



UNIVERSIDAD DE CHILE- FACULTAD DE CIENCIAS- ESCUELA DE PREGRADO

“CARACTERIZACIÓN DE POLVO NEGRO EN LA COMUNA DE HUASCO, III REGIÓN”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Tamara Ivana Ortiz Poblete

Director de Seminario de Título: Dra. Isel Cortés Nodarse

Mayo de 2018

Santiago – Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el Sr(ta):

TAMARA IVANA ORTIZ POBLETE

“CARACTERIZACIÓN DE POLVO NEGRO EN LA COMUNA DE HUASCO, III
REGIÓN”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental.

Dra. Isel Cortés Nodarse
Director Seminario de Título

Comisión Revisora y Evaluadora

Dr. Antonio Galdamez
Presidente Comisión

Dr. Álvaro Aliaga
Evaluador

Santiago de Chile, Mayo de 2018

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi familia: mis padres y hermano, por ser el pilar fundamental de mi vida, por mantenernos unidos a pesar de todas las circunstancias, y por su apoyo incondicional en cada paso que he avanzado a lo largo de este proceso, y de mi corta vida.

Agradezco también a mis amigos de la universidad, por tantos momentos vividos, y por las interminables noches de estudio, que siempre conllevaban risas y diversión, a pesar del estrés. Nunca dejamos de buscar un lugar, un momento, y sobraban motivos, para juntarnos y disfrutar de la vida. No me arrepiento de nada de lo que hice y viví en este proceso.

Además, agradezco enormemente a la Profesora Isel Cortés, por su disposición, y recibimiento en CENMA, y darme la oportunidad de realizar mi seminario.

A Patricia Ayala, por ayudarme siempre y enseñarme mucho a lo largo de mi estadía en el laboratorio, y a todo el equipo del laboratorio de química ambiental en CENMA, que me recibieron de muy buena manera, y tuvieron una excelente disposición conmigo.

Agradezco a los profesores de la facultad por todos sus conocimientos entregados.

A Marisol, nuestra secretaria, le agradezco toda la paciencia, empatía, y cariño que nos ha entregado durante todos estos años, su profesionalismo y enorme calidad humana.

Por último, agradezco a la vida, porque todas las pruebas puestas en mi camino para surgir, han hecho de mí una mejor persona.

“Aquel que tiene un porqué para vivir se puede enfrentar a todos los cómo”
Nietzsche.

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Mi nombre es Tamara Ivana Ortiz Poblete. Desde pequeña me incliné por la ciencia. Mis primeros estudios fueron en un colegio municipal de Pudahuel hasta 8vo básico, el honorable Antilhue, luego ingresé en el 2005 al emblemático Liceo N°1 Javiera Carrera, en el cual desarrollé una capacidad e inclinación especial hacia la Química.

Una vez finalizado el hermoso periodo en este liceo, tenía la incertidumbre de estudiar algo relacionado a la química, como ingeniería forestal, química civil, y hasta nutrición (gracias a la diabetes que poseo desde los 13 años), hasta que en último minuto noté un stand de Química Ambiental en Casa Central, por la cual opté de inmediato, y gracias a Dios y a la vida, logré ingresar a la Universidad de Chile.

Si bien tuve altos y bajos durante mi periodo universitario, rescato lo positivo, y el aprendizaje obtenido. La carrera me impuso metas personales y profesionales que pude cumplir, y resultó ser lo que esperaba, sobre todo al momento de realizar este seminario y poder ejercerla, donde se tiene una visión más clara de lo que realizamos los Químicos Ambientales y el gran aporte que podemos dar a este mundo como profesionales.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	ii
BIOGRAFÍA DEL AUTOR.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iv
INDICE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGNIFICADOS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes Generales.....	1
1.1.1. Polvo negro y su definición	1
1.1.2. Fuentes Antropogénicas de polvo negro en el norte de Chile.....	2
1.1.3. Descripción Geográfica de Huasco.....	3
1.1.3.1. Sistema físico-natural de Huasco	4
1.1.3.2. Principales actividades en la zona (Walker y col. 1998)	7
1.1.4. Red de monitoreo de la zona.....	10
1.1.5. Importancia de la composición del Material Particulado.....	11
1.1.6. Marco legal de Material Particulado.....	20
1.2 Antecedentes específicos	24

1.2.1.	Zona de estudio	24
1.2.2.	Investigación preliminar de la presencia de polvo negro en la zona.....	26
1.2.2.1.	Análisis de la composición de polvo sedimentado	26
1.2.2.2.	Estudios de calidad de aire y fuentes emisoras	27
1.2.2.3.	Análisis en la cuenca del rio Huasco.	30
1.2.2.4.	Metales en sedimentos fluviales en la cuenca del Río Huasco.....	31
1.3.	Objetivos	33
1.3.2.	Objetivo General	33
1.3.3.	Objetivos específicos	33
II.	METODOLOGIA	34
2.1	Materiales y método.....	34
2.1.1.	Toma de muestras	34
2.1.1.1.	Muestreo de MPS.	35
2.1.1.2.	Muestreo de polvo depositado superficialmente.....	36
2.1.1.3.	Muestreo de suelo superficial	36
2.1.1.4.	Muestreo de Suelo de áreas background.	37
2.1.1.5.	Muestreo de sedimentos fluviales.....	38
2.1.1.6.	Muestreo de agua superficial	38
2.1.2.	Procedimientos y análisis de muestras.....	39
2.1.3.1.	Determinación de Material Particulado Sedimentable insoluble.....	39
2.1.3.2.	Determinación de material particulado sedimentable soluble.	41
2.1.3.3.	Determinación de metales por ICP.	42
2.1.3.4.	Preparación de muestras para determinación de metales en MPS insoluble por ICP.	45
2.1.3.5.	Preparación de muestras para determinación de metales en MPS soluble por ICP.	45
2.1.3.6.	Preparación de muestras para determinación de metales en polvo depositado, suelo superficial, sedimentos fluviales y agua superficial por ICP.....	45
III.	RESULTADOS Y DISCUSION	49

3.1	Figuras de concentración de MPS	49
3.2.	Metales pesados en Material Particulado Sedimentable (MPS)	52
3.3.	Metales en polvo negro depositado superficialmente.	53
3.3.1	Valores EMEG para polvo depositado superficialmente	61
3.4.	Metales en suelo superficial y suelos background.	62
3.4.1.	Valores EMEG para suelo.....	66
3.5.	Sedimentos fluviales	68
3.6.	Agua superficial.....	74
IV.	CONCLUSIONES.....	76
V.	BIBLIOGRAFIA	78

INDICE TABLAS

- Tabla 1.** Límites de la Norma de Calidad Primaria para MP₁₀ en el Aire.
- Tabla 2.** Límites de la Norma de Calidad del Aire para MPS
- Tabla 3.** Límites de la Norma de Calidad del Aire para Fe en MPS.
- Tabla 4.** Valores guía recomendados de algunos metales para la evaluación de calidad de sedimentos.
- Tabla 5.** Valores EMEG para infantes, niños y adultos de contaminantes metalicos.
- Tabla 6.** Descripción de los tipos geológicos de suelo, en la zona de estudio
- Tabla 7.** Resumen metodología analítica utilizada en este proyecto.
- Tabla 8.** Parámetros analíticos del método.
- Tabla 9.** Valor máximo de contaminantes de interés en polvo depositado y su comparación con valores EMEG.
- Tabla 10.** Valores promedio de concentración de metales (mg/kg) en suelo superficial, para diferentes sectores de la zona de estudio.
- Tabla 11.** Estadística descriptiva de los metales en suelos background de la zona de estudio.
- Tabla 12.** Valores promedio (mg/kg) de metales en suelo en los diferentes sectores de la zona de estudio, comparados con los niveles background de la zona de estudio.
- Tabla 13.** Valores máximos [mg/kg] de metales en sectores de estudio y su comparación con el valor EMEG para infantes.
- Tabla 14.** Valores máximos [mg/kg] de metales en sectores de estudio y su comparación con el valor EMEG para niños.
- Tabla 15.** Valores máximos [mg/kg] de metales en los sectores de estudio y su comparación con el valor EMEG para adultos.
- Tabla 16.** Metales totales [mg/L] en muestras de agua superficial.
- Tabla 17.** Ubicación de los muestreadores de MPS instalados.
- Tabla 18.** Distancia y posición relativa de los diferentes muestreadores respecto de puntos de interés en la zona.
- Tabla 19.** Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los 15 puntos donde se instalaron equipos para coleccionar muestras.
- Tabla 20.** Valores promedio mensual de MPS en la cuenca del Río Huasco, obtenidos en este estudio.
- Tabla 21.** Concentración (mg/kg) para los metales Cd, Zn, Cr, As en MPS insoluble y en MPS soluble.
- Tabla 22.** Concentración (mg/kg) para los metales Cu, Ni, Pb, Se en MPS insoluble y en MPS soluble
- Tabla 23.** Concentración (mg/kg) para los metales Ba, Co, Mo, Be en MPS insoluble y en MPS soluble
- Tabla 24.** Concentraciones de metales (mg/kg) en las muestras de polvo depositado.

Tabla 25. Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo urbano de la ciudad de Vallenar.

Tabla 26. Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo que se encuentra a 5 m del suelo.

Tabla 27. Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del material que cae del tren de Ferronor.

Tabla 28. Concentración de metales (mg/kg) en sedimentos fluviales

Tabla 29. Concentración de metales totales (mg/L), Cd, Zn, Cr, As en aguas superficiales

Tabla 30. Concentración de metales totales (mg/L), Cu, Ni, Pb, Al, Se en aguas superficiales.

Tabla 31. Concentración de metales totales (mg/L), Mn, Ag, V, Ba, Co en aguas superficiales.

Tabla 32. Concentración de metales totales (mg/L), Mo, Be, B, Fe en aguas superficiales.

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa de ubicación comuna de Huasco
- Figura 2:** Rosa de los vientos (2015-2016), Estacion Huasco Sivica
- Figura 3:** Ubicación relativa de los muestreadores de MPS para la red CMP fiscalizada por SAG en el Valle del Huasco.
- Figura 4:** Zona de estudio del presente proyecto
- Figura 5:** Mapa con la ubicación de todos los muestreadores de MPS instalados por CENMA para este estudio, desde Huasco hasta Vallenar.
- Figura 6:** Ubicación de los puntos de muestreo de polvo depositado.
- Figura 7:** Ubicación de los puntos de muestreo de suelo superficial considerados en este estudio.
- Figura 8:** Ubicación de puntos de muestreo para los niveles background.
- Figura 9:** Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos fluviales
- Figura 10:** Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial
- Figura 11:** Resumen metodología de Material Particulado Sedimentable
- Figura 12:** Esquema de un sistema de introducción de muestras liquidas en ICP-OES.
- Figura 13:** Equipo Perkin Elmer modelo Óptima 8300.
- Figura 14:** Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los puntos correspondientes a diciembre.
- Figura 15:** Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los puntos correspondientes a enero.
- Figura 16:** Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los puntos correspondientes a febrero.
- Figura 17:** Valores promedio mensual de MPS de los puntos de muestreo respecto al límite establecido en el D4/92.
- Figura 18:** Promedio total mensual de MPS insoluble de la cuenca del Rio Huasco, para los 3 meses respecto al limite establecido en el D4/92.
- Figura 19:** Concentración de Cd (mg/kg) en polvo depositado.
- Figura 20:** Concentración de Fe (mg/kg) en polvo depositado.
- Figura 21:** Concentración de V (mg/kg) en polvo depositado.
- Figura 22:** Concentración de Pb (mg/kg) en polvo depositado.
- Figura 23:** Concentración de Mn (mg/kg) en polvo depositado.
- Figura 24:** Concentración de Cu (mg/kg) en polvo depositado.
- Figura 25:** Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo urbano de la ciudad de Vallenar.
- Figura 26:** Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo que se encuentra a 5 m del suelo.
- Figura 27:** Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del material que cae del tren de Ferronor

Figura 28: Valores de Cd [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 29: Valores de Zn [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 30: Valores de Cr [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 31: Valores de Cu [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 32: Valores de Ni [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 33: Valores de Pb [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 34: Valores de Mn [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Figura 35: Valores de Fe [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGNIFICADOS

ASTDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
CAP	Compañía de Acero del Pacífico S.A
CBSQGs	Consensus-Based Sediment Quality Guidelines
CENMA	Centro Nacional de Medio Ambiente
EMEG	Valores Guía de Evaluación de Medios Ambientales
EMRP	Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional
INIA	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
MP	Material Particulado
MPS	Material Particulado Sedimentable
MRL	Minimal Risk Levels
PEC	Probably Effect Concentration
SAG	Servicio Agrícola Ganadero
SINCA	Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire
SPPC	Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes
TEC	Thereshold Effect Concentration
USEPA	United States Environmental Protection Agency

RESUMEN

La comuna de Huasco, con una importante actividad portuaria-minera, ha estado expuesta a los efectos que ello conlleva.

Debido a los antecedentes sobre polvo negro en Huasco, es necesario conocer la composición fisicoquímica de este, y si sus fuentes emisoras son antropogénicas o naturales propias de la zona.

Mediante un muestreo durante 3 meses, se obtuvo muestras de Material Particulado Sedimentable (MPS), polvo depositado, suelo superficial, sedimentos fluviales y agua superficial.

Se determinó la cantidad (masa) de MPS soluble, insoluble y total, así como también, la determinación de metales pesados en MPS, polvo depositado, suelo superficial y sedimentos fluviales, mediante digestión ácida asistida por microondas (protocolo USEPA 3052) y cuantificación por ICP-AES (protocolo USEPA 6010C). Además, la determinación de metales pesados en agua superficial, se realizó mediante el método de análisis de Norma Chilena Oficial 2313/25.Of97 Aguas residuales, por ICP-AES (basado en Standard Methods 3120).

Se utilizó referencia internacional basada en CBSQGs, para analizar concentraciones de metales existentes en sedimentos fluviales, así como Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales (EMEG) propuestos por la ATSDR, para analizar la concentración de metales en polvo depositado y suelo superficial.

El MPS insoluble presentó concentraciones de Cd, Zn, Cr, Cu, As, V, Ni, Pb, Co, Mo, B, Fe, Al, Mn, Ba. La mayoría de las concentraciones de metales, fue alta en todos los puntos de muestreo.

Los metales Fe, Mn, V, Zn presentaron las mayores concentraciones en el polvo negro depositado en la zona de estudio, en especial Fe, con altas concentraciones en todos los puntos de muestreo. Además, este fue mucho más concentrado en Cd, Pb, Fe y V que el polvo que se encuentra a 5 m de altura (sector industrial), y fue prácticamente de igual concentración que la muestra (de material) caída del tren, en Cd, Ni, Mn, V, Co y Fe.

Cd, Pb, V, Fe en suelo superficial, superaron el nivel background en la ciudad de Huasco y la zona industrial. Mientras que Ni y Ba solo en la zona industrial.

Cd, Cr, Cu, y V, al ser comparados con los valores EMEG, resultaron ser contaminantes potenciales e importantes en polvo depositado y en suelo superficial, tanto para infantes como para niños.

En las muestras de sedimentos fluviales se obtuvo que, Cd, Mn y Fe excedieron el valor TEC y PEC, mientras que Cu solo el valor TEC, y las concentraciones de metales en aguas superficiales resultaron muy bajas, por lo que no se relacionan con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.

