el este y oeste, que condicionan también la dirección del viento durante el día. En la noche el viento tiene mayor variabilidad en su dirección, estando la mitad de los datos entre 25 y 180°, mientras que la velocidad del viento es en promedio muy inferior a los valores que se presentan durante el día.

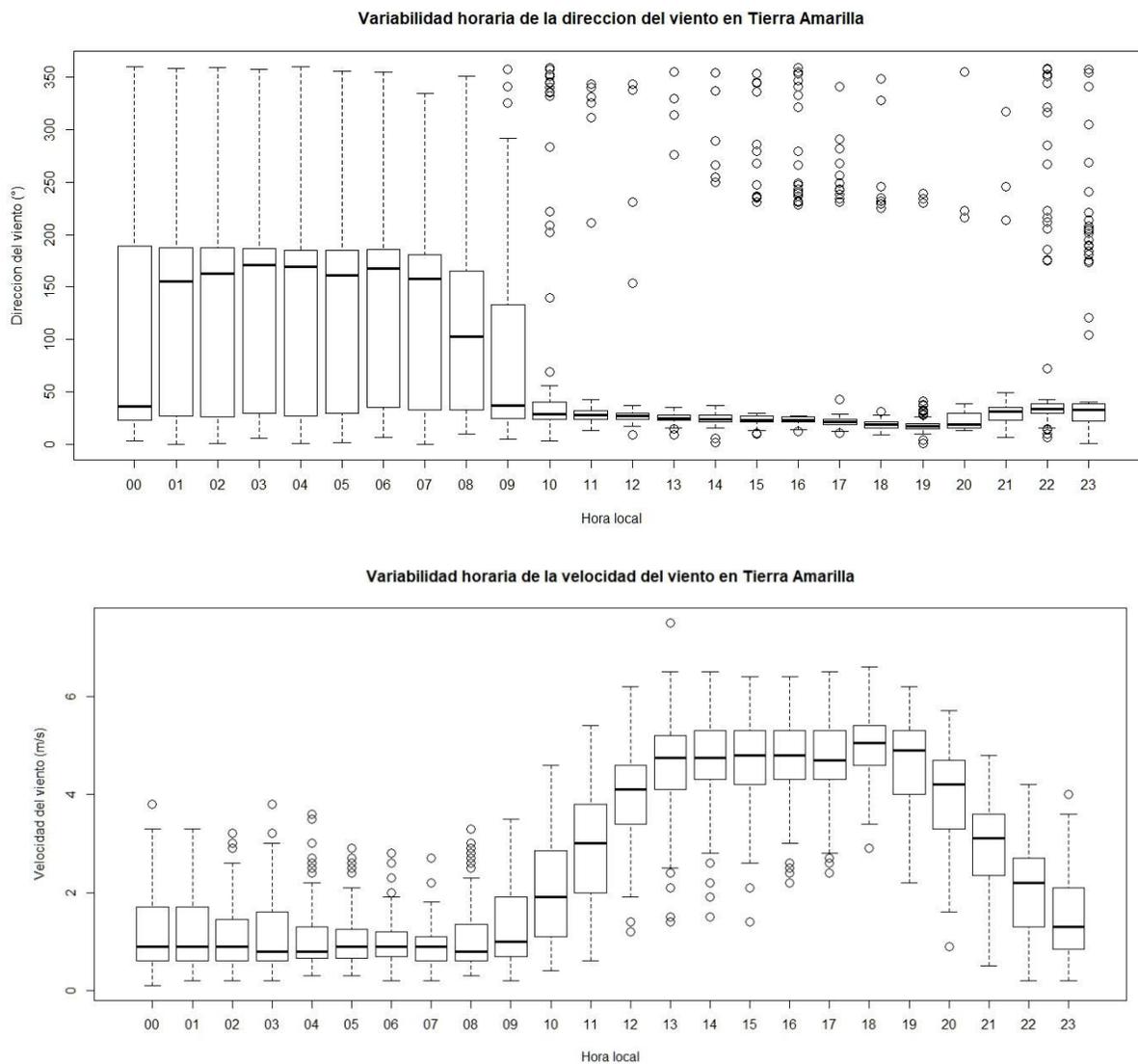


Figura 16. Variabilidad de la dirección (panel superior) y magnitud del viento (panel inferior) para la campaña 2017.

La siguiente figura muestra la variabilidad del MP₁₀ horario a lo largo de la semana. Se aprecia que las medianas de los datos no bajan significativamente los fines de semana, lo que indica que las concentraciones ambientales de MP₁₀ están dominadas por fuentes emisoras que operan en forma continua, como la actividad de mina Candelaria.

Variabilidad semanal del MP10 en Tierra Amarilla

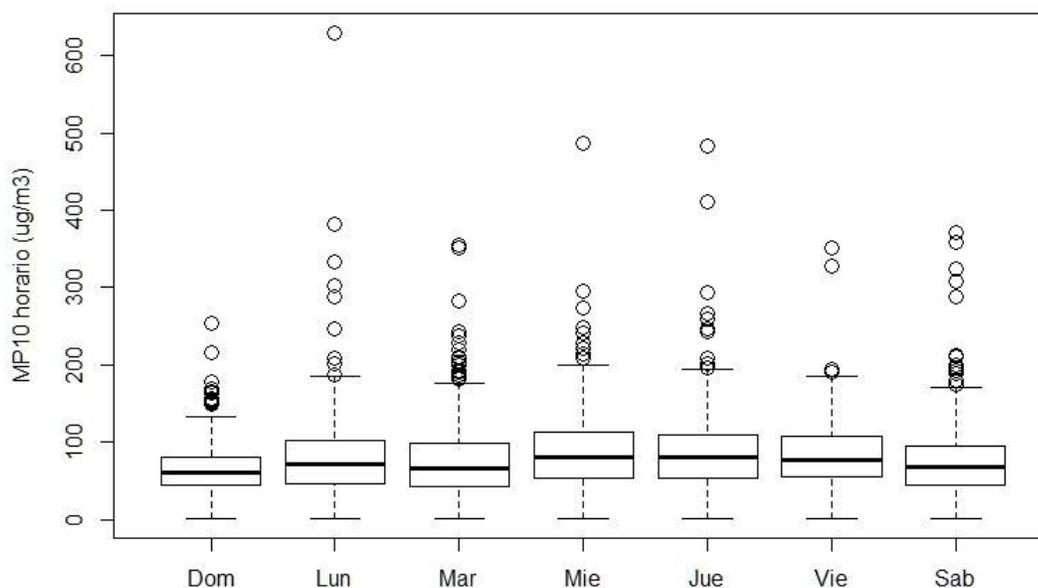


Figura 17. Variabilidad del MP10 horario a lo largo de la semana en la campaña de primavera 2017.

5.2. Proyección de los resultados de la campaña de monitoreo ambiental de MP₁₀

Los datos de la campaña de mediciones ambientales de MP₁₀ se tomaron entre los meses de septiembre a diciembre 2017. En esta sección del informe se presenta una metodología estadística para proyectar las concentraciones modeladas en la campaña a todo el trienio 2016-2018, a fin de poder comparar con las normas de calidad primaria para el MP₁₀.

En primer lugar, existe monitoreo histórico en la zona de Copiapó – Tierra Amarilla para el MP₁₀; la figura 18, construida con la información disponible en el SINCA (<https://sinca.mma.gob.cl/>), muestra que las concentraciones mensuales presentan una misma estacionalidad en todas las estaciones (ya que esta depende de la meteorología) y que hay bastante correlación entre las mediciones en las distintas estaciones de monitoreo.

La figura 19 muestra correlación lineal entre las concentraciones medidas en Copiapó y en Tierra Amarilla. La regresión utilizada es la RMA (*Reduced Major Axis Regression*), que es la línea recta apropiada a ajustar cuando los datos en ambas variables poseen errores de la misma magnitud. Se aprecia que hay una alta correlación ($R^2=0,64$) entre los valores de MP₁₀ en esos dos sitios de monitoreo.

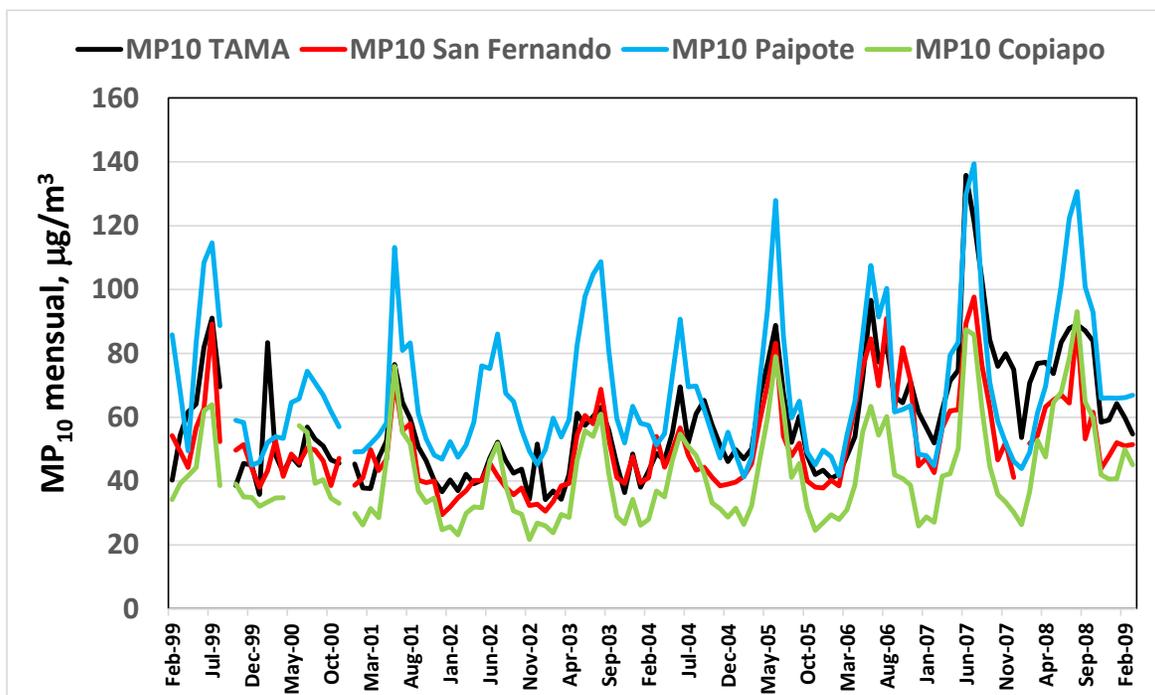


Figura 18. Variabilidad del MP₁₀ mensual registrado entre febrero 1999 y marzo 2009. Fuente: SINCA.

Regresión datos mensuales 1999-2008

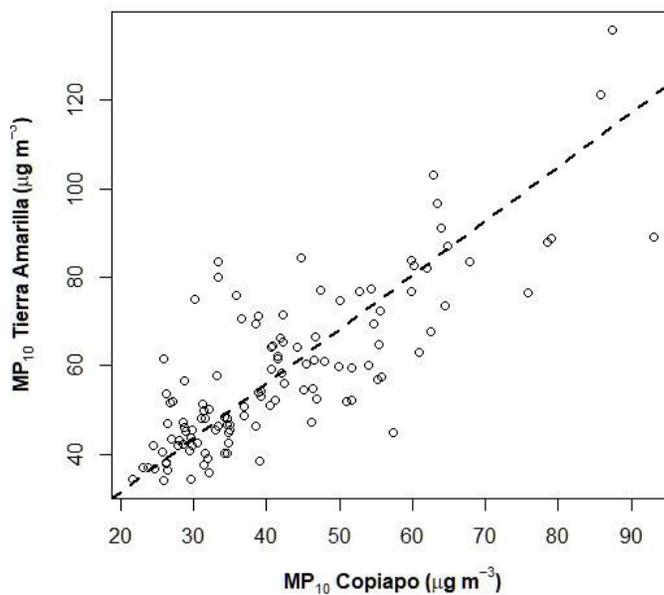


Figura 19. Regresión RMA del MP₁₀ mensual registrado entre febrero 1999 y marzo 2009 en las estaciones Copiapó y Tierra Amarilla. Fuente: SINCA.

Debido a esta correlación histórica entre las mediciones de MP_{10} en Copiapó y Tierra Amarilla, se hizo el análisis de regresión RMA para los datos de la campaña realizada en primavera 2017 en Tierra Amarilla, comparándolas con las concentraciones medidas por el MMA en Copiapó. La Figura 20 muestra el resultado de dicho ajuste lineal.

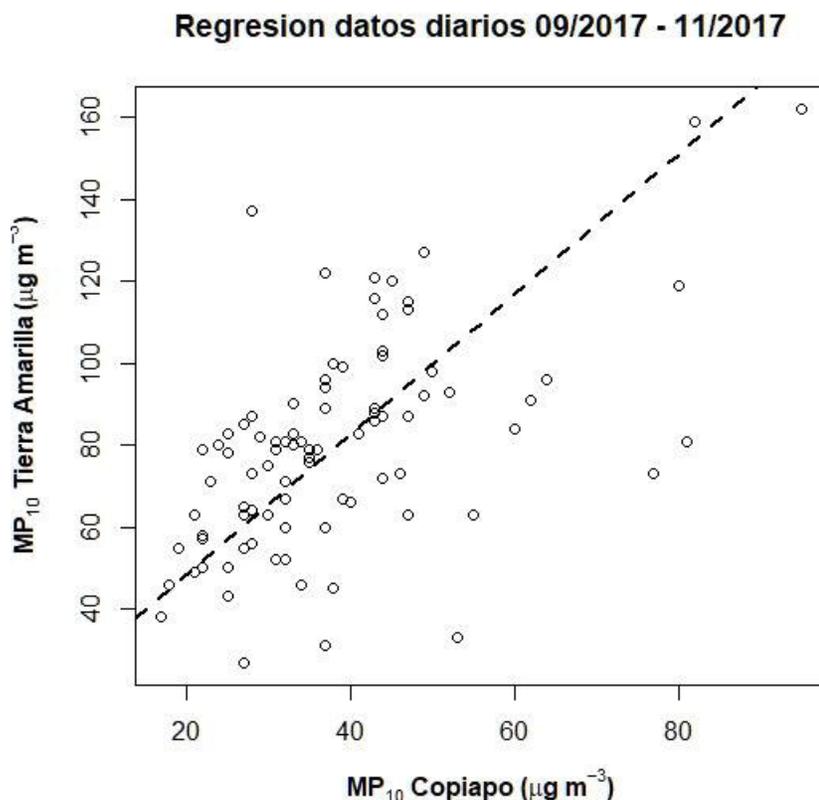


Figura 20. Regresión RMA del MP_{10} diario registrado entre septiembre y noviembre 2017 en las estaciones Copiapó (MMA) y Tierra Amarilla (campaña de primavera).