Dados los antecedentes existentes y los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que existe presencia de polvo negro por fuentes antropogénicas en Huasco, las cuales corresponden a la Central Termoeléctrica Guacolda y el complejo perteneciente a CAP

ABSTRACT

The Huasco commune, with an important port-mining activity, has been exposed to effects that this entails.

Due to the precedents of black dust existence in Huasco, it's necessary to know the physicochemical composition of this, and if it's emitting sources are anthropogenic or natural of the area.

Through sampling for 3 months, Sedimentable Particulate Material (MPS), deposited dust, surface soil, fluvial sediments and surface water, samples were obtained.

The amount (mass) of soluble, insoluble and total MPS was determined, as well as the determination of heavy metals in MPS, deposited dust, surface soil and fluvial sediments, by microwave-assisted acid digestion (USEPA 3052 protocol) and quantification by ICP-AES (USEPA 6010C protocol). In addition, the determination of heavy metals in surface water was carried out using the analysis method of Official Chilean Standard 2313 / 25.Of97 Wastewater, by ICP-AES (based on Standard Methods 3120).

The international reference based on CBSQGs was used to analyse concentrations of metals existing in fluvial sediments, as well as the Environmental Media Evaluation Guide (EMEG) proposed by the ATSDR, to analyse the concentration of deposited dust and soil superficial metals.

The insoluble MPS showed concentrations of Cd, Zn, Cr, Cu, As, V, Ni, Pb, Co, Mo, B, Fe, Al, Mn, Ba. Most metal concentrations were high at all sampling points.

Fe, Mn, V, Zn presented the highest concentrations in black powder deposited in the studied area, especially Fe, with high concentrations in all the sampling points. In addition, this was much more concentrated in Cd, Pb, Fe and V than the dust located 5 m above the ground (the industrial sector), and was practically of equal concentration that the sample (of material) falls of the train, in Cd, Ni, Mn, V, Co and Fe.

Cd, Pb, V and Fe in surface soil exceeded the background level in the city of Huasco and the industrial zone. While Ni and Ba only in the industrial zone.

Cd, Cr, Cu, and V, compared with EMEG values, turned out to be potential and important contaminants in deposited dust and superficial ground, both for infants and children.

Fluvial sediments samples showed that Cd, Mn and Fe exceeded TEC and PEC values, whereas Cu only exceeded TEC value, and metals concentrations in superficial waters were very low, therefore these aren't related to the presence of black dust in Huasco.

Given the precedents and results obtained in this study, it's concluded that there is a presence of black dust by anthropogenic sources in Huasco, which correspond to Guacolda Thermoelectric Power Plant and the complex belonging to CAP.

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1. Polvo negro y su definición

El aerosol atmosférico (del griego *sol*: suelo y *aero*: aire), referido a partículas sólidas y/o líquidas suspendidas en el aire, define uno de los componentes principales de la atmósfera troposférica, siendo las partículas sólidas denominadas genéricamente como material particulado (MP) o material sólido en suspensión.

El MP se incorpora a la atmósfera mediante procesos naturales de tipo físico, químico o biológico, o mediante el resultado de emisiones provenientes de la actividad antropogénica (Morales, R., 2006).

El material particulado, para efectos regulatorios, se clasifica según su diámetro aerodinámico, debido, principalmente, a que la probabilidad y el depósito en el tracto respiratorio, están determinados por el tamaño de las partículas. Internacionalmente, son reconocidas dos medidas de diámetro del material particulado objeto de regulación: el MP10 y MP 2,5.

En el MP10, se puede distinguir una fracción gruesa, entre 2,5 y 10 micrones y una fracción fina, que considera las partículas menores a 2,5 micrones (conocido como MP2,5). La fracción fina, está compuesta por partículas suficientemente pequeñas, para

penetrar en las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones y los alvéolos. (CONAMA, 2010 a)

Las partículas cuyas dimensiones oscilan entre 1nm (0,001 μm) y 0,1 μm de diámetro aerodinámico, por lo general, se pueden formar a partir de metales pesados emitidos directamente a la atmosfera por actividades industriales de fundición. Otras pocas, son emitidas como partículas de carbono elemental (hollín o carbón negro), las que se forman durante procesos de combustión incompleta (pirolisis). (Morales, R., 2006).

Es pocas palabras, se conoce como hollín o polvo negro (Eblen, R.A., 1994), a la materia particulada (MP) producida como resultado de la combustión incompleta de un hidrocarburo.

1.1.2. Fuentes Antropogénicas de polvo negro en el norte de Chile

Las principales fuentes emisoras de contaminantes, pueden ser clasificadas, según sus características en fuentes fijas, móviles y fugitivas. Las fuentes fijas consideran las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales, ya sea para la generación de energía, calor o vapor y otros procesos industriales, como por ejemplo la fundición del cobre. También incluyen las emisiones generadas por la quema de otros combustibles como la biomasa, asociada a la calefacción de viviendas.

Las fuentes móviles corresponden a las emisiones provenientes de los gases de escape, desgaste de frenos y neumáticos, de distintos tipos de transporte: automóviles, camiones, buses y motocicletas.

Las fuentes fugitivas, consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como de la construcción, demolición, entre otras. El material particulado asociado a este tipo de fuentes corresponde principalmente a partículas gruesas, siendo prácticamente el 90% mayores a 2,5 micrómetros (μm). (Chow y Watson, 1998).

Las ciudades de la zona norte no registrarían niveles tan elevados de MP_{2,5} a nivel anual, debido a que las principales fuentes de emisión de material particulado, en dicha zona, corresponden a procesos de la industria minera, la cual registra un mayor aporte de material particulado grueso (Kavouras, Koutrakis et al., 2001). No obstante lo anterior, algunas ciudades con más presencia de actividades como generación termoeléctrica o fundiciones de cobre, presentan niveles más elevados en comparación a otras ciudades del norte que no cuentan con este tipo de iniciativas. (MMA, 2011)

1.1.3. Descripción Geográfica de Huasco

Huasco es una comuna y ciudad portuaria chilena, ubicada al oeste de la provincia, valle y río del mismo nombre. La comuna de Huasco está conformada por dieciocho localidades entre ellas Huasco, Huasco Bajo, Canto de Agua y Carrizal Bajo. Es administrada por la Ilustre Municipalidad de Huasco y limita al norte con la comuna de Copiapó, al sur con la comuna de Freirina, al este con las comunas de Freirina y Vallenar; y al oeste con el Mar chileno. Posee una infraestructura portuaria considerada la más importante de la Región de Atacama y dista 46 km de Vallenar, capital provincial; y 191 km de Copiapó, capital regional. (Contrastes de Atacama, 2017)

arenosas. La comuna presenta tres unidades principales: Cordillera de la Costa, Valles y Planicies Litorales.

Hidrografía: El principal recurso hídrico de la comuna lo constituye el río Huasco, cuyo valle se localiza entre los 28' 30" - 29' 30" de latitud sur y 69' 45" - 71' 00" de longitud oeste. La hoya del río Huasco tiene una superficie de 9.859 km²; posee dos tributarios principales, los ríos Tránsito y Carmen, cuyos recursos proceden básicamente de los deshielos que se producen en la alta cordillera, además de los aportes de precipitaciones líquidas que escurren superficialmente por varias quebradas, (I.M.Huasco, 2015)

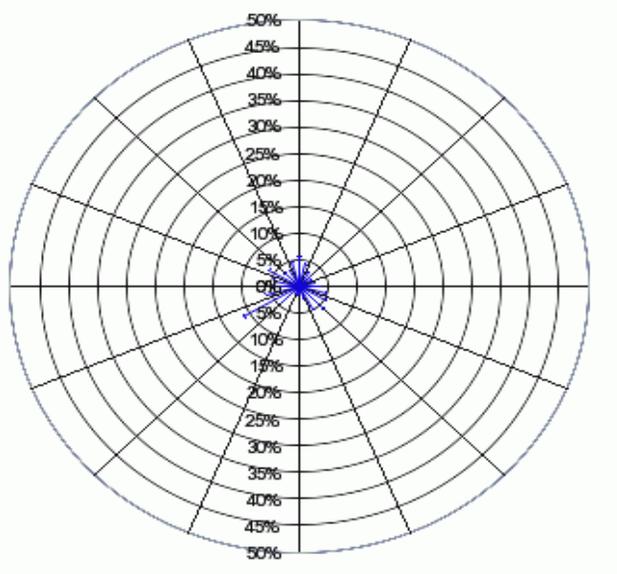
La red hidrográfica del río Huasco se encuentra orientada en un sentido general sur-este a nor-oeste, de tal manera que el Huasco desemboca al mar a la misma altura que el nacimiento del río septentrional de los dos cordilleranos que lo forman. Este rasgo se atribuye a la dirección del viento que provoca lluvias, que hace que las vertientes expuestas a él reciban mayor cantidad de aguas que las protegidas, imprimiendo, en consecuencia, las primeras, su dirección a las redes hidrográficas. (DGA, 2004)

Suelos: Los suelos de la Comuna de Huasco son suelos evolucionados, en su mayor parte, sobre sedimentos aluviales aunque también existen sobre sedimentos marinos próximos a él. Ocupan terrazas planas, con pendientes suaves que permiten salvo contadas excepciones, un drenaje normal. (Walker y col., 1998)

Temperatura: El régimen térmico, para la estación de Huasco, presenta temperaturas medias anuales de 14,71 °C, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 22,5

°C y una mínima media del mes más frío (Julio) de 8,8 °C. La oscilación térmica anual es relativamente baja, 13,7 °C. (Walker y col., 1998)

Vientos: A escala diaria domina la situación de calma (C) en la mañana (08 hrs.) en los meses de verano, cambiando a dirección Este en otoño e invierno, con pequeñas variaciones de dirección Norte en octubre y noviembre. Por otro lado, prácticamente durante todo el año predominan los vientos de dirección Suroeste pasado el mediodía (14 hrs), procediendo del Oeste en diciembre. Finalmente, los registros de las 19 hrs muestran dominancia de la dirección Sur durante todo el año.



Fuente: SINCA, 2017

Figura 2: Rosa de los vientos (2015-2016), Estacion Huasco Sivica

Precipitaciones: La comuna de Huasco se caracteriza por tener un régimen de precipitaciones de pequeña magnitud y poco variable en el tiempo. Sin embargo, debe insertarse la comuna en el contexto de la cuenca del río Huasco, la que presenta

variabilidad temporal de las lluvias; ello se expresa tanto estacional como interanualmente, entre los meses de Abril y Septiembre. Cabe mencionar que en la parte alta de la cuenca del Huasco algunos años se presentan precipitaciones aisladas durante el verano, producto del llamado invierno boliviano.

Nubosidad: Uno de los rasgos más típicos del litoral es la abundancia de nubosidad y neblinas alimentadas por la alta evaporación de aguas marinas; ello es particularmente notable durante las mañanas, cuando se desarrolla una neblina bastante espesa, conocida localmente como camanchaca, la cual penetra por el valle del Huasco hacia el interior.

La nubosidad más alta se registra en la mañana a lo largo de todo el año, con una media superior a 7, en la escala de 1 - 10. A mediodía y durante la tarde tiende a despejar notablemente.

1.1.3.2. Principales actividades en la zona (Walker y col. 1998)

La economía de la comuna de Huasco se basa en la agricultura, minería, pesca, y el turismo.

La Comuna de Huasco se ha constituido en el principal Puerto exportador de la mediana y pequeña minería del hierro de la III región; Además es productor de energía y en mucha menor importancia, de algunos productos agrícolas: El turismo y la pesca poseen una importancia menor en relación a la región.

Actividad portuaria: La localidad de Huasco cuenta con tres puertos: El puerto Guacolda I que pertenece a la empresa Guacolda Energía, filial de AES Gener, el puerto Guacolda II y el puerto Las Losas que pertenecen a CMP S.A. (MMA, 2015)

Energía: En la región se genera energía a través de cuatro centrales termoeléctricas, operadas por Endesa y Guacolda, en las comunas de Huasco y Diego de Almagro.

A fines de 1995, inició las operaciones la central Guacolda que provee de energía al Sistema Interconectado Central (SIC).

La Central Termoeléctrica Guacolda cuenta a octubre de 2015, con cuatro unidades de generación eléctrica que utilizan carbón y petcoke, con una capacidad instalada bruta de 608 MW. Las 4 unidades de la Central Termoeléctrica de AES GENER S.A, cuentan con la aprobación y validación del sistema de monitoreo continuo de emisiones de material particulado.

Por otra parte, la Central cuenta con una cancha de acopio al aire libre para almacenar el carbón y el petcoke, la cual presenta a octubre 2015 un cierre perimetral con una malla cortaviento. (MMA, 2015)

Agricultura: La parte baja del Valle, correspondiente a la Comuna de Huasco, se destaca como una zona privilegiada para el cultivo del Olivo, el que es considerado como "una alternativa histórica" para esta zona.

Pesca: La zona costera de Huasco posee una ventaja comparativa a otras regiones, ya que se trata de una zona poco contaminada y posee una abundante y variada fauna marina, producto del aporte alimenticio proveniente del rico medio dado por la corriente de Humboldt y la desembocadura del río Huasco. Esto también es una ventaja importante para el desarrollo de actividades de cultivo acuícola, tales como ostiones y algas. Entre los recursos pesqueros continentales destaca el camarón de río del norte, *Cryphiops caementarius*, el que se encuentra distribuido a todo lo largo de la cuenca del río Huasco

Turismo: La demanda turística regional proviene principalmente de los sectores ligados a la minería y posee un marcado carácter estival.

La Comuna posee un parque Nacional (Los Llanos de Challes) que se constituye como un recurso para el eco turismo.

Minería: La minería del hierro, cuyo producto se exporta por la localidad de Huasco, está casi exclusivamente representada por la Compañía Minera del Pacífico. Los principales centros extractivos son:

- a) Mina El Algarrobo, situada a 40 km al Sur-Oeste de la ciudad de Vallenar. Cuenta con planta de pre-concentrado, con una producción de 3.600.000 toneladas al año.
- b) Mina Los Colorados, ubicada a 35 km. al Nor-Oeste de Vallenar
- c) Cerro Imán, situado a 18 km. de la ciudad de Copiapó.
- d) Planta de Pellets de Huasco, con capacidad de 3.500.000 toneladas al año.

- Mina Los Colorados: Su principal objetivo es abastecer de Preconcentrado de hierro y Sinter Feed a Planta de Pellets, ubicada en Huasco y a Minera Hierro Atacama en Tierra Amarilla. El movimiento total es de 84 millones de toneladas al año, de las cuales 10 millones 400 mil toneladas es mineral de hierro. Se explota a rajo abierto con bancos de 15 metros de altura y 6 fases de explotación.
- La Planta de Pellets de Huasco está localizada a 5 kilómetros del puerto de Huasco y a 700 kilómetros al norte de Santiago. Su puesta en marcha fue a fines de 1978, con una capacidad nominal de 3.5 millones de toneladas anuales de pellets producto. El Preconcentrado proveniente de las minas es apilado en canchas ubicadas en el Puerto Guacolda II, localizadas al norte de la Planta de Pellets. Este es transportado en ferrocarril hasta la Planta de Pellets, donde es

almacenado y homogenizado en las canchas de recepción. Desde aquí, son enviados de manera selectiva a los procesos de Molienda y Concentración Magnética vía húmeda. (CAP minería, 2017)

Dada la declaración de “Zona latente” en Huasco, en los últimos cinco años, la Planta de Pellets ha actualizado el sistema de control de emisiones, instalando en su chimenea principal (2A) un precipitador electrostático y un desulfurizador (2012). La segunda chimenea (2B), que cuenta con un lavador de gases desde 1993, fue objeto de la última actualización tecnológica el año 2013. Adicionalmente, las canchas de acopio de minerales cuentan con pantallas cortaviento en todo su perímetro y aspersores de agua para mitigar emisiones de material particulado y se asfaltó los caminos interiores. Asimismo, y con igual finalidad, se ha confinado el mineral en los carros del ferrocarril, en las correas transportadoras y en la descarga de los productos dentro de las bodegas de los barcos, reduciendo significativamente las emisiones desde esas fuentes. (CAP Minería, 2015)

1.1.4. Red de monitoreo de la zona.

La comuna de Huasco cuenta con una red de monitoreo ambiental las cuales miden SO₂, NO_x, MP10; V, Ni y condiciones meteorológicas. A raíz de la operación de las unidades 1 y 2 de la Empresa Eléctrica Guacolda S.A. se instalaron 10 estaciones monitoras las cuales miden SO₂, NO_x, MP10, V, y Ni. De estas estaciones solo dos monitorean MP10, las denominadas estaciones EME E y EME F, que se encuentran ubicadas en el área urbana de la localidad de Huasco. Estas dos estaciones han aportado datos para

diferentes periodos, a partir de Enero del 2000 al presente, y cuentan con la calificación de Estación Monitora con Representatividad Poblacional (EMRP). Existe además otra red de monitoreo perteneciente a la Compañía Minera del Pacifico que mide material particulado sedimentable, esto a raíz del seguimiento de la norma secundaria de calidad del aire para este elemento, creada en el año 1992. (CONAMA, 2010 b)

A continuación, se presenta la ubicación relativa de las estaciones de MPS pertenecientes a la red de CMP que fiscaliza el SAG:



Figura 3: Ubicación relativa de los muestreadores de MPS para la red CMP fiscalizada por SAG en el Valle del Huasco. (DICTUC, 2013)

1.1.5. Importancia de la composición del Material Particulado.

Las partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Billet et al.,

2007). El material particulado está asociado con compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica o carcinogénica (García & Carreras, 2008).

Los principales elementos encontrados por la quema de combustibles fósiles, transformación de metales e incineración de residuos son el Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, V, Sb (Gao et al., 2002). Los diferentes elementos presentes en las muestras del material particulado pueden estar asociados con materia mineral, aerosol marino, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno y compuestos de carbono (Viana, 2003; Viana, Querol & Alastuey, 2006). Conocer la composición química del material particulado, tiene relevancia no solo desde el punto de vista de la química de la atmósfera, sino también sobre la calidad del aire que se respira en las ciudades (Quijano, Quijano & Henao, 2010). (Arciniegas, 2012)

Desde el año 2000 se han desarrollado, en el mundo, estudios sobre efectos del material particulado (MP) en las áreas de epidemiología, toxicología, evaluación de exposición y ciencias atmosféricas, que han profundizado el conocimiento de los riesgos que implica este contaminante para la salud humana. (CONAMA 2010 a)

La comuna de Huasco, con una importante actividad portuaria-minera, ha estado expuesta a los efectos que ello conlleva. Además, cuenta con otros focos de contaminación que perjudican el ambiente y la calidad de vida de la población. (I.M. Huasco, 2015)

Dada la importancia de la composición del MP, en diferentes matrices ambientales, se detallan a continuación los perfiles de toxicidad de algunos metales. (CENMA, 2013 a; Handbook, 2007; Present Knowledge of Nutrition, 1996)

➤ Cadmio

Sus principales fuentes naturales son las erupciones volcánicas, las quemas forestales y el transporte de partículas del suelo por el viento. En los últimos años, la contaminación por este metal ha aumentado a causa de actividades industriales tales como minería, fundición de metales, enchapado eléctrico (electroplating), uso y purificación de Cd, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, cemento, pigmentos y plásticos (Palus et al., 2003; Weisberg et al., 2003). El Cd puede combinarse con otros elementos y formar compuestos tales como cloruros, óxidos y sulfuros, los cuales se unen fuertemente a las partículas del suelo permaneciendo en el por muchos años. Se estima que su vida media es de 15-30 años (Henson y Chedrese, 2004; Maruthi et al., 2005).

Como todos los metales pesados, el Cd puede acumularse en los organismos, transferirse de un nivel trófico al siguiente y multiplicar su concentración a lo largo de las cadenas tróficas. Respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la muerte. Exposición crónica puede producir daño renal, daño óseo, cardiovascular, hematológico, hepático, neurológico, y testicular. Además, hay evidencia de una asociación cadmio-cáncer para los pulmones, páncreas, senos, endometrio, próstata, y vejiga urinaria.

➤ Cromo

La inhalación de Cromo (VI) causa cáncer del pulmón y el incremento de tumores en el estómago está asociado con la ingestión de agua contaminada con Cromo hexavalente

(ATSDR, 2008). La toxicidad aguda y crónica por Cr es causada principalmente por los compuestos Cr VI, siendo esta la forma más disponible, pero inestable en el suelo, para la absorción por las plantas. (Hernandez, M. 2014)

El cromo se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de Cr (0), trivalente (Cr (III)), y hexavalente Cr (VI). La ingestión de grandes cantidades de cromo (VI) puede producir malestar estomacal y úlceras, convulsiones, daño en el hígado y en el riñón y puede causar la muerte.

USEPA y DHHS han determinado que ciertos compuestos de cromo (VI), tales como cromato de calcio, trióxido de cromo, cromato de plomo, cromato de estroncio y cromato de zinc, son carcinogénicos en seres humanos.

➤ Cobre

El cobre es liberado al medio ambiente principalmente en los procesos de extracción minera, plantas de tratamiento de lodos sépticos, disposición de desechos sólidos, procesos de soldadura y electroplateado, materiales de cableado eléctrico, materiales de instalación sanitarias (cañerías, grifos, abrazaderas, y varios tipos de tuberías), y procesos agrícolas (uso en pesticidas).

Está presente en el aire y agua debido a descargas naturales tales como erupciones volcánicas y polvo arrastrado por el viento.

El Cu^{+2} es la forma más peligrosa a la salud.

El agua potable se contamina con cobre debido a la presencia en diversos tipos de cañerías. Inhalación de humos o polvos con cobre puede producir irritación de los ojos y del tracto respiratorio, dolores de cabeza, vértigo, somnolencia, escalofríos, fiebre, dolores musculares, y manchas en la piel y cabello en humanos. Exceso de cobre parece

afectar la reproducción y desarrollo en humanos y animales, y afecta la motilidad de los espermios. También se han descrito cambios fisiológicos y conductuales.

➤ Níquel

El Níquel existe en la naturaleza principalmente en forma de sulfuros u óxidos. Las principales fuentes de contaminación ambiental son la combustión de carbón y petróleo en la generación de calor y energía, y la contaminación de las industrias del níquel. En grandes ciudades del mundo los niveles atmosféricos de níquel son de 120-170 ng/m³, y constituye la mayor fuente de exposición por inhalación no ocupacional. En el suelo los niveles están en el rango 0,2-1000 mg/kg, principalmente como cationes divalentes. En aguas naturales los niveles están en el rango 2-10 µg/L, y 0,2-0,7 µg/L en aguas de mar.

Los niveles ocupacionales de níquel y compuestos (soluble inorgánico, insoluble inorgánico, subsulfuro, tetracarbonilo [Ni(CO)₄]) están altamente regulados en muchos países debido a la alta toxicidad de los compuestos. P.ej., exposición a 2 ppm níquel carbonilo es considerada por la NIOSH como “inmediatamente peligrosos para la vida y la salud”.

Los efectos de una inhalación crónica incluyen rinitis, sinusitis, perforaciones del septum nasal, y asma. El níquel es tóxico al sistema reproductivo. En humanos atraviesa la placenta, con concentraciones en el feto similares a las del adulto. Exposición a níquel resulta en reducción de embarazos normales, aumento de abortos espontáneos, y aumento de deformaciones estructurales en nacidos vivos.

➤ Plomo

Las fuentes comunes son operaciones de minería y fundición, quema de combustibles fósiles de industrias y vehículos; instalaciones de producción y reciclaje de baterías,

fábricas de armas y municiones, instalaciones de eliminación y reciclaje de metales y fabricación de componentes eléctricos; fuentes domésticas como escamas de pintura a base de plomo y tuberías de suministro de agua.

Exposición crónica a bajos niveles de plomo es de mayor preocupación en niños de corta edad que en adolescentes o adultos. El plomo puede causar daño neurológico, hematológico, cardiovascular, renal y testicular, dependiendo de la cantidad que ingresa a diario al organismo (dosis interna), y de la duración de la exposición. Hay evidencia que exposición al plomo también causa déficit intelectual y daño cognitivo. También tiene efectos negativos en el embarazo y desarrollo fetal. Un efecto ampliamente reconocido es el retardo del crecimiento óseo, en el cual el plomo se deposita en las epífisis de los huesos, retardando el crecimiento.

➤ Vanadio

Las fuentes más importantes de contaminación ambiental con vanadio son la combustión de petróleo y carbón. Por lo tanto los riesgos en la salud en la población en general son agudos y posiblemente crónicos sobre el sistema respiratorio.

Exposición de corto plazo en humanos por inhalación resulta en irritación del tracto respiratorio y ojos. En casos de muy alta exposición pueden presentarse bronco espasmos y bronquitis, acompañados por jadeo y disnea (respiración difícil). La irritación respiratoria por vanadio en polvos y humos ocurre a 0,1-85 mg/m³.

Se han observado efectos sistémicos en hígado, riñón, sistema nervioso, sistema cardiovascular, y órganos productores de sangre. Los efectos metabólicos incluyen interferencia con la biosíntesis de la cistina y colesterol, depresión y estimulación de la

síntesis de fosfolípidos, y a concentraciones más altas, inhibición de la oxidación de la serotonina.

➤ Zinc

El zinc se encuentra en el aire, el suelo y el agua y está presente en todos los alimentos. Los compuestos de zinc tienen muchos usos en la industria, tales como el proceso de galvanización y su incorporación en aleaciones como el latón y el bronce, y para la fabricación de pilas secas. La mayoría de mineral de zinc que se encuentra de forma natural en el medio ambiente es en forma de sulfuro de zinc.

El nivel de zinc en el suelo aumenta principalmente de la eliminación de desechos de zinc de las industrias de fabricación de metal y ceniza de carbón de las centrales eléctricas.

En el aire, el zinc está presente principalmente como partículas de polvo. Este polvo eventualmente se deposita en el suelo y el agua.

La inhalación de grandes cantidades de zinc (en forma de polvo o humos de fundición o soldadura de zinc) puede causar una enfermedad de corta duración llamada fiebre de humos metálicos, que generalmente es reversible una vez que cesa la exposición al zinc. Sin embargo, muy poco se sabe sobre los efectos a largo plazo de la inhalación de polvo o vapores de zinc.

➤ Hierro

El hierro es el segundo metal más abundante y el cuarto de todos los elementos, superado únicamente por el oxígeno, el silicio y el aluminio. El hierro se utiliza para la fabricación de piezas de hierro y acero fundidos y en aleaciones con otros metales. También se emplea para aumentar la densidad de los líquidos en las perforaciones

petrolíferas. El hierro por sí mismo no es especialmente fuerte, pero su resistencia aumenta de forma notable cuando se alea con carbono y se enfría rápidamente para formar acero, lo que explica su importancia como metal industrial.

Existen riesgos industriales durante la extracción, el transporte y la preparación de los minerales, durante la producción y el uso del metal y las aleaciones en las fábricas de hierro y acero y en las fundiciones, y durante la fabricación y el uso de ciertos compuestos. Si se inhala, el hierro es un irritante local para los pulmones y el tracto gastrointestinal. Los informes indican que la exposición prolongada a una mezcla de polvo de hierro y otros metales puede afectar a la función pulmonar.

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado la fundición del hierro y el acero como un proceso cancerígeno para el hombre. (OIT, 1998)

➤ Bario

El bario (Ba) es abundante en la naturaleza y representa aproximadamente el 0,04 % de la corteza terrestre. Sus principales fuentes son los minerales barita (sulfato de bario, BaSO₄) y witherita (carbonato de bario, BaCO₃). El bario se utiliza mucho en la fabricación de aleaciones para las piezas de níquel-bario del sistema de encendido de automóviles y en la fabricación de vidrio, cerámica y tubos de imagen de los televisores. El óxido de bario (BaO) es un polvo alcalino de color blanco que se utiliza como desecante de gases y disolventes.

La intoxicación puede producirse cuando los trabajadores están expuestos a determinadas concentraciones atmosféricas de polvo de los compuestos solubles, como puede ocurrir durante la molturación. Dichos compuestos ejercen una acción estimulante

potente y prolongada sobre los músculos, aumentando la contractilidad de forma importante. En el corazón, las contracciones arrítmicas pueden derivar en fibrilación y existen indicios de una acción constrictora en las coronarias. Los compuestos de bario también tienen efectos irritantes sobre las membranas mucosas y los ojos.

➤ Manganeso

El manganeso (Mn) es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Al menos un centenar de minerales contienen manganeso. Entre los minerales que contienen manganeso, los óxidos, carbonatos y silicatos son las formas más importantes. Puede presentarse en ocho estados de oxidación diferentes, de los que los más importantes son: +2, +3 y +7.

El manganeso se utiliza en la producción del acero como reactivo para reducir el oxígeno y el azufre, y como agente de aleación para la fabricación de aceros especiales, aluminio y cobre. En la industria química se utiliza como agente oxidante y para la producción de permanganato de potasio y otros productos químicos derivados del manganeso. Además, se utiliza como recubrimiento de electrodos en varillas de soldadura, en los trituradores de rocas y en las agujas y cambios de vía de los ferrocarriles. El dióxido de manganeso y otros compuestos de manganeso utilizados o producidos como subproductos volátiles del proceso de refinado del metal son prácticamente insolubles en agua. Por este motivo, sólo llegan al torrente sanguíneo las partículas suficientemente pequeñas para alcanzar el alvéolo pulmonar.

La toxicidad de los distintos compuestos de manganeso parece depender del tipo de ion manganeso y de su estado de oxidación. Cuanto menos oxidado esté el compuesto, mayor será su toxicidad.

1.1.6. Marco legal de Material Particulado

El DS20/13 establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situación de emergencia.

Tabla 1. Límites de la Norma de Calidad Primaria para MP₁₀ en el Aire.

NORMA MP ₁₀	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Límite de concentración anual ⁽²⁾	50
Límite de concentración de 24 horas ⁽¹⁾	150

⁽¹⁾Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado respirable cuando el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual a 150 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$.

⁽²⁾Se considera sobrepasada la norma primaria anual de calidad del aire para material particulado respirable MP10, cuando la concentración anual calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual que 50 ug/m^3 .