La ecuación de la línea recta está dada por la siguiente ecuación:

$$MP_{10}^{Tierra\ Amarilla} = 14.2 + 1.71 \cdot MP_{10}^{Copiapó} \quad \text{Ecuación 3}$$

El desempeño de esta regresión lineal se muestra en la Figura 21, donde se grafican los datos monitoreados en Copiapó y Tierra Amarilla y los valores calculados para Tierra Amarilla usando la ecuación 3. Se aprecia que esta ecuación captura adecuadamente la variabilidad diaria del MP_{10} usando solamente las mediciones diarias en Copiapó.

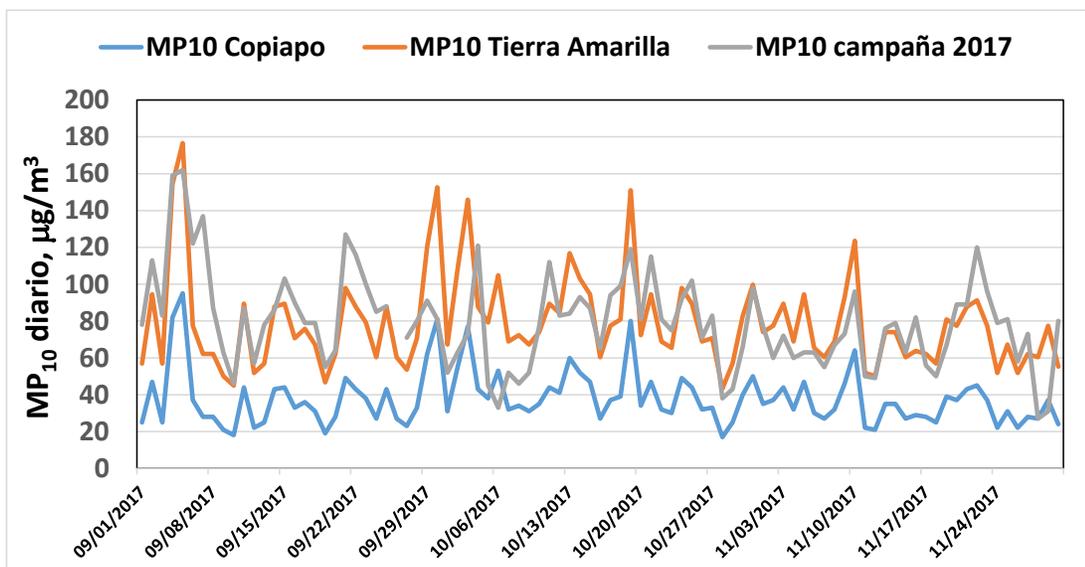


Figura 21. Comparación de las concentraciones diarias de MP₁₀ en las estaciones Copiapo (MMA, en azul) y Tierra Amarilla (campana de primavera, en gris) con la regresión RMA del MP₁₀ dada por la ecuación 3 (línea naranja).

Luego, usando la ecuación 3 con toda la data disponible en Copiapo para los años 2016-2018, se obtiene la siguiente figura, donde se aprecia que las concentraciones diarias de MP₁₀ proyectadas para Tierra Amarilla son sistemáticamente mayores a aquellas monitoreadas por el MMA en Copiapo.

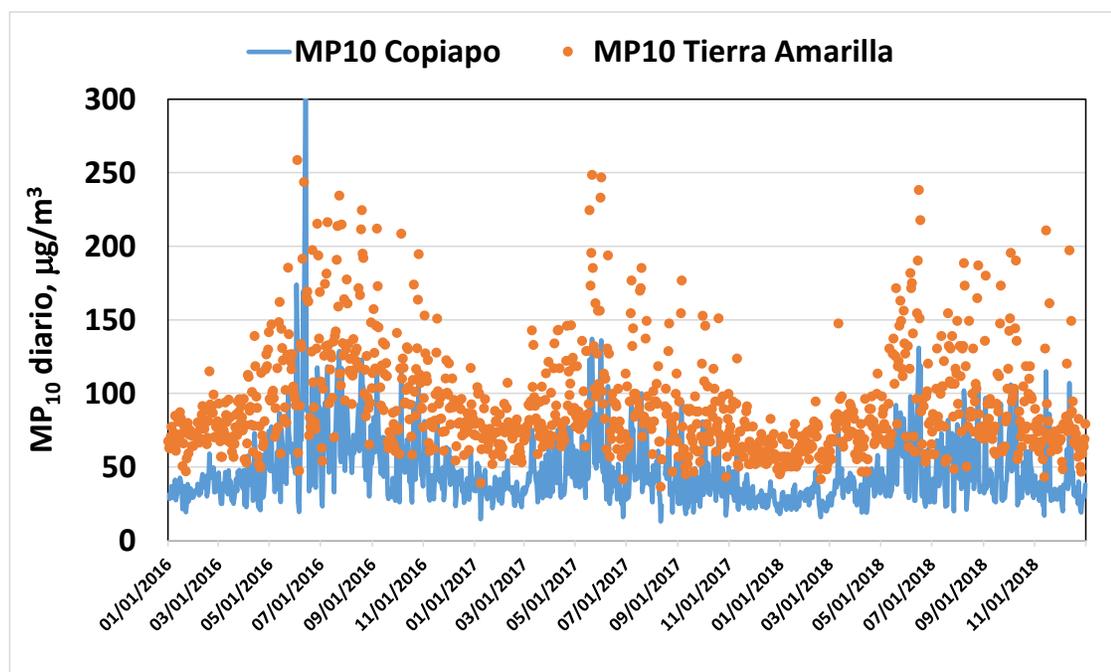


Figura 22. Comparación de las concentraciones diarias de MP₁₀ en las estaciones Copiapo (MMA, en azul) y las proyectadas para Tierra Amarilla con la ecuación 3 (círculos naranja).

Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla

Informe Final

Página 29 de 62

Código V03: FI-A.01-DSA

Con esta data proyectada para el trienio 2016-2018, es posible construir la siguiente Tabla de resúmenes de evaluaciones de la normativa ambiental del MP₁₀.

Tabla 5. Proyección de las concentraciones de MP₁₀ en Tierra Amarilla periodo 2016-2018.

Periodo	MP ₁₀ anual medido en Copiapó, (µg/m ³)	Proyección MP ₁₀ anual En Tierra Amarilla, (µg/m ³)	P98 MP ₁₀ 24 h medido en Copiapó, (µg/m ³)	Proyección P98 MP ₁₀ 24 h en Tierra Amarilla, (µg/m ³)
2016	53	105	122	222
2017	42	87	99	183
2018	43	88	102	188
2016-2018	46	93	107	198

De estos resultados queda claro que en Copiapó se cumplen ambas normas de calidad del aire para MP₁₀ (aunque la anual aparece en latencia); en contraste, en Tierra Amarilla ambas normas se exceden claramente. Aun considerando que la correlación entre ambos sitios no es perfecta, la evidencia apunta a que en el sitio de monitoreo en Tierra Amarilla está con excedencia de ambas normas de calidad primaria para MP₁₀.

5.3. Resultados campaña de monitoreo de MPS y su composición química

La campaña de monitoreo se realizó entre septiembre 2017 y septiembre 2018 (un año completo de mediciones). Los sitios de monitoreo que se definieron al comienzo de la campaña se presentan en la siguiente figura, donde las masas presentadas corresponden a la masa total depositada en los respectivos medidores de material particulado sedimentable (MPS), para el periodo septiembre 2017 a septiembre 2018.



Figura 23. Ubicación de estaciones de monitoreo de MPS.

A partir de marzo 2018, el sitio 2, fundo Las Terrazas se trasladó al sitio packing Las Terrazas, ya que los valores de MPS medidos en el sitio 2 eran bastante bajos. Además, el sitio 10 (Parcela 15) se cambió debido a la presencia de faenas en terreno que podrían modificar los resultados del monitoreo, este sitio se trasladó al Campamento La Ballena. Ambos sitios se muestran en detalle en la siguiente figura, y están ubicados entre los sitios 2 y 4 en la figura anterior.



Figura 24. Sitios de muestreo alternativos desde marzo a septiembre 2018.

La siguiente Tabla muestra los valores de MPS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$) determinados para todas las muestras tomadas en los sitios de monitoreo definidos para esta campaña 2017-2018. Se puede apreciar que los valores más bajos de masa sedimentada fueron medidos en el sitio 1, Placas Solares, el ubicado más al sur en la zona de estudio. Esto confirma que esa elección de sitio como sitio de referencia basal (o *background*) ha sido una buena elección como sitio con bajo impacto de fuentes antropogénicas y que fundamentalmente refleja las condiciones base del desierto de Atacama en la zona del estudio. También se confirma que el sitio 2, el segundo más al sur (fundo Las Terrazas) estaba con la segunda medición más baja de MPS. Esto indica que las fuentes relevantes de MPS se encuentran al norte de los sitios 1 y 2. Por esta razón, se cambió la ubicación del sitio 2 al Packing Las Terrazas.

Además, los sitios 4, 5, 7, 8 y 11 son los que presentan mayores cantidades de MPS, todos ellos conforman un transepto que bordea el perímetro sur-este de la actividad de mina Candelaria.

Tabla 6. Resultados de la campaña de mediciones de MPS (mg/m²/día). En negrilla valores que exceden normas del DS 4 1992.

Punto	Denominación	Sep Oct	Oct Nov	Nov Dic	Dic Ene	Ene Feb	Feb Mar	Mar Abr May	May Jun	Jun Jul	Jul Ago	Ago Sep	Promedio anual
1	Placas solares	4.3	12.4	5.9	4.1	1.9	4.3	5.8	9.2	1.7	2.7	5.9	5.3
2	Fundo las terrazas	17	20.5	1.9	13.5	11.6	6.5	28.2					
4	Casa de Rubén	71.5	169.2	124.2	135.3	94.7	118.2	123.9	20.8	83.4	128.5	170.4	112.7
5	Oficina Las Pintadas	19.3	90.4	25.7	22	24.7	28.8	55	7.8	57.4	26.4	44.5	36.5
7	La rotonda cuartel 17	5.5	148.9	30	60.6	20.1	14.4	69.1	6.2	32.9	34	36.1	41.6
8	Las compuertas cuartel 2	53.2	70.2	93.7	164.3	56	79.3	131.7	27.9	36.6	58.9	113.9	80.5
10	Parcela 15	23.2	54.4	12.9	27.7	11	15.3	153.4					
11	Santa Laura	9.1	138.7	39.8	75.4	19.4	105.5	83.4	19.3	40.7	37.3	63.6	57.5
3	Campamento La Ballena								11.5	67	108.3	125.6	
#	Packing Las Terrazas								4.5	23.7	39.1	80.8	

A continuación, presentamos gráficamente las concentraciones de los elementos y iones con mayores concentraciones en el MPS, para los distintos sitios muestreados, a fin de visualizar los resultados del monitoreo ambiental. En particular, nos interesa la variabilidad espacial de la depositación de cada elemento, la que se presenta en el siguiente cálculo:

$$\text{Depositación elemento X } (\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{día}) = \text{MPS (mg}/\text{m}^2/\text{día}) * \text{X } (\mu\text{g}/\text{g}) / 10^3 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde MPS es la cantidad de sedimentable en un sitio dado y X es la concentración del elemento X (en $\mu\text{g}/\text{g}$) medida en esa misma muestra.

5.3.1. Elementos de la corteza

Los elementos más abundantes en el MPS corresponden a aquellos que son más abundantes en la corteza terrestre, también llamados parte del material geológico natural. Se trata de elementos tales como aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), titanio (Ti) y potasio (K).

Las siguientes figuras muestran los resultados para los cinco elementos arriba listados. Se aprecia que hay mayores valores de este elemento en los sitios cercanos a la actividad de mina Candelaria, con respecto al sitio remoto, en donde sistemáticamente se obtuvieron valores de MPS mucho menores. En otras palabras, las emisiones antropogénicas de la actividad de mina Candelaria, dominadas por el levantamiento de polvo

fugitivo en esa faena minera, se reflejan en los mayores valores de depositación de elementos de corteza en los sitios de monitoreo cercanos a la mina Candelaria, particularmente el sitio 4 (Casa de Rubén), ubicado al sur de dicha faena minera, ya que el viento predominante en las tardes es viento norte y en las tardes las magnitudes del viento son las mayores medidas en la zona.

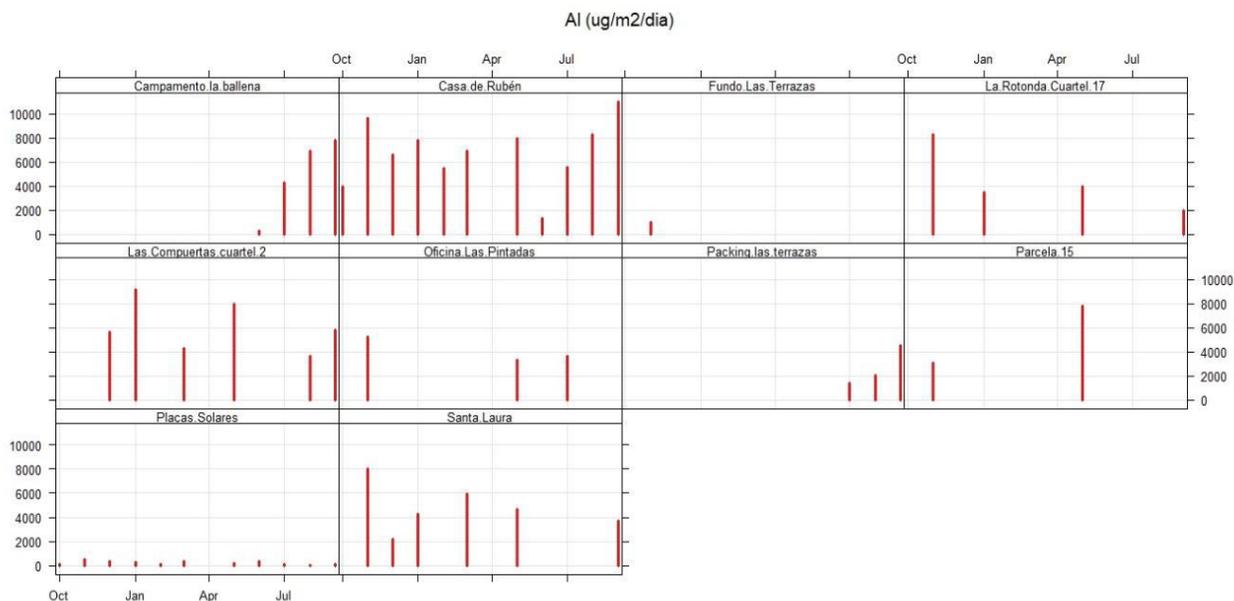


Figura 25. Depositación de Al en el MPS.