El Decreto Exento N°04/92 del Ministerio de Agricultura, establece Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del Río Huasco III Región, fijando los siguientes valores máximos permisibles:

Tabla 2. Límites de la Norma de Calidad del Aire para MPS.

NORMA MPS	[$\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$]
Límite de concentración media aritmética anual	100
Límite de concentración media aritmética mensual	150

Tabla 3. Límites de la Norma de Calidad del Aire para Fe en MPS.

Norma Fe en MPS	[mg/m ² /día]
Límite de concentración media aritmética mensual	60
Límite de concentración media aritmética anual	30

En Chile no existe una normativa ambiental para las concentraciones de metales en sedimentos fluviales, por lo cual, la referencia internacional usada en este proyecto se basa en CBSQGs (Consensus-Based Sediment Quality Guidelines, en inglés), en donde se establece un nivel de efecto menor (Threshold Effect Concentration - TEC) y mayor (Probably Effect Concentration - PEC), los cuales predicen que la toxicidad para los organismos bentónicos es improbable y probable, respectivamente. Además, establece una concentración de efecto media (MEC) entre las concentraciones (TEC) y (PEC).

Se considera ausencia de toxicidad de sedimentos cuando las concentraciones de contaminantes son más bajas que el valor TEC, y presencia adversa cuando las concentraciones de contaminantes son mayores que el valor PEC. (Mac Donald. D, 2000)

Tabla 4. Valores guía recomendados de algunos metales para la evaluación de calidad de sedimentos.

Metal	Valor TEC [mg/kg]	Valor PEC [mg/kg]
Cu	32	150
Cd	0.99	5.0
Cr	43	110
Fe	20000	40000
Pb	36	130
Mn	460	1100
Ni	23	49
Zn	120	460
Ba ⁽¹⁾	---	---
Co ⁽²⁾	---	---
V ⁽³⁾	---	---

⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ No hay valor descrito para estos metales.

Debido a que no existe en Chile una normativa específica, ni de rango legal ni reglamentario, que regule expresamente la calidad de los suelos, es necesario recurrir a valores internacionales, por lo que en este proyecto, dada la toxicidad de los metales para la población, se utilizará el criterio de los EMEG.

Los EMEG (Environmental Media Evaluation Guide o Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales) propuestos por la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los Estados Unidos de América (ATSDR por sus siglas en inglés), sirven como referencia para definir los contaminantes críticos de SPPC. El uso de los EMEG se fundamenta en el hecho de que para su cálculo se toma en cuenta la dosis con la cual el contaminante no causa daño alguno (MRL de ATSDR o RfD de la USEPA)

Los valores de EMEG del suelo se calculan mediante lo siguiente (ATSDR, 1995):

$$\text{EMEG} = \frac{\text{MRL} \times \text{BW}}{\text{IR}}$$

Donde EMEG: Guía para la evaluación de suelo [mg/kg]

MRL: nivel de riesgo mínimo [mg/kg/día]

BW: peso corporal [kg]

IR: tasa de ingestión del suelo [kg/día]

Así, para infantes se considera: BW: 10 kg, e IR: 350 [mg/día];

En niños BW: 14 kg, e IR: 350 [mg/día];

En Adultos BW: 70 kg, e IR: 50 [mg/día].

De esta forma, los valores EMEG para los metales en este estudio quedan así:

Tabla 5. Valores EMEG para infantes, niños y adultos de contaminantes metálicos.

Metal	MRL⁽¹⁾ [mg/kg/día]	EMEG infante [mg/kg]	EMEG niño [mg/kg]	EMEG adulto [mg/kg]
Cd	0,0001	2,86	4	140
Zn	0,3	8571,43	12000	420000
Cr	0,0009	25,71	36	1260
Cu	0,01	285,71	400	14000
Ni	0,02	571,43	800	28000
Pb ⁽²⁾	---	250		
Mn	0,16	4571,43	6400	224000
V	0,01	285,71	400	14000
Ba	0,2	5714,29	8000	280000
Co	0,01	285,71	400	14000
Fe ⁽³⁾	---	---	---	---

⁽¹⁾ MRLs disponibles en <https://www.atsdr.cdc.gov/>

⁽²⁾ Al no existir dosis de referencia para plomo (Pb), no puede calcularse su EMEG. Por consiguiente, para definir su probabilidad de riesgo, en este trabajo se empleó el valor de 250 mg/kg para niños, que es valor guía calculado para suelo de zonas recreativas de infantes (Díaz, B.F., 1996)

⁽³⁾ No se ha establecido dosis de referencia aun para Hierro.

1.2 Antecedentes específicos

1.2.1. Zona de estudio.

En la siguiente figura se presenta a modo referencial la zona de estudio con su respectiva división comunal.

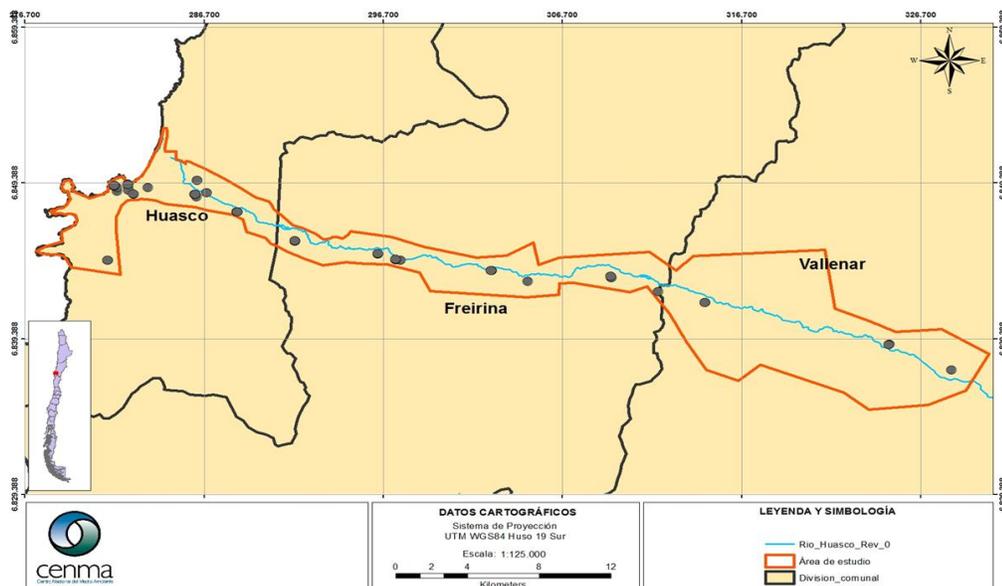


Figura 4: Zona de estudio del presente proyecto.

De acuerdo con el mapa geológico de Chile, en el área de estudio de este proyecto, existen 7 tipos geológicos de suelo, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 6. Descripción de los tipos geológicos de suelo, en la zona de estudio.

Nº	Tipo geológico de suelo	Generalidad	Descripción
1	M1c	Secuencia sedimentaria	Mioceno Inferior Medio Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas. En las regiones I a III formaciones Diablo, Chucal, Altos de Pica (superior) y Gravas de Atacama; en las regiones VIII a IX: Formación Cura-Mallin (superior); en la región X Formación Las Dunas.
2	MP1c	Secuencia sedimentaria	Mioceno Superior-Plioceno Secuencias sedimentarias clásticas de piedemonte, aluviales, coluviales o fluviales: conglomerados, areniscas y limolitas. En las regiones I a IV: formaciones Huaylas, Lauca y Pastos Chicos, Gravas del Copiapó; en la región XI: Formación Galeras.
3	Qa	Secuencia sedimentaria	Pleistoceno-Holoceno: Depósitos aluviales, subordinadamente coluviales o lacustres; gravas, arenas y limos. En la depresión central, regiones I a III: abanicos aluviales.
4	Qe	Secuencia sedimentaria	Pleistoceno-Holoceno: Depósitos eólicos: arenas finas a medias con intercalaciones bioclásticas en dunas y baujanes tanto activos como inactivos. En las regiones I a IV: dunas de Santo Domingo y Quivalgo.
5	Qf	Secuencia sedimentaria	Pleistoceno-Holoceno: Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.
6	TrJg	ROCAS INTRUSIVAS	Triásico-Jurásico (212-180 Ma) Granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda; sienogranitos. En Cordillera de la Costa, regiones III a V.
7	TrJ1m	Secuencia sedimentaria	Triásico-Jurásico Inferior Secuencias sedimentarias marinas litorales y transicionales: areniscas cuarcíferas, ortoconglomerados, calizas fosilíferas, lutitas y limolitas calcáreas con intercalaciones volcánicas subordinadas. En la Precordillera y localmente en la costa, regiones II a III: Estratos de Rencoret y formaciones Quebrada del Salitre, El Profeta (inferior) y Canto del Agua.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.

1.2.2. Investigación preliminar de la presencia de polvo negro en la zona

1.2.2.1. Análisis de la composición de polvo sedimentado

El Laboratorio de Química Ambiental de CENMA realizó en el 2014 un análisis de la composición de polvo sedimentado en diferentes localidades de Chile incluyendo Huasco. Se analizó Puchuncaví (V Región, 1 muestra), El Melón (V Región, 3 muestras), Antofagasta (II Región, 6 muestras) y Huasco (III Región, 7 muestras), como ilustración referencial de la composición del polvo asociado a termoeléctricas y a la actividad minera. Se comparó lo obtenido con el polvo interior del propio Laboratorio de Química Ambiental de CENMA y con las cenizas emitidas durante la erupción del volcán Chaitén en 2011.

Se obtuvo que el polvo de Huasco, tuvo notablemente mayor concentración de Hierro (Fe) que todos los demás, así mismo, fue relativamente similar al de El Melón en cuanto al contenido de Mn mientras que es totalmente diferente de los demás lugares respecto del contenido de Vanadio (V).

Se determinó que la cantidad de muestras fue limitada como para responsabilizar a las termoeléctricas del sector, independiente de los valores elevados de Fe y V. Además, el material sólido que se registra en el valle y en la ciudad de Huasco en forma de polvo, posiblemente, proviene de emisiones puntuales desde las chimeneas, de emisiones areales desde las plantas industriales y también desde los cenizales que son espacios abiertos, con gran cantidad de material fino expuestos a la acción del viento

1.2.2.2. Estudios de calidad de aire y fuentes emisoras

La Facultad de Agronomía e Ing. Forestal de la Pontificia Universidad Católica junto al DICTUC, realizaron en el año 2013 un estudio enfocado a actividades olivícolas de la zona, el cual analizó la presencia de polvo presente en cultivos de gran parte del valle (DICTUC, 2013). En el estudio se evidenció que en al menos 4 meses del año, se obtuvo una excedencia respecto a la norma mensual para MPS ($150 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$) (MINAGRI, 1992). Respecto a la composición química del MP, era mayoritariamente minerales férricos, y adicionalmente se encontraban en alta proporción Mg, Ca y Al.

Los análisis de la composición química del MP2.5 medido en la campaña verano 2013 indican que el 95% de estas partículas finas provienen de fuentes emisoras antropogénicas, principalmente de las chimeneas del complejo industrial de Huasco, ya que ellas son las que aportan más del 95% de las emisiones de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NO_x) y de azufre (SO_2) que se emiten en toda la zona. Solo un porcentaje bajo del MP2.5 (menor al 4%) podría provenir de aportes naturales como el polvo levantado por acción del viento. (DICTUC, 2013)

Se incluyeron como fuentes emisoras:

- a) Chimeneas: cinco chimeneas de Endesa, dos de CMP y tres de Eléctrica Guacolda: Unidades 1 y 2 (salida en una sola chimenea), y la Unidad 3 que comenzó a operar en Agosto 2009.
- b) Fuentes de área: acopio de materiales en el complejo industrial, fuentes de la ciudad, actividad de barcos en el puerto y el ferrocarril, todas expresadas como fuentes de área.

En el 2006, CENMA presentó el Informe Final del “Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco”, solicitado por la Ilustre Municipalidad de Huasco.

Se realizaron mediciones de MP10 entre octubre y diciembre de 2005 en dos estaciones, Estación Bomberos y Estación Escuela, pertenecientes a la Red de monitoreo de la Central Termoeléctrica Guacolda. La máxima concentración diaria de MP10 fue 83,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Escuela y 67,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Bomberos, lo cual corresponde a un 56% y 45% del valor fijado en la norma primaria (en 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente (MMA, 2013). El promedio de concentraciones de MP10 para el período fue 38,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Escuela y 34,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Bomberos.

En ambas estaciones, los ciclos diarios de SO_2 y MP10 presentaron diferencias. Las concentraciones horarias más altas de MP10 coincidieron con concentraciones bajas de SO_2 , cercanas a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y con direcciones de viento provenientes desde el SW, a las horas de mayor velocidad de viento.

Se estimó que alrededor del 95% de las emisiones provenía de fuentes industriales y el resto se atribuyó a fuentes fijas menores y fuentes móviles urbanas.

Las emisiones de fuentes ubicadas en el interior y próximas al casco urbano de Huasco sumaron cerca de 15,5 ton/año de MP10, las más importantes se asocian al tránsito vehicular (78%), en segundo lugar el levantamiento de polvo de zonas erosionables (18%) y en tercer lugar el tren de Ferronor (3%) que bordea la ciudad. (CENMA, 2005)

Las fuentes identificadas correspondieron a las siguientes:

- Guacolda: Chimenea principal, Pilas de carbón y petcoke.
- CMP: Chimenea 2A, Chimenea Scruber, Pila Cancha de Minerales, Pila Carbón, Pila Sector 1, Pila Sector 2.

- Endesa: Chimeneas Unidades 1 y 2, Turbo Generadores 3-4-5, Pila de carbón.
- Huasco: Panadería Guacolda, Panadería San Antonio, Supermercados Abarttal, Incinerador Hospital Manuel Magallanes N., Tránsito vehicular.
- Otras fuentes: Tránsito ferroviario, zonas erosionables entorno urbano de Huasco, zonas erosionables lejanas a Huasco. (CENMA, 2005)

Respecto de la composición química del MP10, se obtuvo un aumento significativo de Zn, Ba y Co (con valores similares en ambas estaciones). V y Mn tienen un aumento de 10 veces respecto a polvo natural. Fe también tiene una mayor concentración, y el ion predominante fue el SO_4 , posiblemente vinculado con la transformación química del SO_2 .

Hierro (Fe) está asociado fuertemente a los procesos relacionados con la producción de pellets de hierro en Huasco. Bario puede asociarse a la quema de carbón en centrales térmicas. Vanadio puede asociarse a la quema de petcoke. Zinc y Cobalto puede asociarse a quema de petróleo, incineradores que queman desechos, procesos relacionados con la minería de hierro y en menor medida con quema de carbón en centrales térmicas.

Los elementos Cd, Cr, As, Se, Ag, Co, Mo y Be presentaron concentraciones menores al límite de detección en las muestras de polvo resuspendido de fuentes emisoras. Se obtuvo altos niveles de Zn y Ba en las muestras de polvo de calles y la muestra de polvo de techos en Bomberos tuvo 2.6 veces un mayor contenido de Fe que las muestras de polvo de calles cercanas a la estación para la fracción gruesa. (CENMA, 2015)

Por Decreto Supremo N°40, del 15 de noviembre del 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, publicado en el Diario Oficial el 23 de mayo del 2012, se declaró zona latente

por material particulado respirable MP10, como concentración anual, a la localidad de Huasco y su zona circundante, cuyos límites se establecen en dicho decreto.

Las principales actividades responsables de la condición de latencia por material particulado respirable MP10, correspondieron a la Central Termoeléctrica Guacolda perteneciente a la empresa Guacolda Energía, filial de AES Gener y a la Planta de Pellets perteneciente a CAP Minería. El aporte de las emisiones sin combustión fue de un 11% para la Central Termoeléctrica Guacolda y un 89% para la Planta de Pellets de CMP S.A. Mientras que el aporte de emisiones de MP para fuentes con combustión de las principales actividades, fueron un 37% y un 63% respectivamente para la Central Termoeléctrica Guacolda y la Planta de Pellets de CMP S.A. (MMA, 2015)

1.2.2.3. Análisis en la cuenca del río Huasco.

La DGA en el 2004 realizó un proyecto sobre “Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad” en la cuenca del río Huasco.

En donde, la calidad natural del agua superficial de la cuenca estuvo influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad del río Huasco y sus tributarios: La calidad natural del río fue clasificada de buena calidad, donde excedieron la clase de excepción los metales como el cromo, hierro, boro, manganeso, molibdeno, aluminio, sulfatos y conductividad eléctrica.

La parte media y baja de la cuenca al poseer actividad minera importante la que sumada a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas ocasionaron presencia de metales como el cobre, hierro, molibdeno y manganeso.

La cuenca al poseer gran actividad minera, incidido en la calidad del agua especialmente metales en solución, la cual no es reversible por lo que ya forma parte de la calidad natural. De los cursos de agua de la cuenca el río Huasco fue el cauce que presentó la calidad de agua más desmejorada.

Debido a la litología de la cuenca esta se caracterizó por muchos iones en solución, principalmente metálicos. (DGA, 2004)

El estudio “Programas de Vigilancia en Normas Secundarias de Calidad de Aguas Vigente y las que están en proceso, con el objeto de avanzar en el estado ecológico de las aguas superficiales” incluyó la evaluación de 10 cuencas hidrográficas de Chile en base a diversos factores.

Los resultados en la cuenca del río Huasco indicaron que no se superaron los parámetros físico-químicos incluidos en la propuesta normativa (pH, conductividad eléctrica, color aparente, oxígeno disuelto, RAS y sólidos suspendidos y disueltos) en sus aguas superficiales. (MMA, 2010)

1.2.2.4. Metales en sedimentos fluviales en la cuenca del Río Huasco.

En el estudio “Análisis de metales pesados presentes en sedimentos de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí”, cuyo objetivo fue complementar la evaluación del estado ecológico, se evidenció que los sedimentos de la cuenca del Río Huasco eran ricos en As, Cd, Mn y Zn, los que superaron el límite de efecto probable, según la normativa canadiense que establece niveles en las que se espera que existan efectos ecológicos. (Cabello, E. P, 2014)

En el “Estudio geoquímico ambiental y mapa de riesgos de la cuenca del Río Huasco, III región de Atacama”, se analizaron muestras de sedimentos de la cuenca y los valores se compararon con las normas internacionales europea y estadounidense. Se consideró también el parámetro PEC (Probable Effect Concentration) que señala la máxima concentración de ciertos metales pesados que pueden contener los sedimentos sin afectar la biota del entorno.

Al comparar los datos con las normas internacionales se estableció que los valores de arsénico, cobre y zinc fueron excesivos comparados incluso con las normas menos conservadoras. Algunos metales como el cromo, titanio y vanadio presentaron anomalías en la desembocadura de río Huasco, pudiendo estar asociados a actividad industrial.

La concentración de níquel excedió el parámetro PEC a lo largo de toda la cuenca de forma transversal a las formaciones geológicas y parece obedecer a patrones naturales.

(Mosjos, A.S., 2017)

1.3. Objetivos

1.3.2. Objetivo General

Evaluar y encontrar las principales fuentes de emisión de polvo negro en la comuna de Huasco, en base a información existente y nuevos análisis de polvo proveniente de matrices ambientales de la zona.

1.3.3. Objetivos específicos

- Conocer antecedentes existentes acerca de la presencia de polvo negro en la comuna.
- Caracterizar fisicoquímicamente el polvo negro mediante nuevos muestreos de este, en diferentes matrices ambientales en la zona.
- Analizar la concentración de metales en las muestras de polvo negro para evaluar las principales fuentes de contaminación.

II. METODOLOGIA

2.1 Materiales y método

2.1.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó mediante un Plan de Muestreo de CENMA, que considero lo siguiente:

- 45 muestras de MPS obtenidas de la instalación y operación de 15 muestreadores de MPS, durante 3 meses, en la ubicación aproximada: 6 muestreadores en las estaciones que opera el SAG S1 a S6; 2 muestreadores en las inmediaciones del cenital de termoeléctrica Guacolda; 4 muestreadores en los extremos N, S, E y W de la ciudad de Huasco.
- 49 muestras de polvo depositado en techo y hojas de olivos, distribuidos a lo largo de la zona de estudio.
- 50 muestras de suelo superficial en la comuna de Huasco, según la influencia esperada del polvo negro.
- 41 muestras de suelo superficial (background) ubicados fuera de la influencia del polvo negro.
- 24 muestras de sedimentos fluviales en la cuenca del Río Huasco.
- 42 muestras de agua superficial en la cuenca del Río Huasco.

2.1.1.1. Muestreo de MPS.

En noviembre de 2015 se efectuó la instalación de 15 muestreadores de MPS consistentes en colectores de modelo británico modificado de acuerdo a las exigencias del DS N°4/92 y la Resolución N° 099 SAG III Región. La ubicación de estos se detalla en el Anexo 6.1

La posición de los muestreadores respecto a los puntos de interés de este proyecto son los que se detallan a continuación:

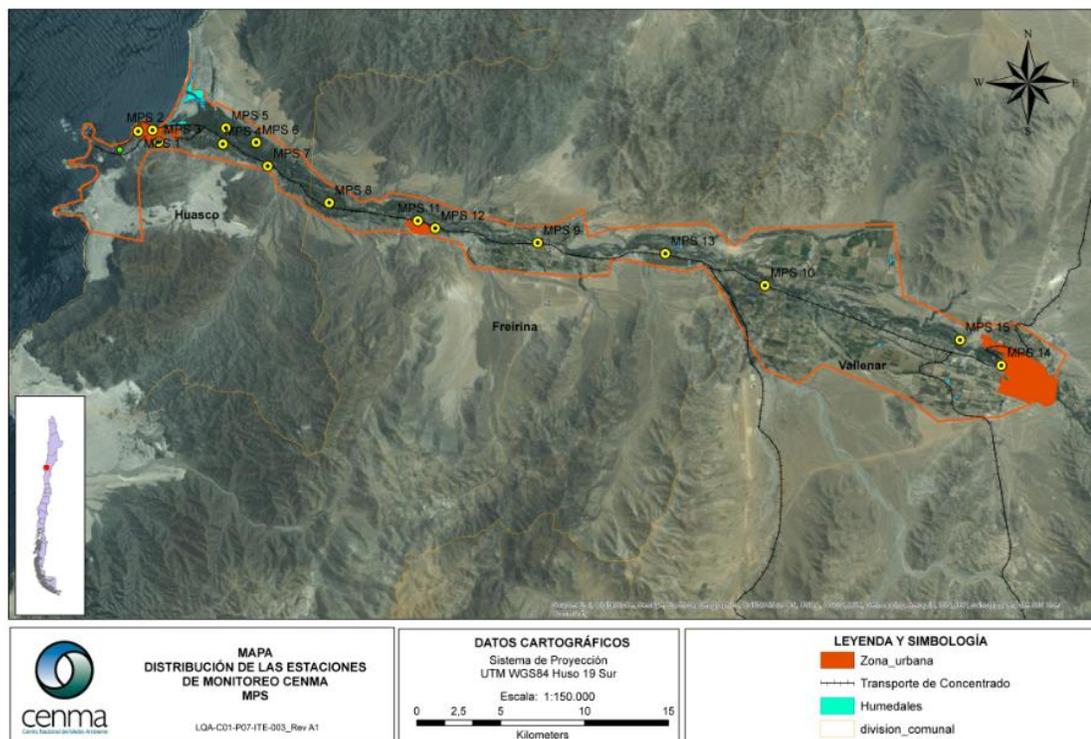
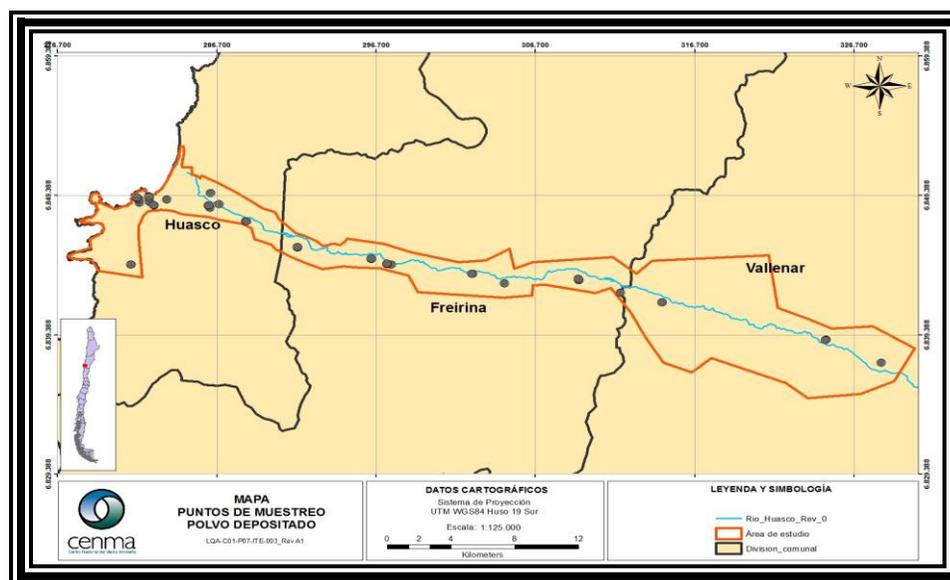


Figura 5: Mapa con la ubicación de todos los muestreadores de MPS instalados por CENMA para este estudio, desde Huasco hasta Vallenar.

2.1.1.2. Muestreo de polvo depositado superficialmente.

En este estudio, todas las muestras se tomaron con brochas de cerdas plásticas y se recogieron en sobres de papel, nuevos, para su transporte al laboratorio. Para el análisis, las muestras se consideraron equivalentes a la matriz de suelo.

Las muestras fueron recolectadas en los siguientes puntos de muestreo:

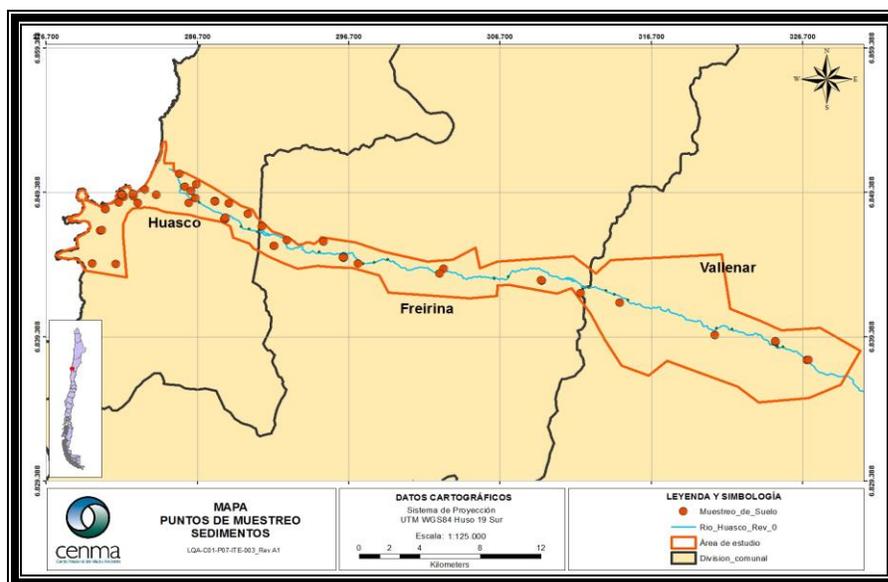


Fuente: LQA CENMA

Figura 6: Ubicación de los puntos de muestreo de polvo depositado.

2.1.1.3. Muestreo de suelo superficial

La ubicación de los puntos de muestreo de suelo se presenta gráficamente a continuación:

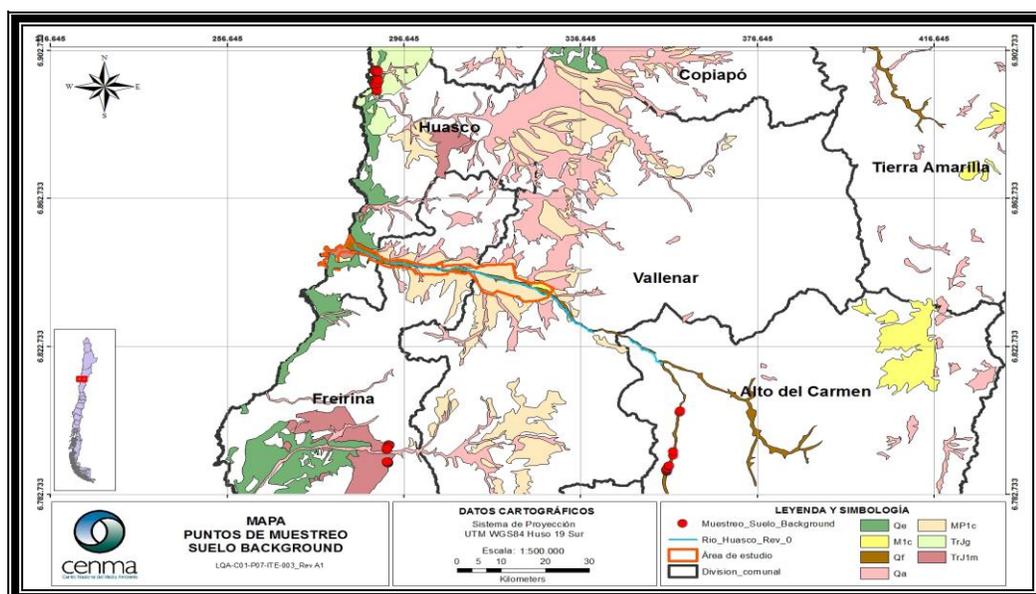


Fuente: LQA CENMA

Figura 7: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo superficial considerados en este estudio.