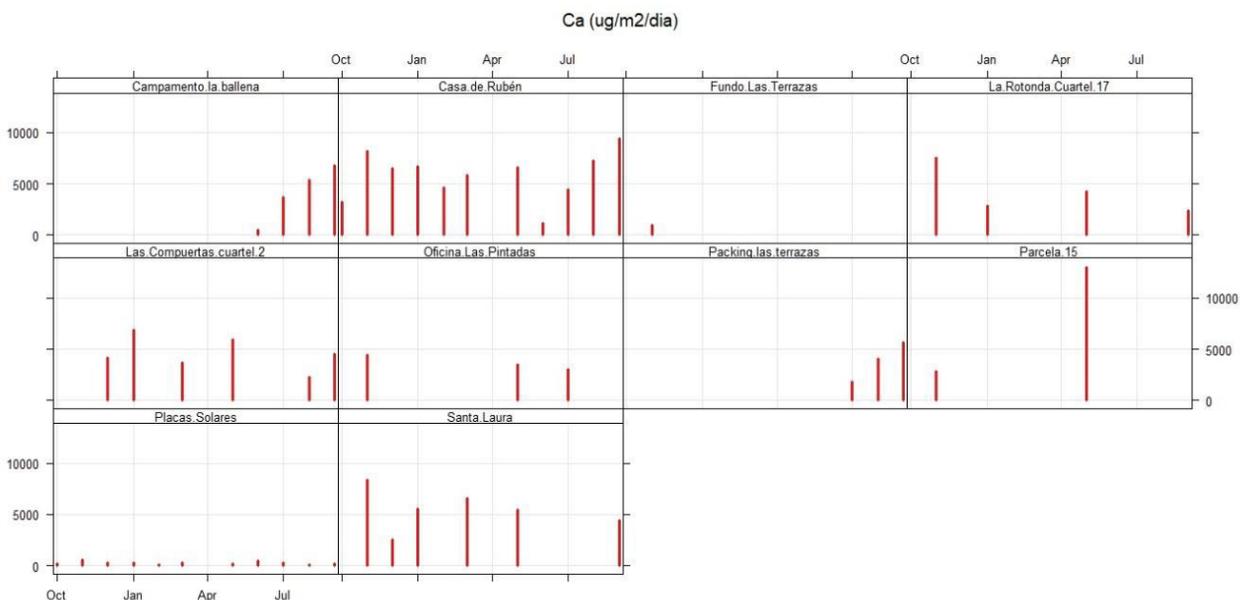


Figura 26. Depositación de Ca en el MPS.

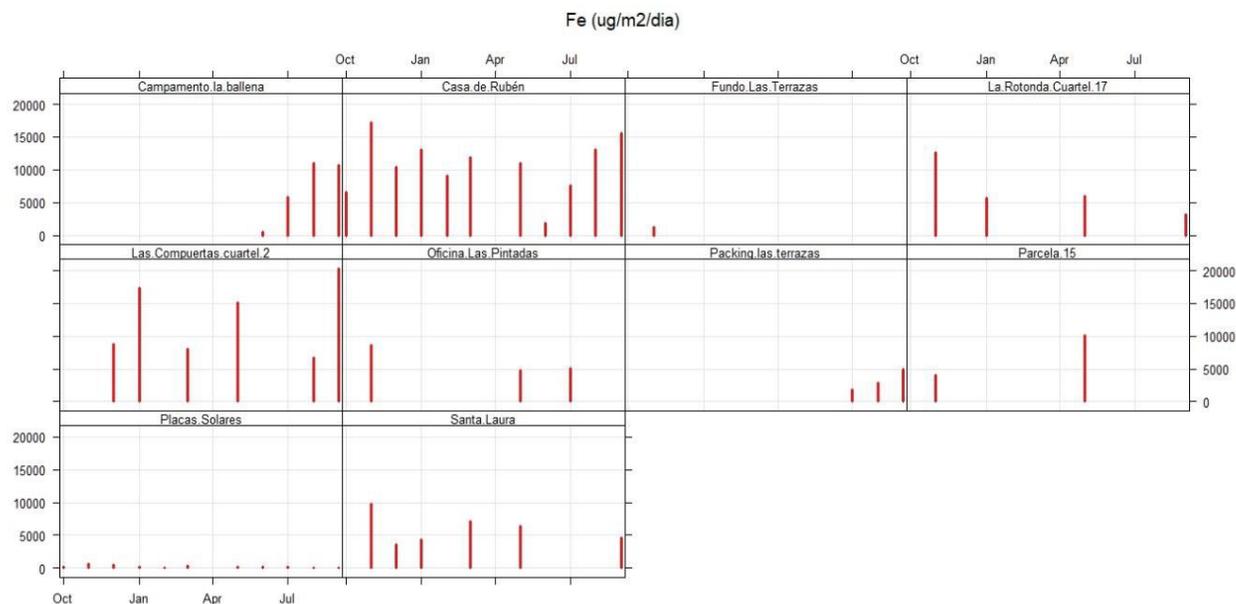


Figura 27. Deposición de Fe en el MPS.

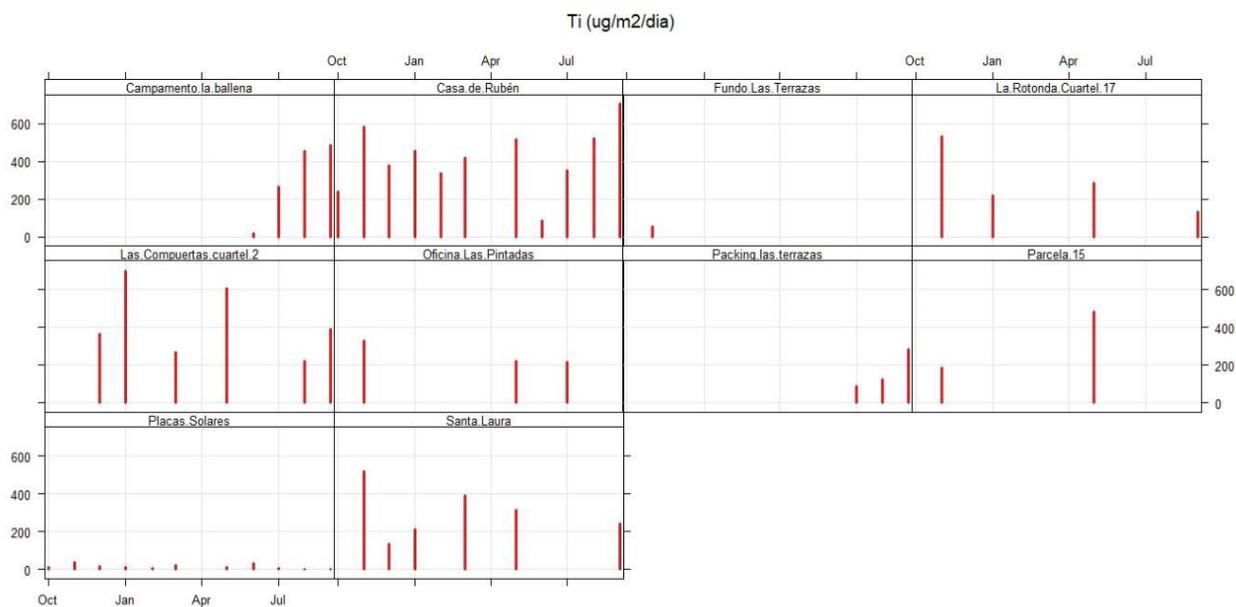


Figura 28. Deposición de Ti en el MPS.

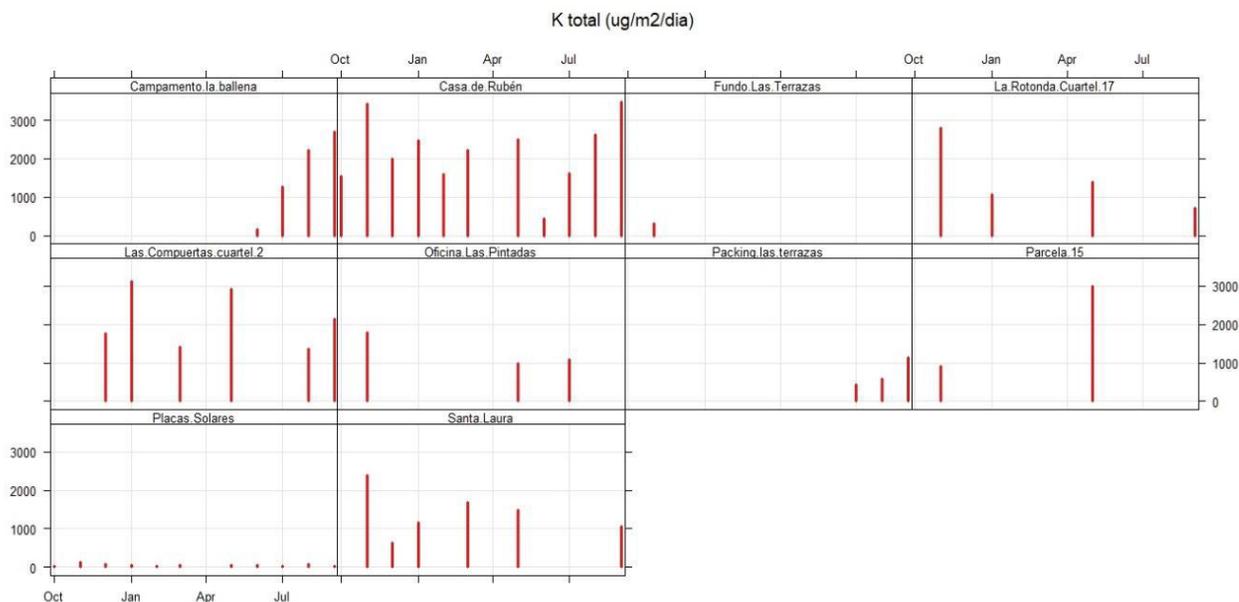


Figura 29. Deposición de K en el MPS.

En todas estas figuras se aprecia que la forma de las gráficas es muy similar para los cinco elementos de corteza. Esto se debe a que hay una alta correlación entre las cantidades depositadas de estos elementos de corteza, lo que se aprecia en la siguiente figura donde se presentan graficos de dispersión (X-Y) entre esos cinco elementos de corteza. Esto indica que se trata de una misma fuente (polvo superficial) que es emitido mayoritariamente en la zona por las actividades de mina Candelaria. Hay otras fuentes en la zona tales como el polvo suspendido por el tráfico en caminos y las actividades de preparación de suelos agrícolas, pero éstas son muy inferiores en magnitud a las emisiones de mina Candelaria.

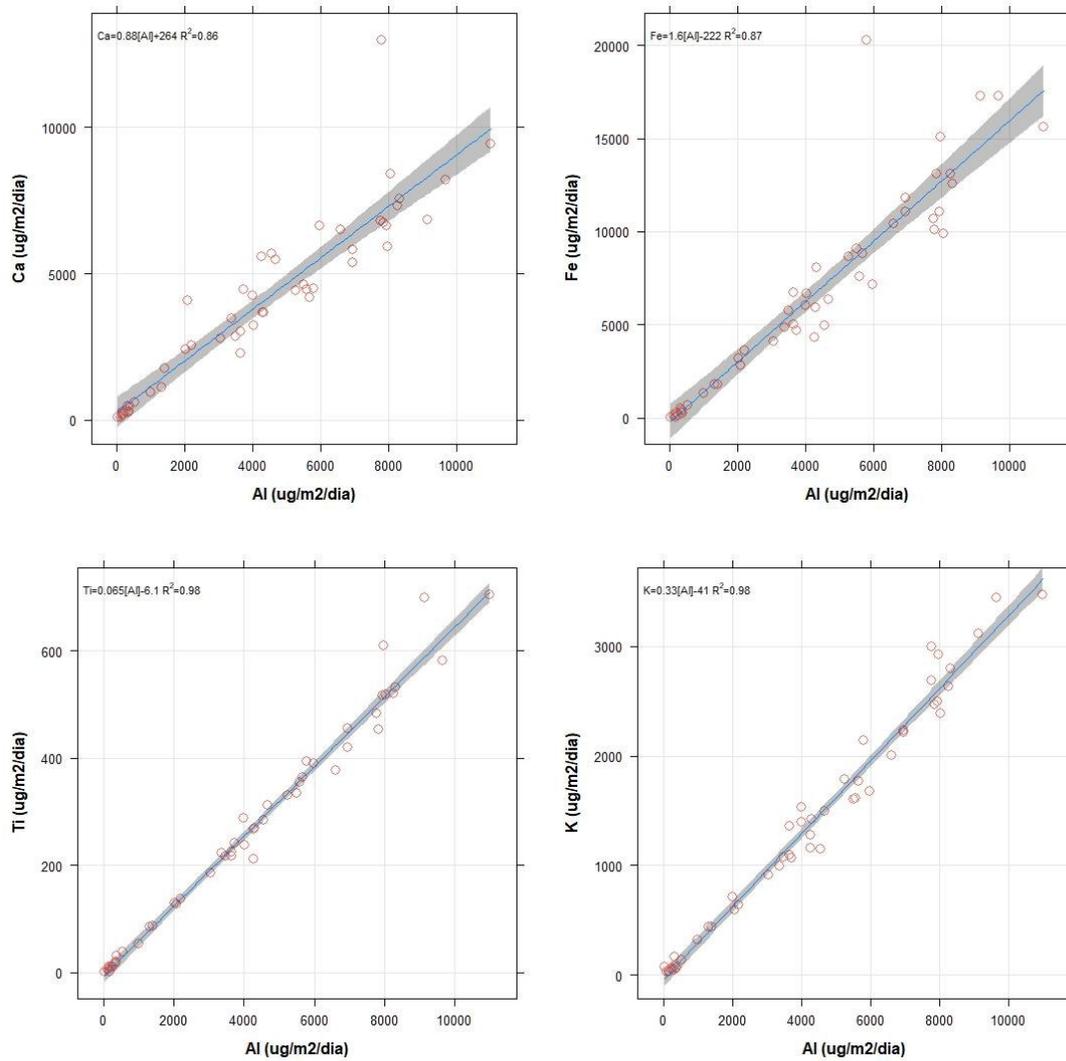


Figura 30. Correlación de varios elementos de corteza con el aluminio.

5.3.2. Elementos asociados al mineral de cobre

La geología de los yacimientos de sulfuros de cobre indica que este mineral está acompañado también por sulfuros de zinc, molibdeno, arsénico y plomo. Las siguientes figuras muestran la variabilidad espacial y temporal medida en la campaña de monitoreo para estos cinco elementos.