2.1.1.4. Muestreo de Suelo de áreas background.

Las muestras background fueron recolectadas en los siguientes puntos de muestreo:

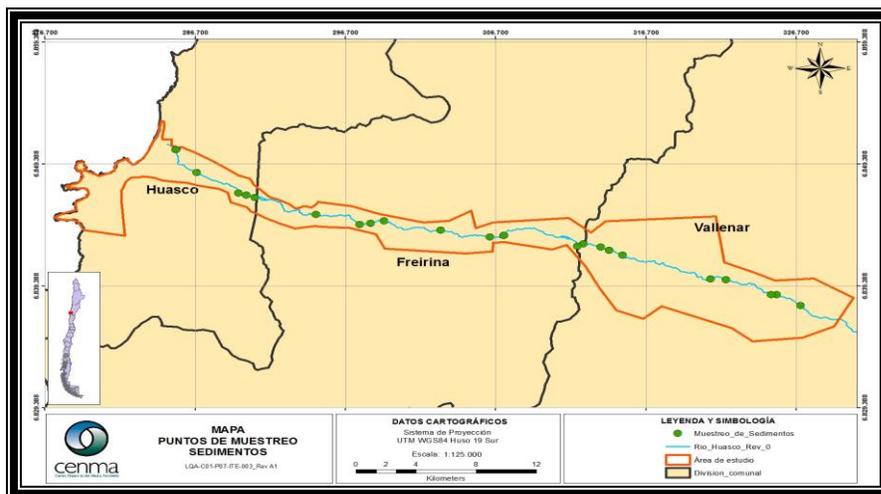


Fuente LQA CENMA

Figura 8: Ubicación de puntos de muestreo para los niveles background.

2.1.1.5. Muestreo de sedimentos fluviales

Para el estudio de los sedimentos fluviales se obtuvieron muestras en los siguientes puntos:

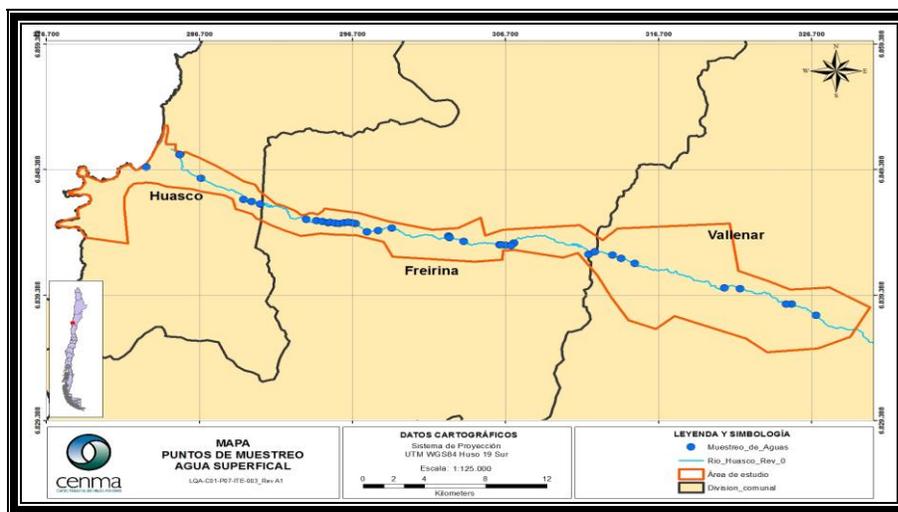


Fuente LQA CENMA

Figura 9: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos fluviales.

2.1.1.6. Muestreo de agua superficial

Las muestras de agua superficial, fueron obtenidas de los siguientes puntos de muestreo:



Fuente LQA CENMA

Figura 10: Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.

2.1.2. Procedimientos y análisis de muestras

Los análisis experimentales fueron efectuados en el Laboratorio de Química Ambiental del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Los análisis realizados en este proyecto fueron sometidos a procedimientos previos de validación, y contaron con protocolos de muestreo y análisis basados en la Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter) y protocolos internos.

Tabla 7. Resumen metodología analítica utilizada en este proyecto.

Matriz analítica	Analito	Metodología
Material Particulado Sedimentable (MPS)	Barrido de metales, especialmente Cd, Zn, Cr, Cu, Co, Ba, Ni, Pb, Mn, V, Fe	ILQAA-0023, basado en digestión acida asistida por microondas según protocolo USEPA 3052 y cuantificación por ICP-AES según protocolo USEPA 6010C
Polvo depositado (sedimentado)		
Suelo superficial		
Sedimentos fluviales		
Agua superficial		ILQAL-0019 basado en Standard Methods 3120

2.1.3.1. Determinación de Material Particulado Sedimentable insoluble.

Los contenedores de cada muestra fueron de 2,5L cada uno.

Se prepararon los filtros sin muestras, tomando un vidrio de reloj por cada muestra, rotulados previamente. Los vidrios de reloj se colocaron en estufa a una temperatura de 104°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante 2 horas. Una vez sacados, se colocaron en una desecadora por 1 hora. Luego, se masaron los filtros en balanza analítica.

Concluido esto, los filtros fueron colocados nuevamente en la desecadora, por 1 hora más, para después repetir el proceso de masado explicado anteriormente.

Por otra parte, se preparó el equipo de filtración al vacío. Listo el equipo, se colocó el papel filtro en el embudo de manera que lo cubriera todo, pasando agua desionizada para adherirlo de manera eficiente (eliminando esta porción de agua del matraz).

Se agitó cada contenedor para homogeneizar las muestras antes de filtrar, y luego se filtraron pausadamente, hasta que todo el material solido fuera vertido al filtro.

A algunas muestras secas, se les adicionó agua desionizada mediante una piseta, arrastrando el material solido hasta completar 250 mL apróx, para luego agitarse y proceder como antes se detalló.

El líquido obtenido de cada muestra, se transfirió a una probeta para medir el volumen de muestra. Luego se trasvasijó a matraces aforados y se rotularon las respectivas fracciones solubles de mps.(#)

Por otra parte, se removió cada papel filtro que contenía el mps insoluble, doblándolo cuidadosamente por la mitad y fue colocado en un vidrio de reloj rotulado previamente.

Los vidrios de reloj se llevaron a estufa, por 2 horas y luego a la desecadora por 1 hora.

Luego, los filtros fueron masados en balanza analítica. Una vez concluido el masado, se llevaron nuevamente a la desecadora por 1 hora más, para luego repetir el masado de cada filtro.

2.1.3.2. Determinación de material particulado sedimentable soluble.

La preparación de las placas de Petri sin muestras se realizó de igual manera que para los filtros del proceso anterior, es decir, proceso de ambientación en la desecadora y masado hasta obtener masa constante de cada muestra.

Para las muestras, cada placa Petri fue acondicionada mediante ambientación en desecadora, y masado hasta obtener masa constante.

Se tomó una alícuota de 50mL de cada matraz aforado y se vertió a una placa Petri rotulada previamente. Cada placa se colocó en la plancha calefactora. Una vez evaporado el líquido de las placas, se llevaron a estufa durante 2 horas, para luego pasar a la desecadora por 1 hora. Se masaron las placas Petri, y posteriormente se repitió el proceso de desecadora 2 veces más, hasta obtener masa constante de cada muestra.

Por cada batch de muestras (1-10) se realizó:

Un blanco, mediante agua desionizada.

Un spike sobre reactivo para ICP.

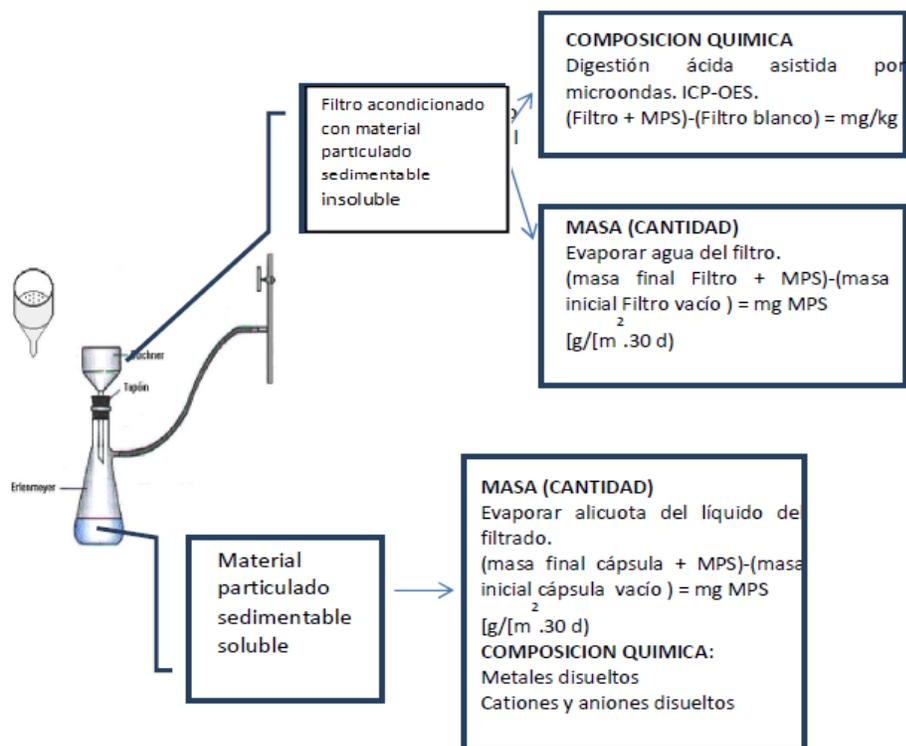


Figura 11: Resumen metodología de Material Particulado Sedimentable.

2.1.3.3. Determinación de metales por ICP.

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES.

En esta técnica, la introducción continua de la muestra líquida y un sistema de nebulización forma un aerosol que es transportado por el Argón a la antorcha del plasma, acoplado inductivamente por radio frecuencia. En el plasma, debido las altas temperaturas generadas, los analitos son atomizados e ionizados generándose los espectros de Emisión atómicos de líneas características. Los espectros son dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir las

intensidades de las líneas. Finalmente, la información es procesada por el sistema informático.

El sistema más habitual de introducción de muestras líquidas en ICP se muestra en la Figura 12 y consta de los siguientes componentes:

1. Nebulizador: Transforma la masa líquida en un aerosol. El aerosol producido por el nebulizador se conoce como aerosol primario.
2. Cámara de nebulización: Utilizada para seleccionar las gotas del aerosol, eliminando aquellas de mayor tamaño que pueden degradar las condiciones de excitación del plasma y reducir la precisión de la medida
3. Sistema de desolvatación: Su misión es la de eliminar parte del disolvente introducido en el sistema y así evitar un deterioro de las condiciones de excitación. Su uso se hace indispensable cuando se emplean nebulizadores de alta eficiencia y/o disolventes muy volátiles.
4. Antorcha: Es el nexo de unión entre el sistema de introducción de muestras y la célula de atomización (plasma). Su función es, por una parte, confinar el plasma y, por otra, introducir el aerosol que emerge de la cámara de nebulización (aerosol terciario) en el seno del plasma

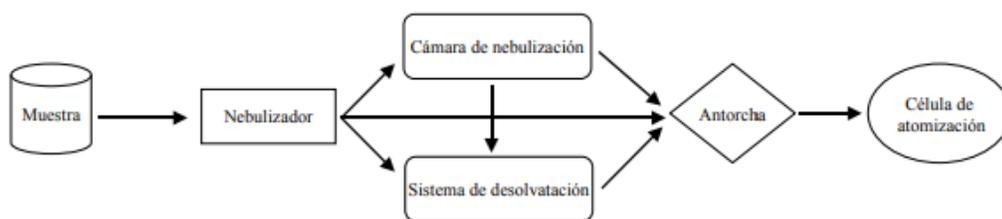


Figura 12: Esquema de un sistema de introducción de muestras líquidas en ICP-OES.

Mediante este método es posible determinar de forma cuantitativa la mayoría de los elementos de la tabla periódica a niveles de traza y ultra-traza, partiendo de muestras en disolución acuosa.

El equipo utilizado para efectuar este análisis es Perkin Elmer modelo Optima 8300 (Figura 13)



Fuente: <http://www.perkinelmer.com/es/product/optima-8300-icp-oes-spectrometer-optima8300>

Figura 13: Equipo Perkin Elmer modelo Óptima 8300.

2.1.3.4. Preparación de muestras para determinación de metales en MPS insoluble por ICP.

Cada filtro seco y doblado con muestra de MPS insoluble, se introdujo a un vaso de teflón para digestión ácida.

A cada vaso se agregaron 10mL de Ácido Clorhídrico (HCl) al 37% y 10 mL de Ácido nítrico (HNO₃) al 65%, para luego digerir la muestra mediante horno microondas, disminuyendo el volumen de la muestra hasta obtener 1mL.

Luego, se filtraron las muestras en embudos simples de vidrio con papel filtro, en matraces de aforo de 50mL. Se aforó cada muestra con una solución de HNO₃ al 1%, y luego se agitó para homogeneizar. Realizado esto, una parte de la solución se trasvasió a los tubos de ICP, para su posterior lectura.

Con la solución restante en el matraz, se preparó una dilución 1:25 con ácido nítrico al 1%, en otro matraz de aforo. Esta solución se llevó a lectura por ICP.

2.1.3.5. Preparación de muestras para determinación de metales en MPS soluble por ICP.

La fracción soluble obtenida en la determinación de MPS insoluble (#) fue llevada a lectura por ICP.

2.1.3.6. Preparación de muestras para determinación de metales en polvo depositado, suelo superficial, sedimentos fluviales y agua superficial por ICP.

La digestión ácida de las muestras para luego llevarse a lectura por ICP, se realizó de la siguiente manera:

Muestras de polvo: En un papel liso (weighing paper), se masaron 0,5g aproximadamente de cada muestra, en una balanza analítica.

Se rotularon vasos de teflón, y a cada uno se le agrego 3mL de HNO_3 65% y 3mL de HCl 37%. Los vasos tapados fueron puestos en el rotor de digestión; terminado el proceso, se enfriaron, para luego sacarlos bajo campana. Los vasos fueron puestos en placa calefactora a una temperatura inferior a los 100°C , para reducir el volumen de muestra hasta 1mL aproximadamente. El volumen final fue filtrado cuantitativamente, mediante equipo de filtrado, ocupando HNO_3 al 1% para limpiar las paredes de cada vaso de teflón y aforar a 25mL.

Homogeneizadas las muestras, se transfirieron a tubos de ensayo previamente rotulados para lectura directa por ICP, realizando además una dilución 1:25 a todas las muestras, con HNO_3 al 1%, también llevadas a lectura por ICP.

Muestras de suelos: Una porción de cada muestra de suelo fue secada a 40°C por al menos 6 horas y posteriormente enfriada a temperatura ambiente. Una vez frías las muestras, fueron tamizadas con un tamiz de cobre. Luego, se masaron 0,5g aproximadamente de cada muestra, en balanza analítica, y posteriormente transferidas a vasos de teflón para digestión acida, repitiendo el proceso explicado anteriormente hasta ser llevadas a lectura por ICP.

Muestras de sedimento: Las muestras de sedimentos fueron secadas a 40°C por al menos 6 horas. Una vez frías, fueron pasadas por un mortero de porcelana, y posteriormente tamizadas. Las muestras tamizadas fueron transferidas a frascos rotulados previamente. Luego, se masaron 0,5g aproximadamente de cada muestra en balanza analítica, y posteriormente fueron llevadas a digestión ácida, siguiendo el mismo proceso de las muestras de polvo, hasta la lectura por ICP.

➤ Control de calidad analítica del método:

Por cada batch de muestras (10 muestras), se realizó un blanco reactivo, con agua para análisis grado reactivo exenta de los metales a determinar.