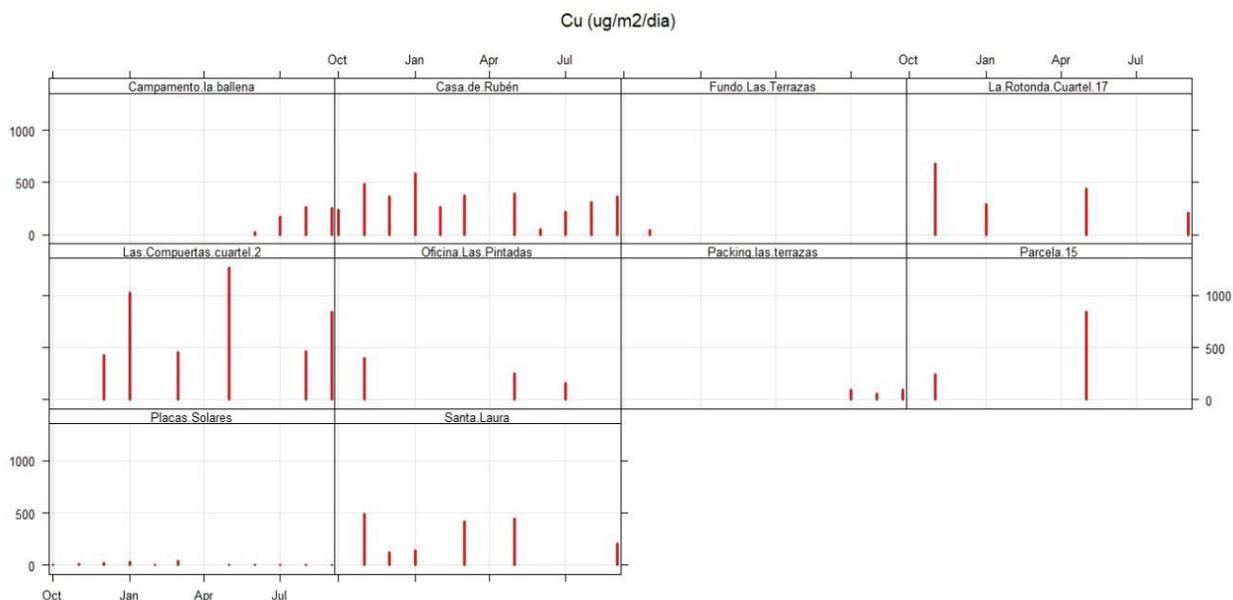


Figura 31. Deposición de Cu en el MPS.

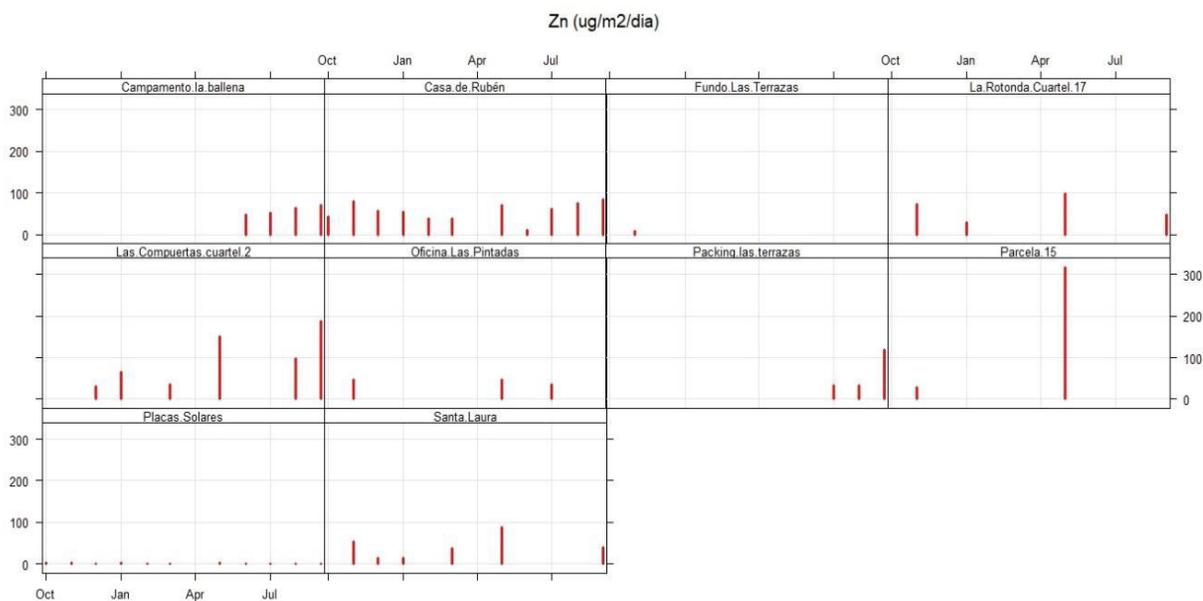


Figura 31. Deposición de Zn en el MPS.

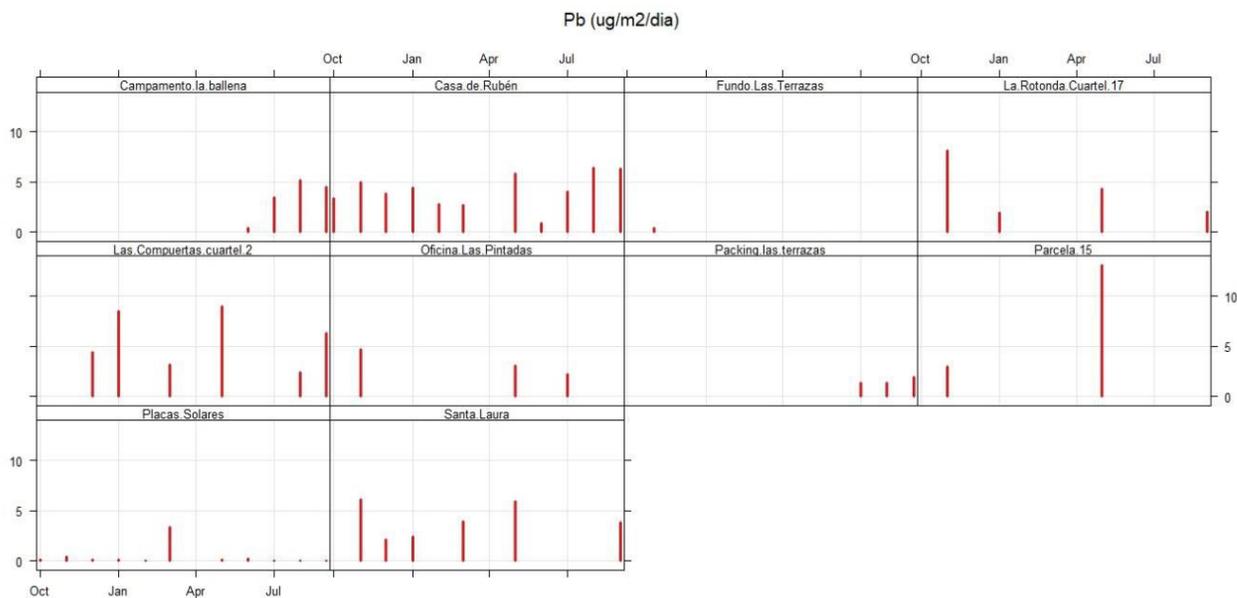


Figura 33. Deposición de Pb en el MPS.

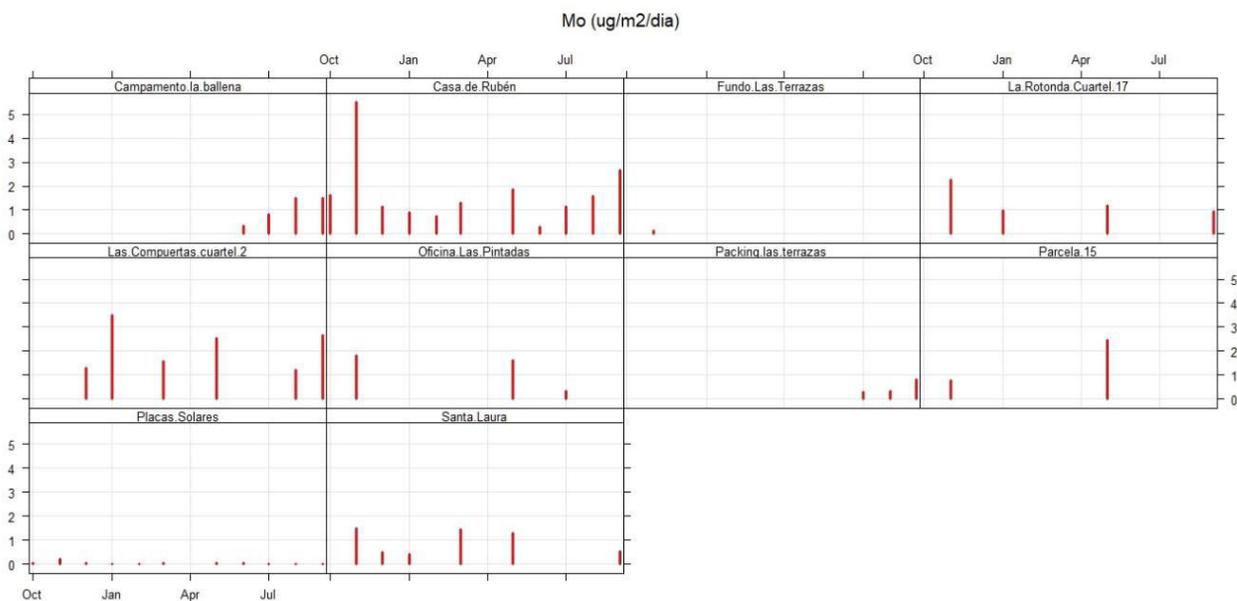


Figura 34. Deposición de Mo en el MPS.

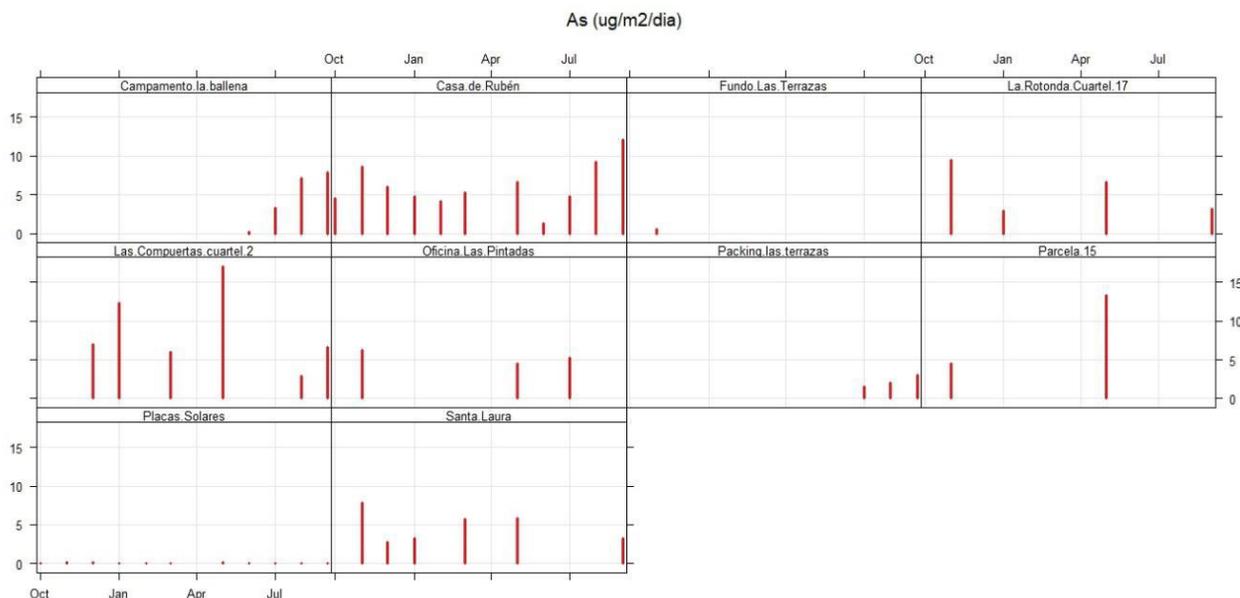


Figura 35. Deposición de As en el MPS.

Se aprecia que los cinco gráficos muestran una distribución espacial y temporal muy similar. Por ejemplo, los valores de estos metales depositados son mínimos en los sitios más al sur: Placas Solares y fundo Las Terrazas. Esto se debe a que todos ellos provienen de una fuente común que es el mineral que se explota en la faena Candelaria; así, los sitios más alejados de la faena Candelaria son los menos impactados por la depositación de metales emitidos por esa actividad antropogénica.

Por otra parte, los sitios con mayores valores de depositación de Cu, As, Pb, Mo y Zn justamente corresponden a aquellos más cercanos a la faena Candelaria. En efecto, los sitios 4 (Casa de Rubén), 7 (La Rotonda cuartel 17), 8 (Las compuertas cuartel 2), 10 (parcela 15) y 11 (Santa Laura) consistentemente muestran mayores valores de esos metales depositados. Puesto que estos metales solo pueden provenir de la faena Candelaria, esto indica que todos esos sitios están siendo impactados por depositación de polvo emitido por esa actividad minera.

La siguiente figura muestra las correlaciones entre As, Mo, Pb y Zn con Cu; se aprecia que en todos los casos hay alta correlación entre cada uno de esos elementos y el cobre, lo que está indicando que la presencia de estos compuestos se debe a una única fuente en común de todos ellos, que corresponde a la actividad de mina Candelaria.

Como la misma empresa CCMC ha manifestado en su EIA (Proyecto expansión 2030), la depositación de MPS disminuye muy rápidamente con la distancia a la fuente emisora, así que no hay posibilidad de que los sitios de monitoreo estén impactados por actividades mineras ubicadas más al norte de Candelaria. Además, como el viento predominante es norte el 70% del tiempo, tampoco es posible que los altos impactos medidos en los sitios descritos en esta sección provengan de una actividad minera ubicada al SE de Nantoco (Planta Cerrillos), ya que en tal caso los elementos As, Mo, Pb y Zn con Cu no podrían ser máximos en el sitio 4, dada su lejanía y orientación con respecto a dicha actividad.

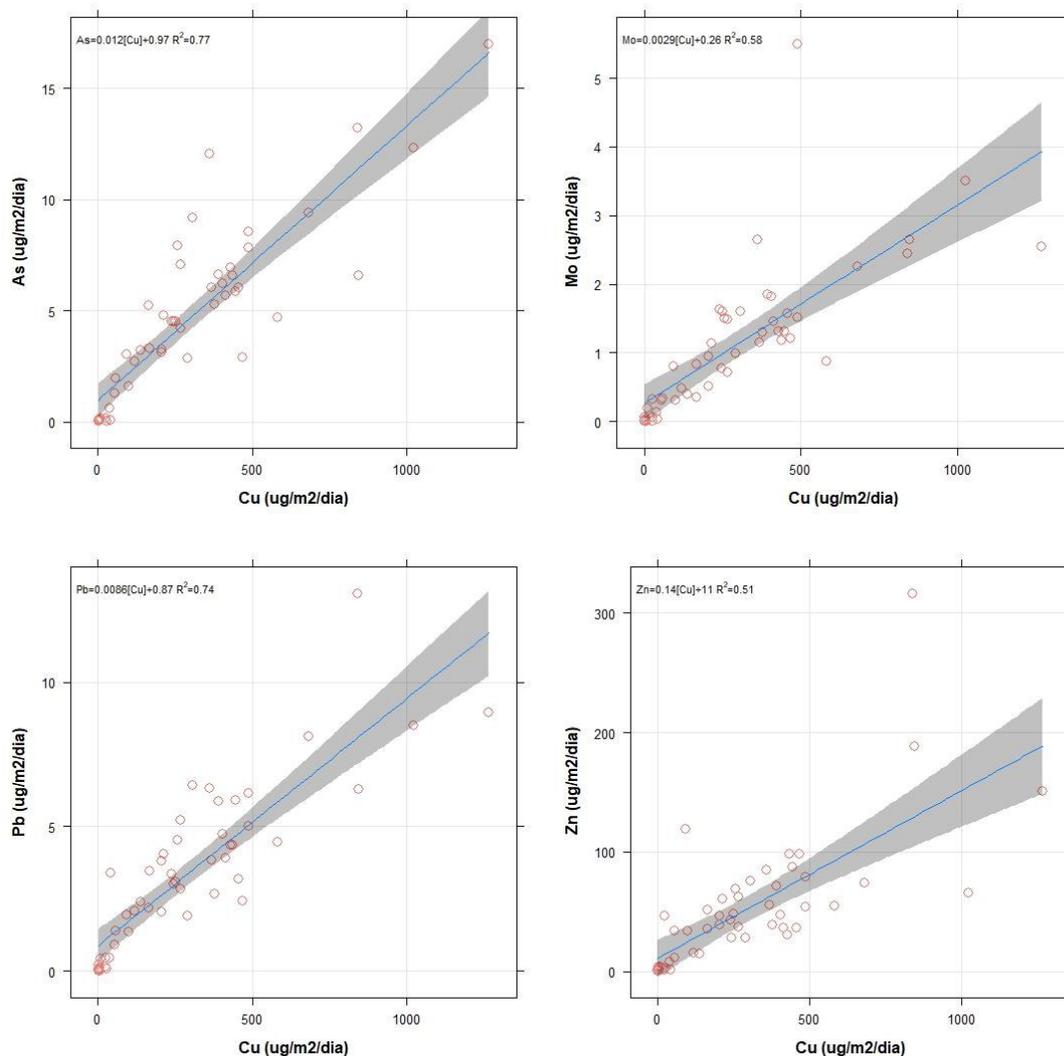


Figura 36. Correlaciones entre varios elementos emitidos por la actividad minera.

5.3.3. Iones presentes en el material particulado sedimentable (MPS)

La siguiente figura muestra la depositación del ion sulfato (SO_4^-) durante la campaña de monitoreo. Nuevamente se aprecia que los menores valores han sido registrados en los sitios ubicados más al sur. Esto se debe a que los sulfatos son emitidos mayoritariamente por la fundición de cobre de Paipote, ubicada más al norte que la faena Candelaria. En este caso los sitios ubicados más cerca de la faena Candelaria presentan valores similares de sulfato depositado. Esto se debe a que el sulfato tiende a presentar una distribución espacial más homogénea viento debajo de la fuente emisora (Paipote), ya que se trata de partículas de tamaño bajo $3 \mu\text{m}$ y que sedimentan lentamente, por eso la similitud entre los mayores valores medidos en los sitios, excepto los más alejados como sitios 1 y 2.

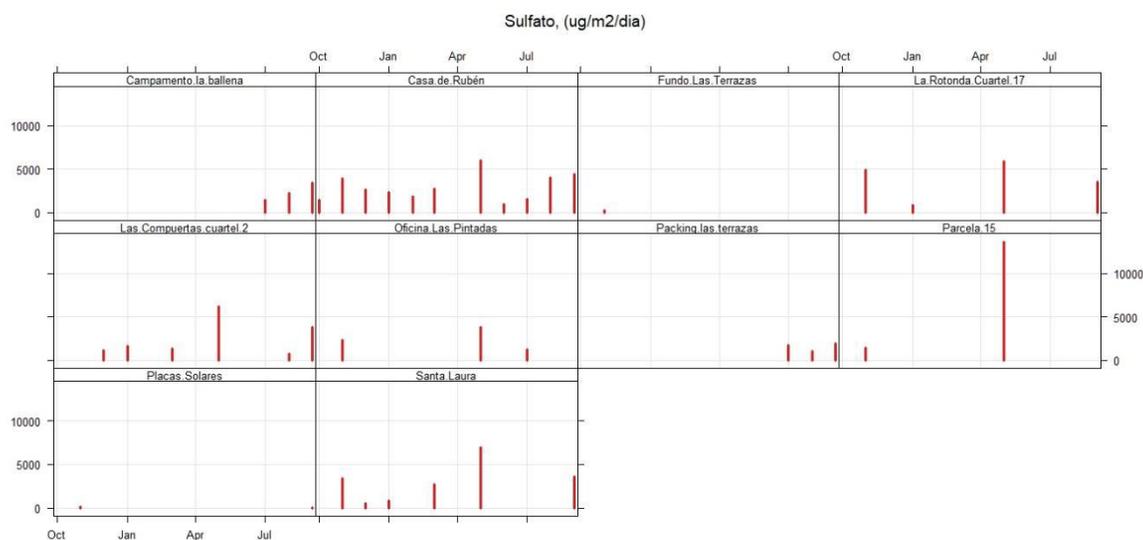


Figura 37. Deposición de sulfato en el MPS.

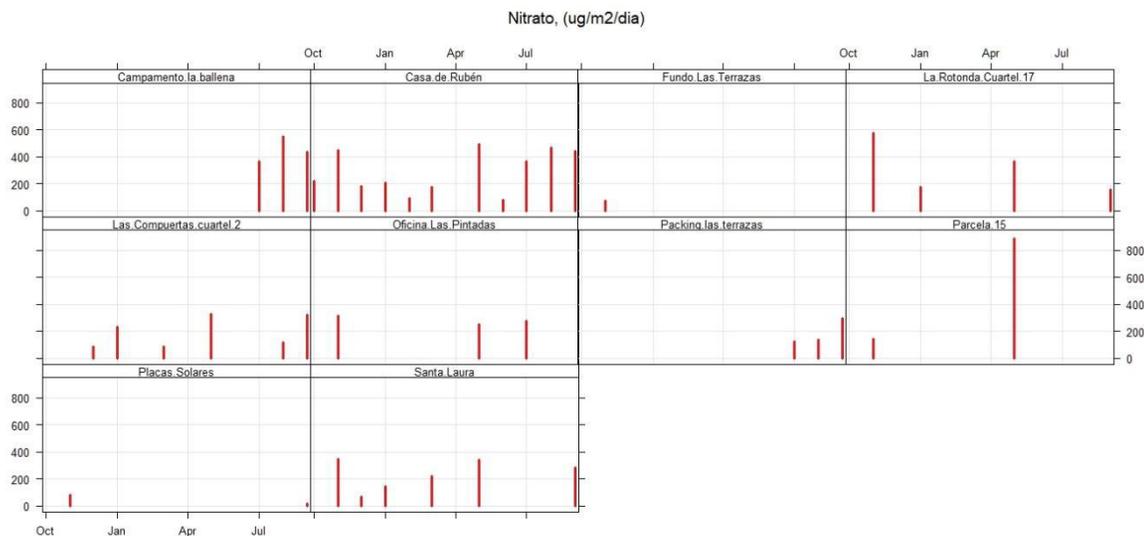


Figura 38. Deposición de nitrito en el MPS.

La figura anterior muestra la depositación de nitrato en el MPS. En este caso, los nitratos solamente pueden haberse producido por la rápida oxidación de óxidos de nitrógeno (NOx) provenientes de procesos de combustión, dadas las condiciones de alta radiación solar en la zona, las que favorecen dichos procesos de oxidación. En esta zona la fundición Paipote no emite NOx, y la única fuente de combustión importante es el consumo de combustibles en los camiones en faenas mineras como Candelaria, debido a la magnitud de la cantidad de material que es transportado en dichos camiones. En efecto, nuevamente los mayores aportes de nitrato depositado corresponden a los mismos sitios para los cuales los aportes de Cu, As, Mo,

Pb y Zn también son máximos. Dada la dirección del viento predominante (norte el 70% del tiempo), no es posible que dichos iones provengan de actividades mineras más al sur de Nantoco (Planta Cerrillos), dados los mayores valores de nitrato depositado en el sitio 4 (Casa de Rubén).

Las siguientes figuras muestran la depositación de sodio (Na+) y cloruro (Cl-) en el MPS.

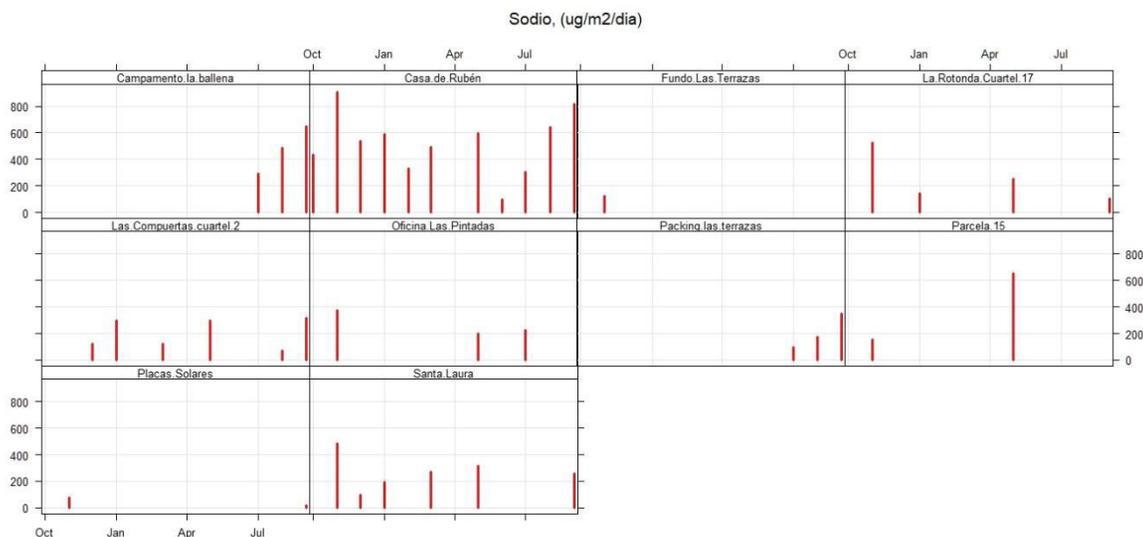


Figura 39. Depositación de sodio en el MPS.

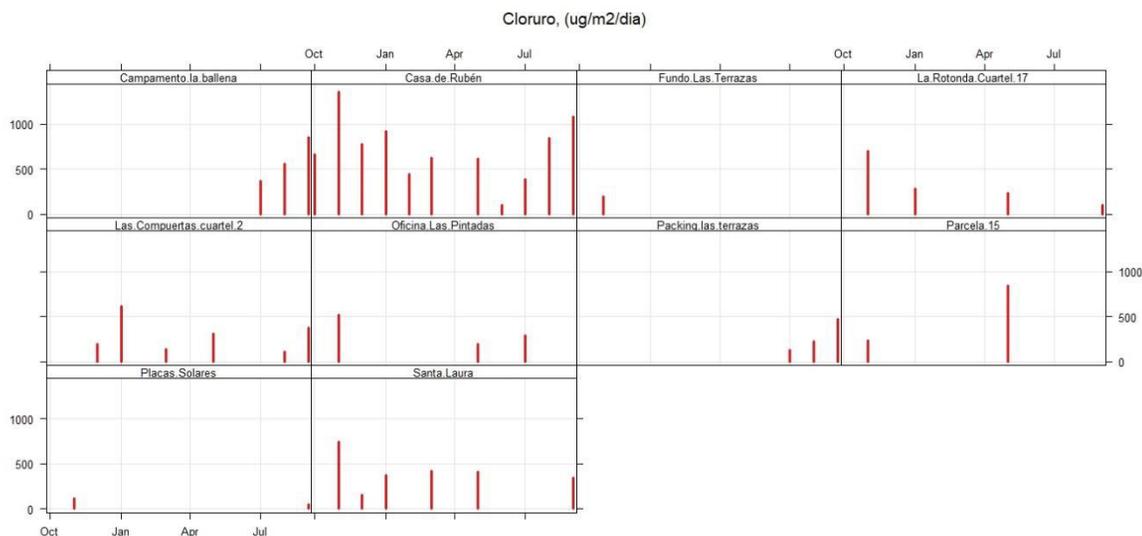


Figura 40. Depositación de cloruro en el MPS.

Ambos patrones espaciales y temporales son muy similares, lo que sugiere nuevamente que dichos iones provienen de una misma fuente. Al realizarse un gráfico de dispersión entre el sodio y el cloruro, se obtiene

una alta correlación lineal, como se muestra en la siguiente figura. La pendiente de la recta indica que tanto el sodio como el cloruro corresponden a sal (NaCl). En todo caso, estos dos elementos están en muy pequeña proporción en masa, como se aprecia en la Tabla 7 más abajo, por lo que su aporte al MPS es mínimo también.

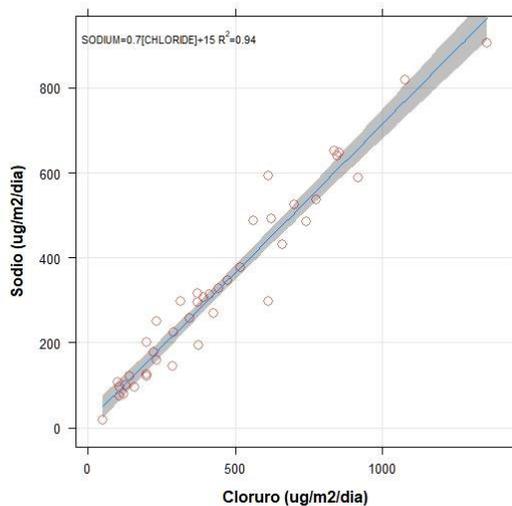


Figura 41. Correlación entre sodio y cloruro en el MPS.

5.3.4. Aplicación del modelo receptor para MPS

Se aplicó el modelo de receptor UNMIX, versión 6, desarrollado por la Environmental Protection Agency de EEUU a las mediciones de composición química del material particulado sedimentable (MPS) en 51 muestras tomadas en diez sitios de monitoreo.

La Tabla 7 muestra la estadística de las composiciones (en $\mu\text{g/g}$) de los elementos e iones más abundantes en las muestras de MPS. Por simplicidad, la estadística se muestra agregada para todos los sitios de muestreo considerados. Claramente los elementos de corteza (polvo superficial) son los más abundantes en masa.

Tabla 7.
Composición química ($\mu\text{g/g}$) en los iones y elementos medidos en el MPS.