Un ensayo duplicado de una muestra al azar del set a analizar.

Un ensayo de un Material de Referencia Certificado (en este caso MRC 233)

Agua: Cada muestra líquida fue sacada previamente de la cámara de frío, luego homogenizadas y mediante pipeta aforada, se tomaron 50 mL y trasvasijaron a vasos de precipitado. Se acidificaron las muestras añadiendo 3 mL de HNO₃ 65% a cada una y se colocaron en placa calefactora (a 90°C aprox.) para realizar el proceso de digestión ácida.

Se evaporó la muestra a 5 mL aproximadamente sin secarla ni ebulirla. Al enfriarse, se añadieron 5 mL más de HNO₃. Se cubrieron los vasos con vidrio de reloj y se reubicaron en la placa calefactora, hasta que las muestras refluje. Este proceso se repitió hasta que la solución fuera clara, y se evaporara hasta un volumen de 5 mL aproximadamente. Luego, se añadieron 10 mL de HCl 50% v/v y 5 mL de agua desionizada. Se calentaron 15 minutos aproximadamente las muestras para disolver residuos. Una vez frías, fueron filtradas con HNO₃ al 1% cuidadosamente. Posteriormente, las muestras diluidas se aforaron a un volumen de 50 mL con matraces previamente rotulados, para luego llevarse a lectura por ICP.

➤ Control de calidad analítica del método:

Por cada batch de muestras se realizó:

Un blanco reactivo, con agua para análisis grado reactivo exenta de los metales a determinar.

Un ensayo duplicado de una muestra al azar del set a analizar.

Un ensayo duplicado un blanco reactivo fortificado (HNO₃/HCl).

Los parámetros analíticos se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 8: Parámetros analíticos del método.

Parámetro	LD [mg/L]	LC [mg/L]	CV%
Cd	0,0012	0,004	0,36
Zn	0,0090	0,030	0,06
Cr	0,0056	0,019	0,32
As	0,0150	0,050	1,06
Cu	0,0050	0,017	0,01
Ni	0,0320	0,107	0,43
Pb	0,0080	0,027	0,65
Al	0,0260	0,087	0,45
Se	0,0100	0,033	1,25
Mn	0,0006	0,002	0,06
Ag	0,0005	0,002	0,13
V	0,0012	0,004	0,10
Ba	0,0006	0,002	2,12
Co	0,0006	0,002	0,16
Mo	0,0006	0,002	1,26
Be	0,0003	0,001	0,37
B	0,104	0,347	0,68
Fe	0,1000	0,333	0,05
Sb	0,0120	0,040	1,61

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Figuras de concentración de MPS

En las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos respecto a la concentración de MPS insoluble, soluble y total, en los puntos de muestreo, expresadas en el anexo 6.2, con sus respectivas desviaciones estándar.

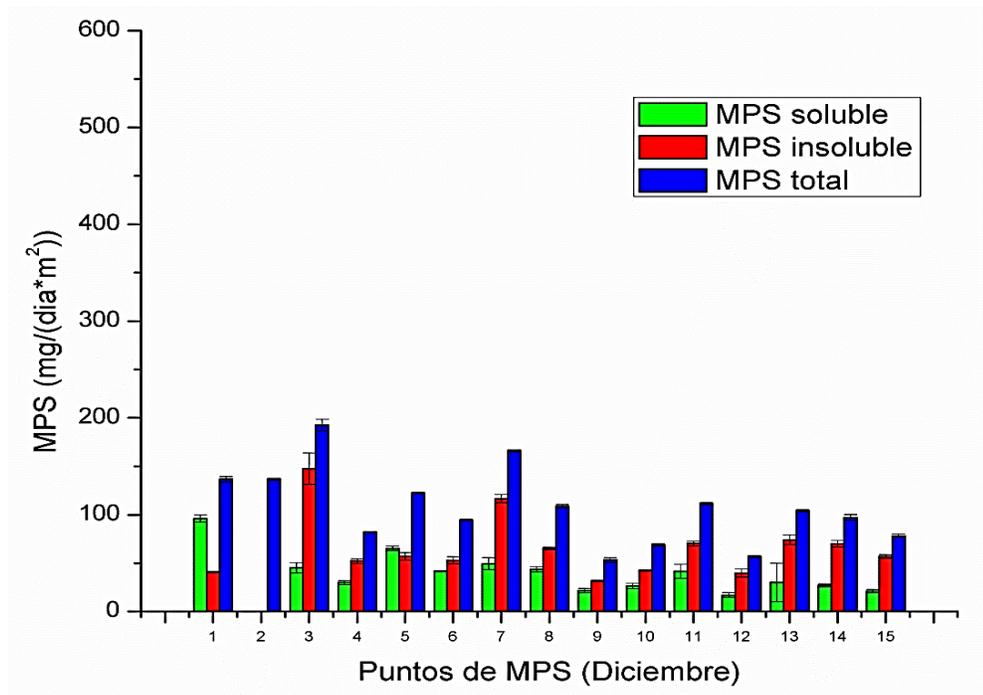


Figura 14: Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total, en los puntos correspondientes a diciembre.

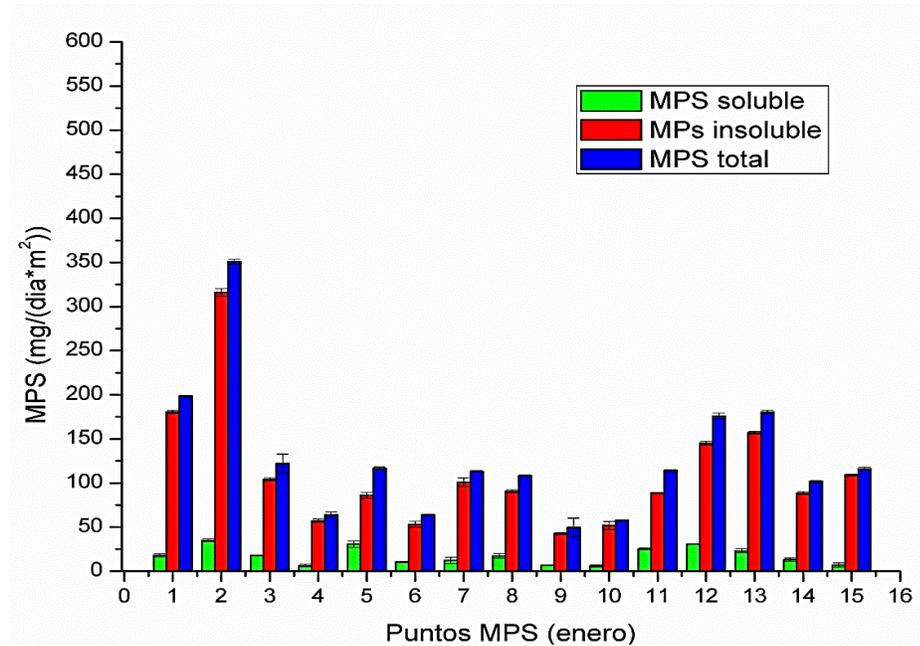


Figura 15: Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total, en los puntos correspondientes a enero.

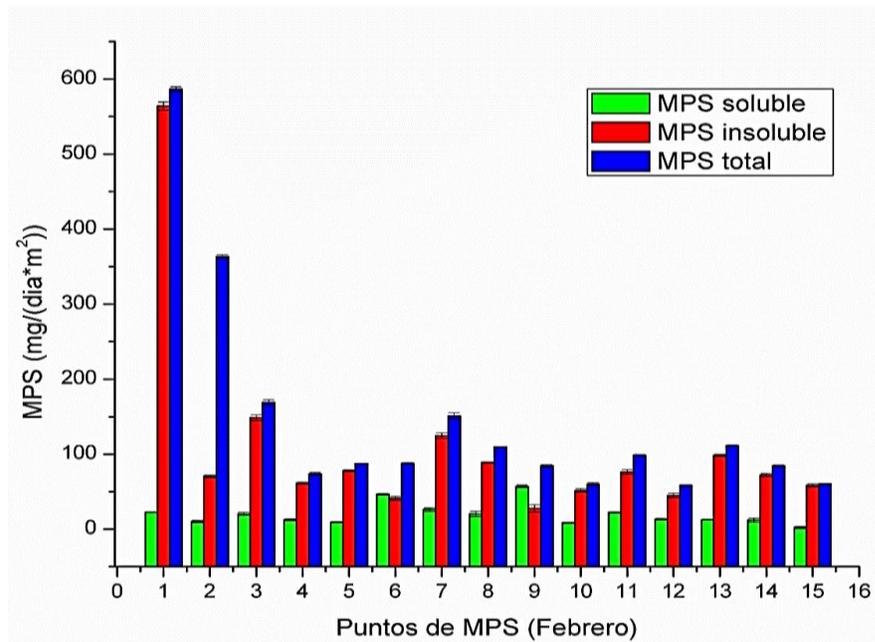


Figura 16: Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total, en los puntos correspondientes a febrero.

Para poder comparar los valores obtenidos con los límites establecidos en el Decreto Exento N° 4 de 1992 (Tabla 2), se promediaron los valores de MPS insoluble de los 15 puntos de toma de muestra, estos están expresados en el anexo 6.3.

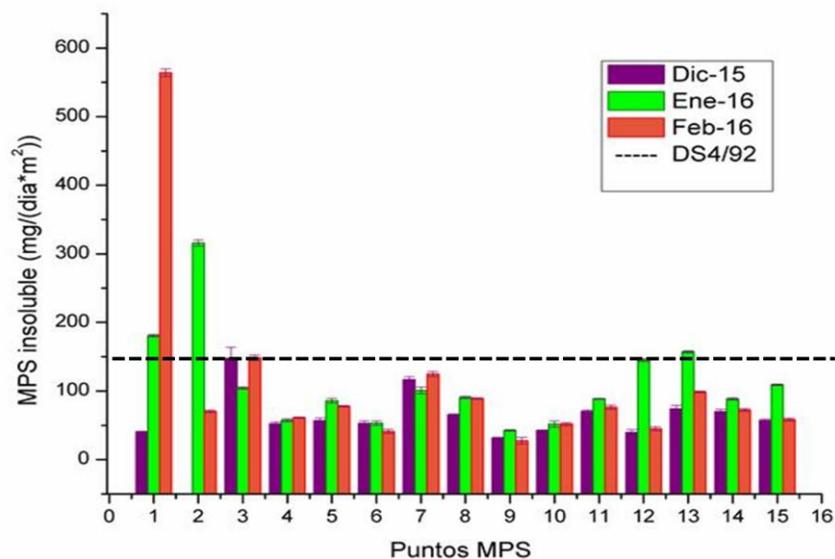


Figura 17: Valores promedio mensual de MPS de los puntos de muestreo respecto al límite establecido en el D4/92.

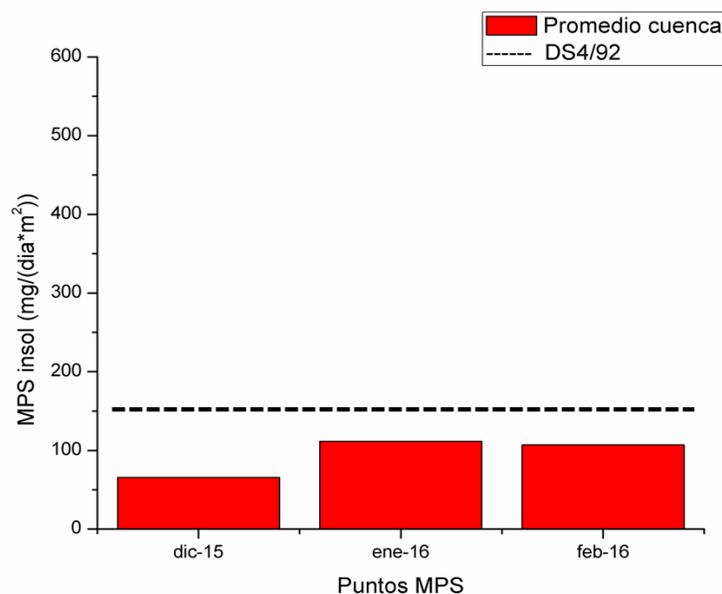


Figura 18: Promedio total mensual de MPS insoluble de la cuenca del Rio Huasco, para los 3 meses respecto al limite establecido en el D4/92.

Con respecto al Punto MPS-2, la muestra correspondiente al mes de diciembre/2015 fue contaminada, encontrándose tierra, lápices y basura, por lo que no fue posible su medición.

En los puntos MPS-1(casa Miguel Marambio, Huasco) y MPS-2 (Escuela Básica Mirella Zuleta, Huasco), se supera considerablemente la norma, mientras que en el punto MPS-3 (Fundo Totorá, Freirina) existe una excedencia leve a esta misma.

Respecto al resto de puntos, es decir, en la mayoría de ellos, no es superada la norma.

3.2. Metales pesados en Material Particulado Sedimentable (MPS)

A continuación se presentan los resultados de concentración [mg/kg] de metales en la fracción insoluble y soluble de MPS, para todas las muestras de este estudio. Estas concentraciones se encuentran expresadas en el anexo 6.4.

Se evidencia una alta concentración [mg/kg] en la fracción insoluble de Zn y Cr, teniendo un máximo de concentración en el punto MPS-1. Asimismo, para Cd su máximo de concentración se encuentra en el mismo punto.

En la fracción Insoluble de Cu, Ni y Pb se aprecia un alto valor de concentración [mg/kg] en la mayoría de los puntos de muestreo. Para Pb y Ni su máximo de concentración se encuentra en el punto MPS-1, mientras que para Cu en el punto MPS-11.

La fracción insoluble de Al se encuentra excesivamente elevada en todos los puntos muestreados. En los metales Mn y V, se obtiene una alta concentración [mg/kg] en la fracción insoluble en todos los puntos de muestreo. Para estos 3 metales, la fracción insoluble tiene su máximo de concentración en el punto MPS-1.

La fracción insoluble de Ba excede los 20 [mg/kg] en todos los puntos, llegando a un máximo en el punto MPS-1, al igual que la fracción insoluble de Co presentando su máximo en el mismo punto.

La fracción insoluble de Fe posee una excesiva concentración en todos los puntos de muestreo, con un máximo de concentración en el punto MPS-1. Mientras que para B, en la mayoría de los puntos de muestreo se evidencia una alta concentración en la fracción insoluble, teniendo un máximo en el punto MPS-6.

Por ende, los resultados de MPS insoluble indican que, los puntos de muestreo MPS-1 y MPS-2 sobrepasaron los valores de la Norma de calidad de Aire, y son los dos puntos más cercanos tanto a la Central Guacolda, como a la Planta de Pellets (expresado en el anexo 6.1, tabla 18). Además, en el punto MPS-1 se presentan las mayores concentraciones de los metales estudiados, por lo que las fuentes de contaminación respecto al MPS serían las dos mencionadas anteriormente.