Especie	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Máximo
Cloruro	50	108	291	612	1357
Nitrato	15	77	180	341	888
Sulfato	31	568	1584	3528	13618
Sodio	17	95	225	432	906
Mg	8659	17800	21514	26249	34002
Al	12070	54352	57895	61909	91997
P	424	1029	1121	1349	13465
S	235	11342	13737	21826	39279
K	5020	15323	18284	19744	29157
Ca	31327	46508	52648	62884	150552
Ti	111	3162	3570	3978	4654
V	8.6	114.1	126.9	141.1	184.5
Cr	3.0	66.0	83.9	97.6	822.1
Mn	375	1214	1567	1857	2528
Fe	2469	65871	86028	95456	178174
Co	1.9	33.5	40.7	46.6	300.3
Ni	1.2	30.3	36.3	47.0	2188.7
Cu	194	2117	3195	4577	9840
Zn	123	391	526	872	4026
As	3.0	34.9	53.4	70.4	129.2
Se	1.9	3.4	4.3	12.8	818.7
Rb	2.2	47.2	56.5	67.6	79.0
Sr	128	210	229	270	838
Sn	0.1	1.9	2.4	3.3	360.0
Sb	0.3	3.5	5.0	8.3	274.5
Pb	4	30	41	53	786

5.3.5. Resultados del modelo de receptor

El modelo UNMIX6 obtuvo una solución con cuatro fuentes principales, cuyas concentraciones de elementos se entregan en la siguiente Tabla.

Tabla 8

Resultados del modelo de receptor para la composición química del MPS. Las composiciones en negrilla son estadísticamente significativas (95 % de confianza).

Especie	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Cloruro	1	-16	375	20
Nitrato	-8	74	165	-4
Sulfato	-193	1750	1280	-544
Sodio	-2	7	268	3
Al	1730	-2920	20200	36500
S	-938	6290	2930	8090
Ca	1960	-407	16600	37900
Ti	50	-44	1270	2110
V	2	-7	47	77
Mn	47	-144	698	946
Fe	247	-1280	31300	50400
Ni	90	2	9	4
Cu	68	891	504	2270
Sr	7	10	61	175

En primer lugar, las concentraciones que aparecen con valores negativos corresponden a incertidumbres del modelo en la composición química de algunas fuentes. Esto es normal en resultados de este tipo de modelos. Una manera de confirmar esto es calcular la significancia de cada uno de los valores en la tabla anterior. Solo los valores en negrilla en la Tabla anterior son estadísticamente significativos (notar que ningún valor negativo es significativo). A continuación, presentamos una explicación para cada uno de esos factores.

El primer factor (o fuente) concentra la gran mayoría del níquel, siendo los restantes elementos no significativos para esta fuente de polvo. Este metal es un trazador de la combustión de petróleo pesado, como fuel oil por ejemplo. Los mayores valores de depositación de níquel se registran en los sitios 4 y 8. En todo caso, este factor no aporta al MPS en masa en forma significativa, probablemente porque las partículas de combustión son finas y en masa muy inferiores a la depositación de polvo, por ejemplo.

El segundo factor (o fuente) tiene la mayoría de la concentración de sulfato y una contribución menor de nitrato, así como azufre. Debido a esto, esta fuente se identifica principalmente con las emisiones de la fundición de cobre Paipote, ubicada al norte de la zona de monitoreo, ya que solamente este tipo de fuentes emite sulfatos directamente o bien son generados por la oxidación atmosférica de las altas emisiones de SO₂ de dicha fuente. Notar que el viento en la zona tiene predominio de viento norte, ya que se desarrollan durante el día corrientes ascendentes entre Copiapó (a 385 m de elevación) y Placas Solares (a 1000 m de elevación), esto explica cómo se mueve la contaminación emitida por Paipote hacia Tierra Amarilla y prosiguiendo hacia el sur. Además, esta fuente no tiene concentraciones significativas de elementos de

corteza (Al, Fe, Ca, Ti, K) ni Cu en su composición química. Luego, se puede concluir que el modelo UNMIX ha podido identificar la fuente que corresponde a Paipote y, además, que desde el sector norte de la zona de estudio (donde está ubicado Paipote) no llegan elementos de corteza en cantidades significativas. En otras palabras, no aparece evidencia de transporte de emisiones de polvo fugitivo desde la zona al norte de Candelaria hacia los sitios de monitoreo de MPS.

El tercer factor (o fuente) tiene las mayores concentraciones de nitrato y concentraciones relevantes de elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe). Dado que los nitratos solamente se pueden producir en zonas con altos consumos de combustible (como mina Candelaria) y debido a la alta presencia de elementos de polvo superficial, a esta fuente la vamos a identificar como 'polvo fino de minería', ya que los nitratos normalmente se encuentran en tamaños menores a 10 μm . Además, los elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe) se encuentran sistemáticamente en menores concentraciones que en la fuente 4 (descrita más abajo), por lo que esto confirma que se trata de partículas de tamaños más pequeños que en el caso de la fuente 4, ya que su concentración en masa es menor.

El cuarto factor (o fuente) contiene la mayor proporción en masa de elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe, Sr), y la mayor proporción de azufre y cobre. Debido a estas características, a esta fuente la identificamos como 'polvo grueso de minería', ya que los elementos de suelo son más abundantes a mayores tamaños de partícula. Esta fuente incluye además los aportes más relevantes de cobre y azufre, elementos clave del mineral explotado en Candelaria.

Los resultados estadísticos del modelo de receptor se presentan en la siguiente Tabla. En promedio el modelo es capaz de explicar el 73% de la variabilidad de los datos modelados, lo que se considera aceptable dado el origen principalmente fugitivo del MPS. En la siguiente sección presentamos los resultados del modelo para representar el material particulado sedimentable (MPS) medido.

Tabla 9.

Resultados estadísticos del modelo de receptor para el MPS.

Especie	r-Pearson	Pendiente	R²
Cloruro	0.972	0.996	0.946
Nitrato	0.923	1.010	0.853
Sulfato	0.944	0.995	0.892
Sodio	0.991	1.011	0.981
Al	0.889	0.805	0.790
S	0.806	0.922	0.650
Ca	0.606	0.833	0.367
Ti	0.843	0.906	0.710
V	0.903	0.986	0.816
Mn	0.741	0.854	0.550
Fe	0.818	1.126	0.668
Ni	1.000	1.000	1.000
Cu	0.780	1.142	0.608
Sr	0.634	0.919	0.402

5.3.6. Estimación de aportes de fuentes al MPS

Para cuantificar el aporte de cada una de las cuatro fuentes identificadas por el modelo de receptor a las mediciones de MPS, se hizo una regresión lineal entre los valores del MPS (medidos en todos los sitios de monitoreo) versus los aportes de fuentes estimados por el modelo de receptor. Los resultados de esa regresión entregaron los siguientes resultados, que incluyen algunas especies químicas no utilizadas en el modelo de receptor:

Tabla 10. Resultados de la regresión (2) para el MPS y otras especies. El término constante y los aportes de fuentes están en ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{día}$) excepto para el MPS, donde están en ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$).

Especie	Constante	Fuente 1	Fuente 2	Fuente 3	Fuente 4	R ²
MPS	0.0	0.0	5.8	57.0	9.9	0.792
Mg	4000.3	144.5	0.0	7825.0	9721.7	0.635
As	0.0	0.0	7.9	18.8	27.2	0.571
K	9103.5	0.0	581.5	3478.7	4214.3	0.332
Mo	2.2	0.0	1.3	4.3	5.7	0.242
Zn	377.5	0.0	236.6	0.0	119.8	0.196
P	0.0	3.2	0.0	89.4	1531.2	0.172
Na	14767.6	602.4	0.0	1641.3	3546.3	0.128
B	185.2	156.7	0.0	0.0	0.0	0.123
Pb	0.0	0.0	1.5	1.1	55.8	0.101
Li	35.4	0.0	1.8	0.0	0.0	0.005

De estos resultados se puede concluir para el MPS medido que:

- La fuente 1 (combustión de fuel oil) no aporta a las mediciones de MPS en la campaña de monitoreo.
- La fuente 2 (fundición Paipote) aporta a las mediciones de MPS con un valor promedio estimado de 5.8 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$).
- La fuente 3 (polvo fino de la minería) aporta a las mediciones de MPS con un valor promedio estimado de 57.0 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$).
- La fuente 4 (polvo grueso de la minería) aporta a las mediciones de MPS con un valor promedio estimado de 9.9 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$).

Dado que el intercepto para el MPS no es significativo, esto indica que el MPS está dominado por las emisiones de la actividad minera, seguidas de las emisiones de la fundición Paipote. Además, en la Tabla anterior se aprecia que el As también es explicado solamente por las fuentes 2, 3 y 4, lo que confirma la interpretación de fuentes emisoras hecha en la sección anterior de este Informe.

Desde el punto de vista estadístico, la regresión del modelo de receptor para el MPS (Ecuación 2) explica prácticamente el 80% de la variabilidad de las concentraciones de MPS medidas en la campaña de mediciones. Este se considera un buen resultado estadístico, y la siguiente figura muestra una gráfica del MPS modelado (usando Ecuación 2 y los coeficientes de la Tabla anterior) versus el MPS observado en la campaña de mediciones.

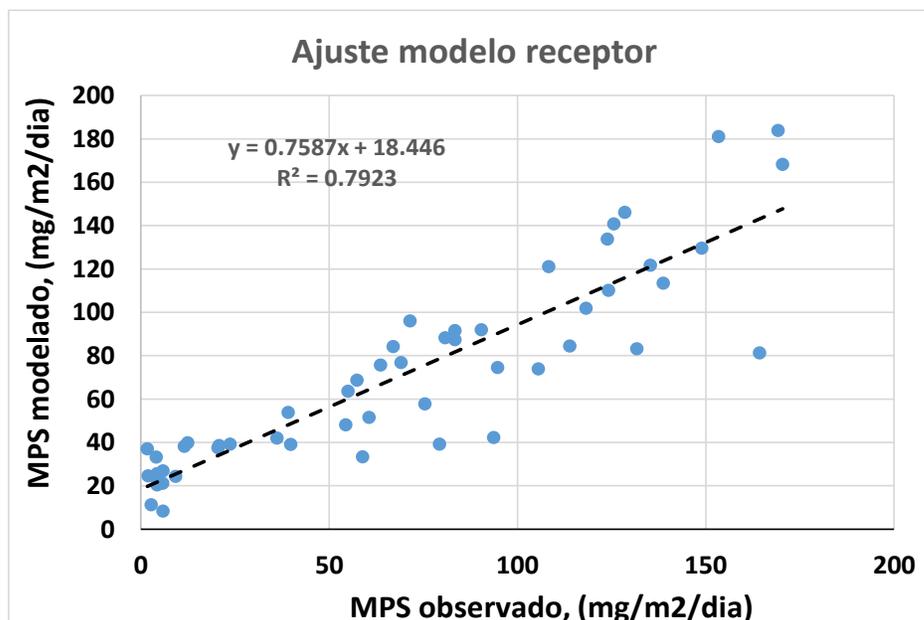


Figura 42. Desempeño del modelo de receptor para el MPS.

Se aprecia que el modelo de receptor es capaz de seguir muy bien la tendencia general de los datos observados. Utilizando los resultados del modelo de receptor de la Tabla anterior, es posible entonces estimar el aporte de las distintas fuentes emisoras al MPS en todos los sitios considerados en el monitoreo. La siguiente Tabla presenta estos resultados.

Tabla 11.
Valores promedio de aportes al MPS en sitios de monitoreo (mg/m2/día).

Sitio	Fundición Paipote	Polvo fino	Polvo grueso	MPS modelo	MPS observado
Casa de Rubén	2.8	105.4	6.6	115	113
Fundo Las Terrazas	0.2	28.3	9.2	38	21
Packing las terrazas	3.5	45.2	11.8	60	48
La Rotonda Cuartel 17	12.1	50.6	12.3	75	79
Las Compuertas cuartel 2	9.3	37.2	14.2	61	107
Oficina Las Pintadas	6.9	56.2	11.7	75	68
Campamento la ballena	2.8	86.4	6.9	96	78
Placas Solares	3.4	10.8	10.6	25	5
Santa Laura	7.1	58.0	10.2	75	84
Parcela 15	19.0	88.0	7.6	115	104

Los resultados claramente indican que el mayor aporte al MPS corresponde al polvo fino emitido por Candelaria, seguido del polvo grueso de esa misma faena minera y finalmente las emisiones de la fundición Paipote.

Esto se debe a que el polvo grueso, por tener mayor tamaño de partícula, sedimenta más cerca de la fuente emisora y por esto su aporte es menor que el correspondiente al polvo fino, el cual es capaz de llegar a mayores distancias de la fuente emisora. En el caso del polvo fino, el sitio que es más impactado no es el más cercano a la faena de Candelaria, sino que está al sur de ella. Debido a la dirección predominantemente norte del viento en la zona de Tierra Amarilla, la pluma de polvo fino es levantada por el viento y luego desciende hacia el suelo del valle. Esto explica que el mayor aporte sea en Casa de Rubén, seguido de Campamento La Ballena y Parcela 15, mientras que el menor valor se presenta justamente en Placas Solares, el sitio más al sur con mediciones de MPS.

En el caso de las emisiones de la fundición Paipote, se trata de aportes menores al MPS, debido a que son emisiones por chimenea (de partículas de tamaños menores a las de polvo fugitivo) que se dispersan más eficientemente en el aire a medida que son transportados desde la fundición hacia el sur, siguiendo los vientos predominantes diurnos. Los sitios con mayores aportes están cercanos a los cerros del sector este del valle, por lo que pueden atribuirse a que la pluma de Paipote alcanza esos cerros y allí se deposita más MPS que en otros sectores por donde es transportada por el viento sin obstáculos.

Las siguientes figuras presentan la comparación entre MPS modelado y observado y los aportes de cada una de las tres fuentes relevantes al MPS, para los sitios y fechas en que se aplicó el modelo de receptor (51 muestras en total). En la figura 43 se aprecia que el modelo de receptor representa muy bien la variabilidad espacial y temporal del MPS en los sitios del monitoreo.

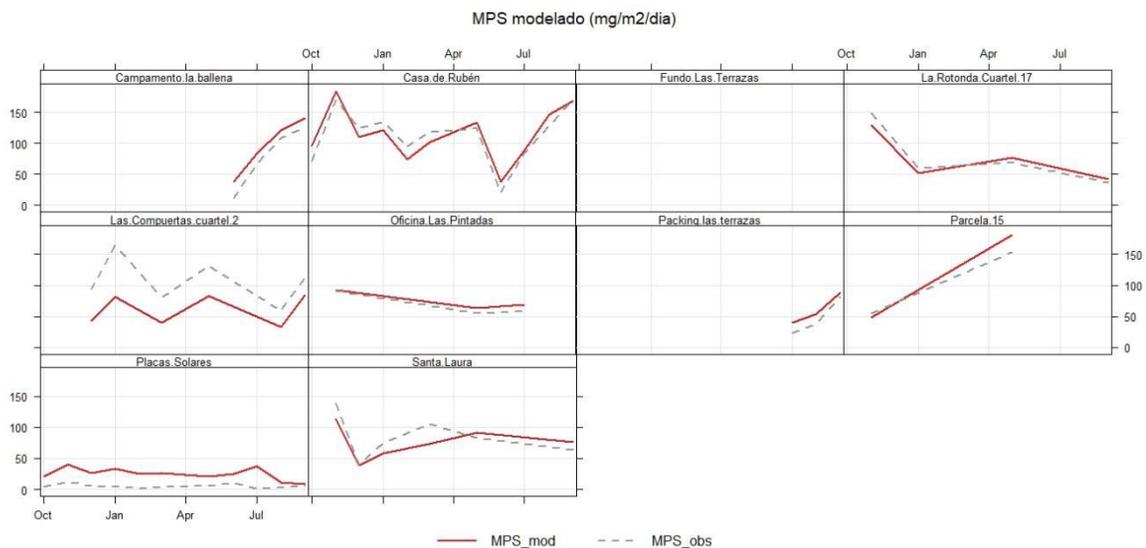


Figura 43. Comparación de MPS observado y modelado por UNMIX6.

En la Figura 44 se aprecia que el polvo fino proveniente de las emisiones de Candelaria domina ampliamente el aporte al MPS, excepto en el sitio 1 (Placas Solares), donde todos los aportes antropogénicos son bajos.

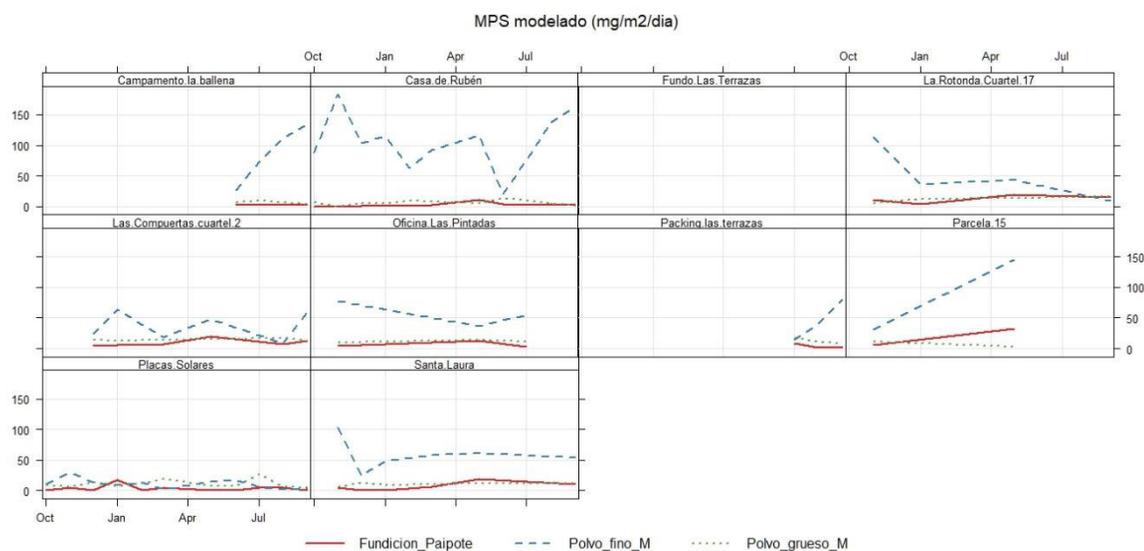


Figura 44. Aportes de fuentes al MPS.

5.3.7. Comparación entre estimaciones del modelo de receptor y del EIA Candelaria 2030 – Continuidad Operacional, para el MPS.

En esta sección hacemos una comparación de los resultados obtenidos con el modelo de receptor para el MPS aportado por esa actividad minera con respecto a lo informado en el EIA del Proyecto “Candelaria 2030 - Continuidad Operacional”. Para establecer esta comparación vamos a ocupar la siguiente información:

- i) MPS modelado en dicho EIA para el caso del Escenario Actual de Operación 2011 como para el Escenario Base 2011 (con las emisiones ambientalmente aprobadas). Esta información se presenta en el Adenda 3 del citado EIA (Apéndice 6 del Anexo Calidad del Aire, Figura 16), así como en la RCA del citado Proyecto, Resolución 133 de fecha 23 de julio 2015, donde se presenta los resultados de la modelación del MPS asociado exclusivamente a la operación actual de Mina Candelaria.
- ii) Los resultados de la Tabla 11 (modelo de receptor), ajustando los aportes de fuente por el ratio MPS observado / MPS modelado, de manera que los valores modelados coincidan con los observados en cada sitio de medición.

La siguiente Tabla presenta los resultados de la comparación de ambas cantidades. En primer lugar, la Figura 16 del citado EIA indica que los valores modelados del MPS disminuyen rápidamente con la distancia a las fuentes emisoras, de manera que los aportes actuales (año base 2011) de Minera Candelaria al MPS (modelados en el EIA) serían todos menores a 1 mg/m²/día, expresados como promedio anual.

Tabla 12.
Comparación valores promedio de aportes al MPS de Mina Candelaria en sitios de monitoreo (mg/m²/día) estimados por el modelo de receptor y por la modelación de calidad del aire presentada en el EIA “Candelaria 2030 – Continuidad de Operación”.

Sitio de monitoreo	Fuentes que contribuyen al MPS (mg/m ² /día)			Aporte de Mina Candelaria al MPS		
	Fundición Paipote	Polvo fino de Minería	Polvo grueso de Minería	Según modelo de receptor ⁽¹⁾	Según EIA Escenario 2011 A ⁽²⁾	Según EIA Escenario 2011 B ⁽³⁾
Casa de Rubén	2,7	103,5	6,4	110	<1	1 – 2
Fundo Las Terrazas	0,1	15,4	5,0	20	<1	<1
Packing las terrazas	2,8	35,8	9,3	45	<1	1 – 2
La Rotonda Cuartel 17	12,7	53,1	12,9	66	<1	10
Las Computas cuartel 2	16,4	65,6	25,0	91	<1	3
Oficina Las Pintadas	6,2	50,8	10,6	61	<1	3 – 4
Campamento la ballena	2,3	70,2	5,6	76	<1	1 – 2
Placas Solares	0,7	2,3	2,3	4,6	<1	<1
Santa Laura	7,9	65,0	11,5	76	<1	3
Parcela 15	17,2	79,8	6,9	87	<1	1 - 2

(1) Corresponde a la suma de aportes de polvo y polvo grueso estimados con el modelo de receptor.

(2) El escenario 2011 A corresponde a la condición de operación actual, con las emisiones atmosféricas de material particulado calculadas para la operación real de Mina Candelaria, año 2011. Fuente: Figura 16, página 17, Apéndice 6, Anexo 34 Calidad del Aire, EIA “Candelaria 2030 – Continuidad de Operación”, mayo 2014.

(3) El escenario 2011 B corresponde a usar las emisiones ambientalmente aprobadas para Mina Candelaria, año de operación 2011. Fuente: Figura 5, página 6, Apéndice 6, Anexo 34 Calidad del Aire, EIA “Candelaria 2030 – Continuidad de Operación”, mayo 2014.

Sin embargo, los valores aquí estimados con el modelo de receptor que son atribuibles a la actividad de Mina Candelaria superan ampliamente el valor de 1 mg/m²/día, como se puede constatar para todos los sitios de medición más cercanos a la actividad de Mina Candelaria.

Por lo tanto, los resultados de esta comparación indican que la modelación de aportes de MPS presentados en el EIA de dicha actividad minera subestima claramente los aportes actuales estimados mediante aplicación del modelo de receptor. Esto también es válido

para el escenario futuro (año 2020) del citado EIA, donde se estima en todos los sitios de monitoreo de MPS aportes de Mina Candelaria menores a 1 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$), lo que está en clara discrepancia con los resultados encontrados en el presente estudio.

6. Conclusiones

Este Informe Final reporta un análisis exhaustivo de los antecedentes recopilados del monitoreo ambiental (MP₁₀, meteorología y Material Particulado Sedimentable, MPS) llevado a cabo en una campaña de mediciones realizada en Tierra Amarilla entre septiembre 2017 y septiembre 2018.

Los datos del monitoreo continuo del MP₁₀, realizado por una EFTA durante septiembre a noviembre 2017 en Tierra Amarilla, muestran que los niveles promedio de MP₁₀ medidos (79 µg/m³) son elevados, y claramente mayores que los medidos en la ciudad de Copiapó. Al proyectar los datos diarios medidos (comparando con el monitoreo de MP₁₀ en Copiapó), es posible hacer un análisis de más largo plazo, incluyendo los años 2016 a 2018. Los resultados de este análisis evidencian que en la zona monitoreada se supera claramente la norma anual (50 µg/m³) y también la norma diaria (150 µg/m³), con una proyección trianual de 93 y 198 (µg/m³), respectivamente (Tabla 5). Además, el monitoreo muestra que se produce claramente un aumento de las concentraciones de MP₁₀ en las tardes, cuando los vientos son más intensos; asimismo las concentraciones mínimas de MP₁₀ se registran en las mañanas, simultáneamente con las bajas velocidades del viento a esas mismas horas; todo esto refleja un aporte dominante de emisiones fugitivas de MP₁₀ a las concentraciones ambientales del MP₁₀ allí medidas.

Complementario a lo anterior, se realizó el monitoreo de material particulado sedimentable (MPS) durante un año completo de mediciones. En esta campaña se pudo apreciar que los valores más bajos de masa sedimentada fueron medidos en el sitio 1, Placas Solares, donde el MPS observado no supera los 10 (mg/m²/día) durante todo el año. Esto confirma que esa elección de sitio como sitio de referencia basal (o *background*) ha sido una buena elección como sitio con bajo impacto de fuentes antropogénicas y que fundamentalmente refleja las condiciones base del desierto en la zona del estudio. Los sitios 4, 5, 7, 8 y 11 son los que presentan mayores cantidades de MPS, todos ellos están ubicados en un transecto que bordea el límite este y sur de la actividad de mina Candelaria.

De las 88 muestras de MPS presentadas en la Tabla anterior, 51 fueron enviadas al Wisconsin State Laboratory of Hygiene. Estos resultados permitieron estimar también la cantidad de depositación de elementos y de iones en los sitios de monitoreo. En primer lugar, los elementos de corteza tales como aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), titanio (Ti) y potasio (K), fueron los más abundantes entre los elementos medidos en la campaña, y sus valores más altos se presentaron en los sitios 4, 5, 7, 8 y 11, justamente aquellos más cercanos a la faena de mina Candelaria. En segundo lugar, al evaluarse la depositación de Cu, As, Pb, Mo y Zn, todos elementos asociados a mineral de cobre, los sitios con mayores valores de depositación también corresponden a aquellos más cercanos a la faena Candelaria. Además, los valores de estos metales depositados son mínimos en los sitios más al sur: Placas Solares y fundo Las Terrazas. Esto confirma que la fuente emisora se encuentra al norte de esos dos sitios y concuerda con la ubicación de la mina Candelaria.

Además, en esos mismos sitios es máxima la depositación de nitrato, un contaminante que se produce solamente a partir de óxidos de nitrógeno (NO_x) provenientes del consumo de combustibles fósiles, bajo condiciones de alta radiación solar que promueven una rápida oxidación atmosférica de NO_x a nitratos. Nuevamente, la única gran fuente de NO_x en la zona de estudio es la mina Candelaria, debido al elevado consumo de combustibles asociado a su operación continua (la Fundición Paipote no consume combustibles fósiles en magnitud relevante). Según la RCA vigente (página 123), las emisiones actuales de NO_x de Candelaria

Monitoreo y Análisis Ambiental en la Comuna de Tierra Amarilla

Informe Final

Página 54 de 62

Código V03: FI-A.01-DSA

son de 1935 t/año, y aumentarían a 2120 t/año en el escenario con expansión. Luego, la similitud de comportamiento temporal y espacial entre el nitrato y los elementos Cu, As, Pb, Mo y Zn, indica que ambos contaminantes provienen de la misma fuente, en este caso, mina Candelaria.

Por otra parte, en el EIA “Candelaria 2030 – Continuidad Operación” de dicha faena minera se reconoce que los impactos por MPS disminuyen rápidamente con la distancia a la fuente emisora; por lo tanto, no es posible que los impactos en depositación de Cu, As, Pb, Mo y Zn, medidos en la campaña aquí reportada, provengan de fuentes mineras más al norte de Candelaria, dada esta situación de variabilidad espacial del MPS (en otras palabras, las otras fuentes no podrían contribuir con aportes de MPS en los puntos de monitoreo de la campaña aquí reportada). Además, como el viento predominante es norte el 70% del tiempo, tampoco es posible que los altos impactos medidos en los sitios descritos en esta sección provengan de una actividad minera ubicada al SE de Nantoco (Planta Cerrillos), ya que en tal caso los elementos As, Mo, Pb y Zn con Cu no podrían ser máximos en el sitio 4, dada su lejanía y orientación con respecto a dicha actividad.

Se analizaron los datos de concentraciones de elementos y de iones en el MPS, empleando el modelo de receptor UNMIX, versión 6, desarrollado por la Environmental Protection Agency de EEUU² a las mediciones de composición química del material particulado sedimentable (MPS). Con este modelo fue posible estimar la presencia de cuatro fuentes de MPS en las muestras de MPS de la campaña de monitoreo:

- i. Una fuente que concentra la gran mayoría del níquel. Este metal es un trazador de la combustión de petróleo pesado, como fuel oil por ejemplo. En todo caso, esta fuente no contribuye a los niveles de MPS medidos en la campaña de monitoreo.
- ii. La segunda fuente tiene la mayoría de la concentración de sulfatos y una contribución menor de nitrato, así como azufre. Debido a esto, esta fuente se identifica principalmente con las emisiones de la fundición de cobre Paipote, ubicada al norte de la zona de monitoreo. Además, esta fuente no tiene concentraciones significativas de elementos de corteza (Al, Fe, Ca, Ti, K) ni de Cu en su composición química. Luego, se puede concluir que el modelo UNMIX ha podido identificar la fuente que corresponde a Paipote y, además, que desde el sector norte de la zona de estudio (donde está ubicado Paipote) no llegan elementos de corteza en cantidades significativas. En otras palabras, no aparece evidencia de transporte de emisiones de polvo fugitivo desde la zona al norte de Candelaria hacia los sitios de monitoreo de MPS.
- iii. La tercera fuente tiene las mayores concentraciones de nitrato y concentraciones relevantes de elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe). Dado que los nitratos solamente se pueden producir en zonas con altas emisiones de NOx (como mina Candelaria) y debido a la alta presencia de elementos de polvo superficial, a esta fuente la vamos a identificar como ‘polvo fino de minería’, ya que los nitratos normalmente se encuentran en tamaños menores a 10 µm.
- iv. La cuarta fuente contiene la mayor proporción en masa de elementos del suelo (Al, Ca, Ti, Fe, Sr), y la mayor proporción de azufre y cobre. Debido a estas características, a esta fuente la identificamos como ‘polvo grueso de minería’, ya que esos elementos del suelo son más abundantes a mayores tamaños de partícula.

² Disponible en: <https://www.epa.gov/scram/air-pollutant-receptor-modeling>

Posteriormente, se hizo el cálculo de los aportes de estas cuatro fuentes a las mediciones de MPS, empleando los resultados del modelo UNMIX, encontrándose que las fuentes 1 a 4 contribuyen (en promedio) con 0, 5,8, 57,0 y 9,9 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$) a las mediciones de MPS en la campaña de monitoreo.

Luego, en promedio la actividad de mina Candelaria aporta un 92% del MPS monitoreado en la campaña anual realizada en ocho sitios, lo que indica que esta fuente domina el MPS en los sitios de la campaña de mediciones, en particular aquellos más cercanos al perímetro de la propiedad de Candelaria. En el caso del polvo fino, el sitio que es más impactado no es el más cercano a la faena de mina Candelaria, sino que está al sur de ella. Debido a la dirección predominantemente norte del viento en la zona de Tierra Amarilla durante el día, la pluma de polvo fino emitida por Candelaria es levantada por el viento y luego desciende hacia el suelo del valle, ubicado a una cota menor de elevación que la faena de mina Candelaria. Esto explica que el mayor aporte sea en el sitio 4, seguido de aportes en los sitios 3 y 10, mientras que el menor valor se presenta justamente en el sitio 1, el sitio con mediciones de MPS más distante al sur de Mina Candelaria.

En el caso de las emisiones de la fundición Paipote, esta fuente contribuye con aportes menores al MPS, debido a que son emisiones por chimenea, de partículas de tamaños menores a $10 \mu\text{m}$, que se dispersan más eficientemente en el aire, a medida que son transportados desde la fundición hacia el sur, siguiendo los vientos predominantes con dirección norte. Los sitios con mayores aportes están cercanos a los cerros del sector este del valle, por lo que dichos aportes pueden atribuirse a que la pluma de Paipote alcanza la ladera de esos cerros y allí se estanca, depositando más MPS que en otros sectores del valle por donde la pluma es transportada por el viento hacia el sur sin presencia de obstáculos.

El aporte de mina Candelaria al MPS es máximo en el sitio 4, ubicado al sur de dicha actividad minera (donde alcanza un promedio anual de $112 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{día}$), seguido en importancia de otros sitios agrícolas (5, 7, 8, 10 y 11) cercanos a dicha actividad minera. El modelo de receptor también predice que esos aportes se van reduciendo en magnitud a medida que aumenta la distancia hacia al sur del límite de la mina Candelaria, siendo mínimos en el sitio 1, el que está ubicado más al sur de mina Candelaria. Este comportamiento espacial es concordante con las condiciones meteorológicas (predominio de viento norte durante todo el día) y con el hecho que el MPS depositado de una gran fuente emisora de área disminuye con la distancia a dicha fuente.

Se compararon los resultados de los aportes estimados de Mina Candelaria al MPS, obtenidos con el modelo de receptor en los sitios de monitoreo, con las predicciones presentadas por Minera Candelaria en el EIA de su Proyecto "Candelaria 2030 – Continuidad Operación". La Tabla 12 muestra claramente que los aportes estimados por el modelo de receptor en los sitios de monitoreo (con un promedio de $64 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{día}$) son considerablemente mayores que los reportados en dicho EIA, tanto para el escenario Actual 2011 (donde en promedio se estiman estar por debajo de $1 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{día}$) como para el escenario Base 2011 (con emisiones ambientalmente aprobadas, con un promedio alrededor de $2 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{día}$).

Aun cuando se considerase un error típico de un factor de 2 para el modelo de receptor (y algo similar para el modelo de dispersión empleado en el EIA), subsisten diferencias enormes entre ambas metodologías de estimación de impactos por MPS. Además, los resultados del modelo de receptor indican claramente que los impactos mayores se producen hacia el sur de la actividad de Mina Candelaria, lo que es consistente con la rosa de los vientos (con vientos predominantemente norte todo el año) y con la intensidad del viento por las tardes,

que facilita el transporte de emisiones fugitivas de polvo hacia el sur de Mina Candelaria. La conclusión es que los impactos estimados en el EIA asociados a la actividad de Mina Candelaria fueron claramente subestimados.

Por lo anterior, los sectores agrícolas más cercanos a mina Candelaria son los más afectados por la depositación de MPS proveniente de esa actividad minera. Dado que la actividad de mina Candelaria se va a expandir hacia el sur de su ubicación actual, aumentando las emisiones de polvo fugitivo en esa zona (antes no había allí tantas emisiones) entonces se concluye que los aportes de Candelaria al MPS en la actividad agrícola aumentarían en magnitud, hacia el sur de la ubicación actual de la mina. En contraste, el EIA del Proyecto “Candelaria 2030 – Continuidad Operación” sostiene que en el escenario futuro (año 2020), todos los sitios de monitoreo de MPS estarían con aportes de Mina Candelaria bajo $1 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, incluso aquellos hacia el sur de Mina Candelaria, lo que está en clara contradicción con los resultados presentados en este Estudio, que señalan que los impactos 2017-2018 de MPS de Mina Candelaria en todos los sitios de monitoreo cercanos a dicha actividad superan ampliamente esas estimaciones del citado EIA. Por lo tanto, concluimos que no es posible que la futura operación de Mina Candelaria cumpla con el compromiso (señalado en la RCA respectiva) de no exceder los $25,3 \text{ (mg/m}^2/\text{día)}$ como promedio anual ni tampoco los $32,3 \text{ (mg/m}^2/\text{día)}$ como promedio mensual, ya que ambos valores están actualmente excedidos en varios de los sitios de monitoreo de MPS.

En la zona de Tierra Amarilla, la campaña de monitoreo continuo realizada el año 2017 mostró que esa zona está saturada para la norma anual de MP_{10} , y que dichas concentraciones están dominadas por emisiones fugitivas de MP_{10} . Dado que mina Candelaria es la fuente dominante de emisiones fugitivas de material particulado total (MPS) en la zona de monitoreo, entonces se concluye que mina Candelaria también es una fuente relevante de aportes al material particulado respirable (MP_{10}) en la zona de Tierra Amarilla. En efecto, dado que el monitoreo de MPS y su reparto de fuentes (mediante modelo de receptor) indica que se están subestimando los impactos por MPS, podemos concluir también que se están subestimando los aportes de Mina Candelaria al MP_{10} en Tierra Amarilla, ya que se trata del mismo modelo de dispersión y las mismas fuentes emisoras consideradas en la modelación presentada en el EIA “Candelaria 2030 – Continuidad Operación”.

Los valores proyectados estadísticamente para el sitio de monitoreo en Tierra Amarilla (usando como referencia el monitoreo oficial del MMA en Copiapó) para el periodo 2016-2018 indican que se superaría la norma anual y diaria de MP_{10} en dicho sitio de monitoreo (Tabla 5). Estos valores son consistentes con monitoreo reportado para Tierra Amarilla en el SEIA en años anteriores (Fuente: RCA 133, Copiapó, 23 de julio 2015), lo que valida la metodología estadística aplicada en este informe.

En resumen, en la zona de Tierra Amarilla, mina Candelaria es una fuente de emisiones dominante para el MPS y relevante para el MP_{10} . Este resultado se ha verificado para un año completo de datos de MPS medidos en esa zona, los que han sido analizados químicamente en EEUU y procesados mediante un modelo de receptor recomendado por la Agencia de Protección del Ambiente de EEUU (US EPA).

7. Bibliografía

- ASTM D1739-98 “Método de Prueba Estándar para la Recolección de la Caída de Polvo (Material Particulado Sedimentable)”.
- EIA Proyecto “Candelaria 2030 – Continuidad Operación”, disponible a través del SEIA.

8. Anexos

8.1. Imágenes del polvo emitido por la actividad minera en el valle



Figura 46. Imagen tomada desde la estación de Oficina las Pintadas, detonación de la minera durante el mes de enero 2018 aproximadamente a las 12:30 PM.



Figura 47. Imágenes captadas desde la estación ubicada en la oficina Las Pintadas, en el mes de enero de 2018.



Figura 48. Imagen tomada desde las oficinas de Frutícola y Exportadora Atacama, en el mes de diciembre de 2018.



Figura 49. Nube de polvo en suspensión proveniente de la Minera Candelaria en la carretera C-411. Imágenes tomadas desde la carretera, en dirección a oficina Las Pintadas, en frente del sitio 4 (Casa de Rubén), durante el mes de marzo 2018.



Figura 50. Estela de polvo proveniente de las actividades de la minería en la carretera C-411. Imagen tomada de las afueras del sitio 4 (Casa de Rubén), durante el mes de septiembre 2018.

La presente copia de escritura pública es testimonio fiel de su original, que se encuentra inserto en el protocolo que he tenido a la vista, correspondiente a la notaría FELIX JARA CADOT, de fecha 24-05-2012, repertorio 15556, y que corresponde a MANDATO.

Certifico que al margen de la matriz de la escritura que da cuenta esta copia, a esta fecha, no hay nota alguna que revoque o deje sin efecto, tanto el mandato como poderes, y/o la delegación de estos. A la vez certifico que no hay nota alguna que revoque, rescilie o deje sin efecto, el acto que da cuenta la presente copia.




Julian Andres Miranda Osses
Archivero Titular

Firmado electrónicamente con fecha 21 de agosto de 2020 en Santiago.

Documento emitido con Firma Electrónica Avanzada.- Ley N° 19.799 - Auto acordado de la Excm. Corte Suprema de Chile, con fecha 10 de Octubre de 2006.-
VERIFIQUE EN www.ajs.cl ingresando el código : **CV_1M3Q2P-W23734**



FELIX JARA CADOT
 NOTARIO PUBLICO
 41 NOTARIA DE SANTIAGO
 HUERFANOS 1160 - LOCALES 11 - 12
 ☎ 674 46 00 - FAX: 695 84 45
 CASILLA 74-D - SANTIAGO
 E-Mail: info@notariafjc.cl

GCA

REP. N° 15556-2012

1MAraya/Alvaro/judicial fruticola atacama ltda-leiva



Documento emitido con Firma Electrónica Avanzada.- Ley N° 19.799 - Auto acordado de la Excm. Corte Suprema de Chile, con fecha 10 de Octubre de 2006.-
 VERIFIQUE EN www.ajs.cl ingresando el código CVN-1M3Q2P-W23734

Julian Miranda Osses
 Archivo Judicial De Santiago

MANDATO JUDICIAL

FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA LIMITADA

A

SEBASTIÁN LEIVA ASTORGA Y OTRO



COPIA CERTIFICADA

EN SANTIAGO DE CHILE, el día *veinticuatro* del mes de *Mayo* del año dos mil doce, ante mí, FÉLIX JARA CADOT, Notario Público Titular de la Cuadragésima Primera Notaría de Santiago, ubicada en Huérfanos mil ciento sesenta, local doce, Santiago, comparece: Don **SERGIO ALEJANDRO RUIZ-TAGLE CORREA**, chileno, casado, ingeniero agrónomo, cédula nacional de identidad número [REDACTED]



[REDACTED] en representación según se acreditará de **FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA LIMITADA**, empresa del giro de su denominación, Rol Único Tributario número [REDACTED]

[REDACTED] ambos domiciliados en Avenida Las Condes número once mil trescientos ochenta, oficina ciento dos, comuna de Vitacura, Santiago. El compareciente, mayor de edad, quien acredita su identidad con la cédula citada y expone: **PRIMERO**: Que en la representación que inviste, por el presente instrumento viene en conferir mandato judicial a los abogados don **SEBASTIÁN LEIVA ASTORGA**, chileno, casado, abogado, Cédula Nacional de Identidad número [REDACTED]

[REDACTED] y don **ÁLVARO VARAS DEL CANTO**, chileno, soltero, abogado, Cédula Nacional de Identidad número [REDACTED]

[REDACTED] todos domiciliados en calle Cruz del Sur número ciento treinta y tres, oficina novecientos tres, comuna de Las Condes, Santiago, para que asuman la representación **FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA LIMITADA**, en todo juicio o gestión extrajudicial, de cualquier clase o naturaleza, sea que se encuentre pendiente o se suscite en el futuro, ante cualquier tribunal, o sede administrativa, arbitral y de cualquier otra naturaleza; con la especial limitación de no poder contestar demandas nuevas ni

COPIA CERTIFICADA

FELIX JARA CADOT
 NOTARIO PUBLICO
 41 NOTARIA DE SANTIAGO
 HUERFANOS 1160 - LOCALES 11 - 12
 ☎ 674 46 00 - FAX: 695 84 45
 CASILLA 74-D - SANTIAGO
 E-Mail: info@notariafjc.cl

ser emplazado en gestión judicial alguna por sus mandantes, sin previa notificación personal del compareciente. **SEGUNDO:** Se confieren asimismo las facultades de ambos incisos del artículo séptimo del Código de Procedimiento Civil, y, especialmente, las facultades de desistirse en primera instancia de la acción deducida, aceptar la demanda contraria, absolver posiciones, renunciar los recursos y los términos legales, transigir, comprometer, otorgar a los árbitros facultades de arbitradores, aprobar convenios, cobrar y percibir. Los mandatarios podrán representar a la mandante en todas las gestiones extrajudiciales, negociaciones y cobranzas, asimismo en todos los juicios, gestiones judiciales en que tenga interés actualmente o lo tuviere ante cualquier Tribunal del orden judicial, de compromiso, administrativo y en juicio de cualquier naturaleza, así intervenga la mandante como demandante, demandada, tercerista, coadyuvante, excluyente, querellante, querellada o a cualquier otro título o en cualquier otra forma, hasta la completa ejecución de la sentencia. **TERCERO:** Se faculta expresamente a los mandatarios para nombrar abogados patrocinantes y apoderados con todas las facultades que por este instrumento se le confieren y pudiendo delegar este poder y reasumirlo cuantas veces lo estimen conveniente. **CUARTO:** La personería de don SERGIO ALEJANDRO RUIZ-TAGLE CORREA para actuar en representación de FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA *diecisiete de Mayo del año dos mil diez,* LIMITADA, consta en escritura pública de fecha ~~(siete~~ de junio de



COPIA CERTIFICADA

Documento emitido con Firma Electrónica Avanzada.- Ley N° 19.799 - Auto acordado de la Excm. Corte Suprema de Chile, con fecha 10 de Octubre de 2006.-
 VERIFIQUE EN www.ajs.cl ingresando el código :CV_1M3Q2P-W23734



REP.N* 15556 del 24 Mayo 2012

mil novecientos ochenta y tres,) celebrada ante el Notario Público
Patricio Zaldívar Mackenna,
de Santiago, don ~~Hugo Figueroa Figueroa,~~ la que no se inserta
por ser conocida del compareciente y del Notario que autoriza.

En comprobante, firma previa lectura el compareciente. Se dio
copia. Se anotó en el repertorio con el número antes señalado.

Doy fe. *Entrelíneas:* "diecisiete de Mayo del año dos mil diez,",
"Patricio Zaldívar Mackenna". Valen. Doy fe. *Entreparéntesis:* desde
la palabra "siete" hasta la palabra "tres,", y desde la palabra
"Hugo" hasta la palabra "Figueroa". No valen. Doy fe.

SERGIO ALEJANDRO RUIZ-TAGLE CORREA

C.I. [REDACTED]

p.p. FRUTÍCOLA Y EXPORTADORA ATACAMA LIMITADA

RUT. [REDACTED]

DERECHOS S. [REDACTED]