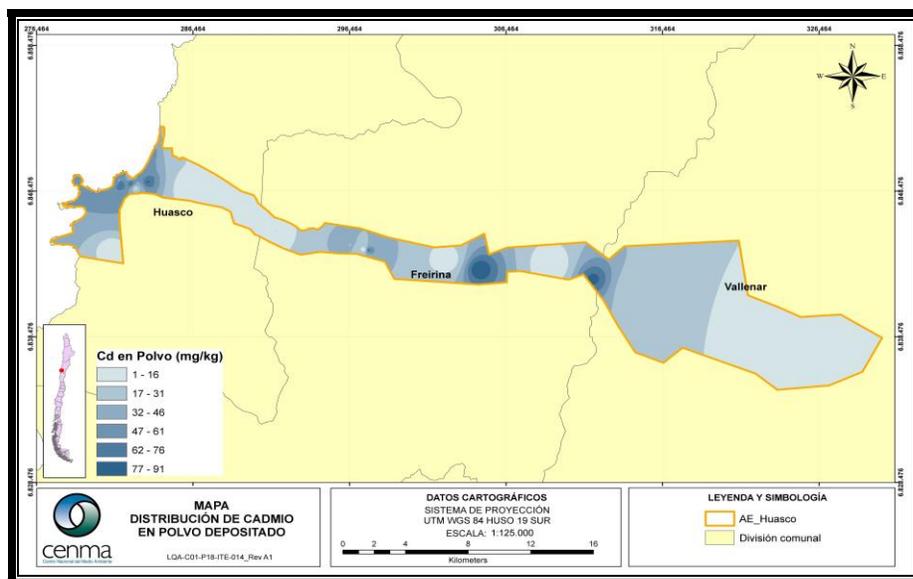
3.3. Metales en polvo negro depositado superficialmente.

En el anexo 6.5 se presentan los resultados para las concentraciones [mg/kg] de metales Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn, V, Ba, Co, y Fe, en las muestras de polvo depositado superficialmente en diferentes puntos de la zona de estudio (señalética, casas, etc).

De estos valores obtenidos, se puede apreciar que las mayores concentraciones de metales en las muestras de polvo depositado superficialmente, pertenecen a los metales Zn, Cu, Ni, Fe, V y Mn. Además, hay una excesiva concentración de Fe en todas las muestras.

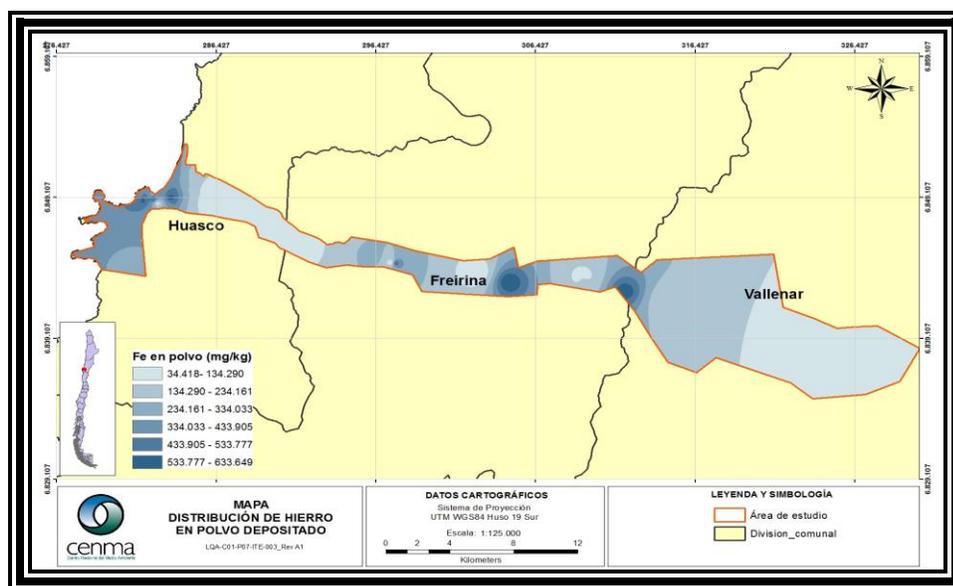
A continuación se presentan las gráficas de distribución de los metales analizados a lo largo de la zona de estudio.

Para Cadmio y Hierro:



Fuente: LQA CENMA

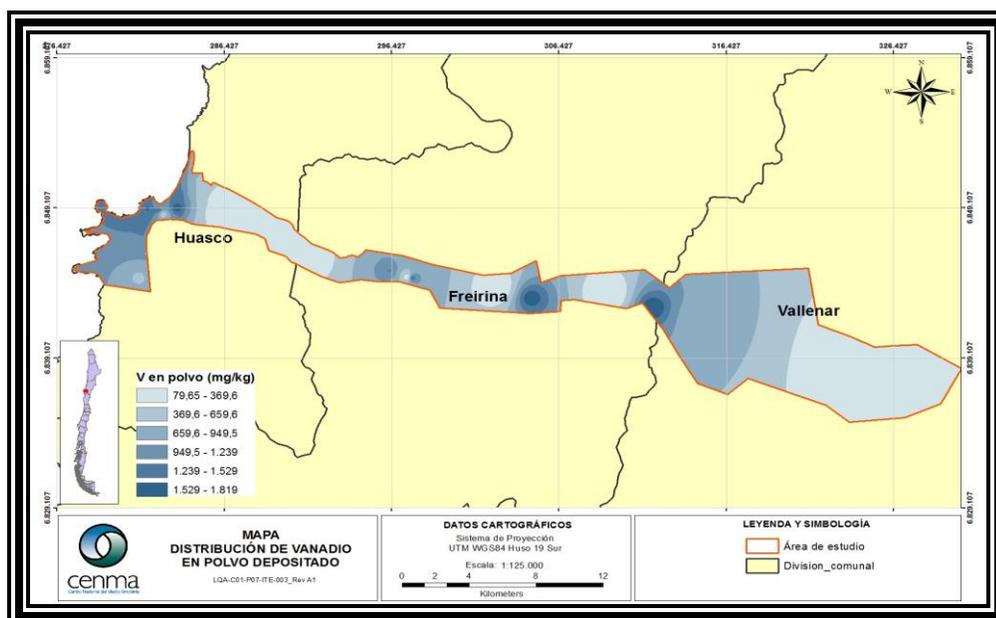
Figura 19: Concentración de Cd [mg/kg] en polvo depositado.



Fuente: LQA CENMA

Figura 20: Concentración de Fe [mg/kg] en polvo depositado.

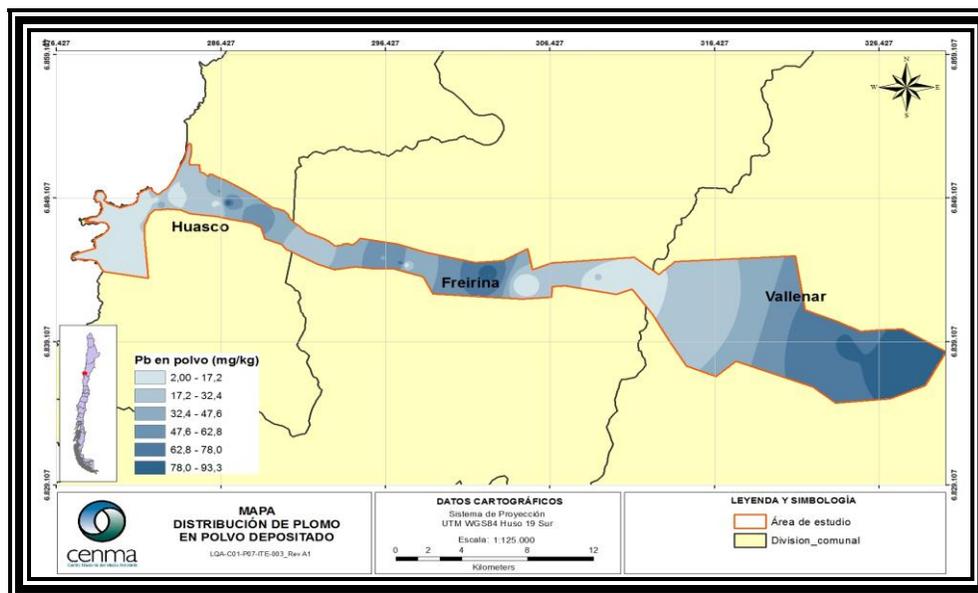
Para Vanadio:



Fuente: LQA CENMA

Figura 21: Concentración de V [mg/kg] en polvo depositado.

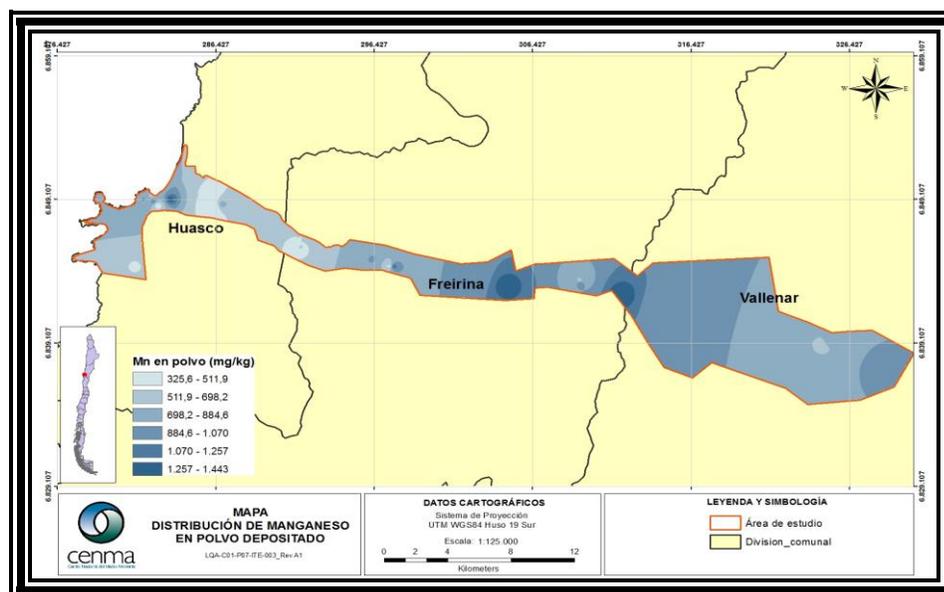
Para Plomo:



Fuente: LQA CENMA

Figura 22: Concentración de Pb [mg/kg] en polvo depositado.

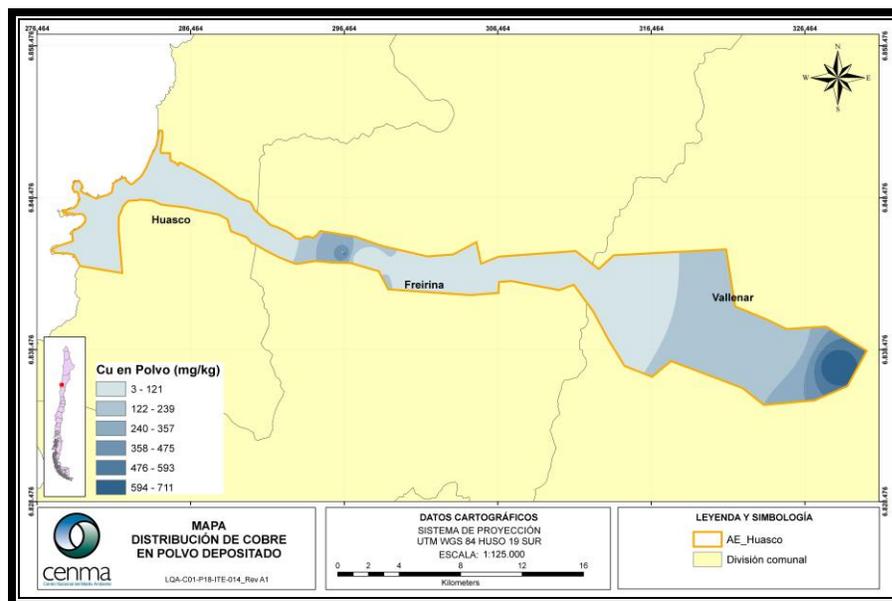
Para Manganeso:



Fuente: LQA CENMA

Figura 23: Concentración de Mn [mg/kg] en polvo depositado.

Para Cobre:



Fuente: LQA CENMA

Figura 24: Concentración de Cu [mg/kg] en polvo depositado.

En el anexo 6.5.2 se presenta la comparación del contenido de metales en el polvo de las muestras respecto del contenido de los mismos metales en el polvo obtenido de la ciudad de Vallenar, considerada como referencia de polvo urbano. Esta comparación se hizo dividiendo la concentración de cada metal en cada punto de muestreo, por la concentración del mismo metal en la muestra identificada como PTO 0-Polvo.

Esto reveló que, el polvo en la ciudad y en el valle de Huasco, es diferente del polvo en la ciudad de Vallenar en los contenidos de cadmio (Cd), níquel (Ni), vanadio (V) y hierro (Fe), ya que en la mayoría de los puntos muestreados se supera la concentración del punto de referencia. Para el Ba, solo hay un punto en el cual se supera en exceso la concentración con respecto al punto de referencia. Esto se muestra en la siguiente figura:

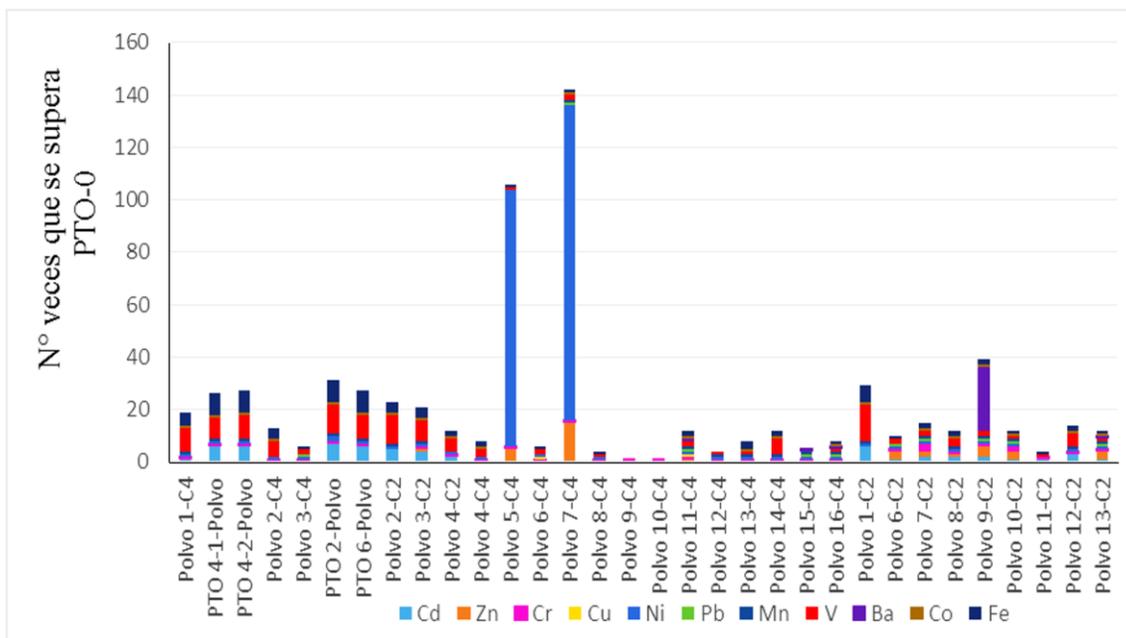


Figura 25: Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo urbano de la ciudad de Vallenar.

La Central Termoeléctrica Guacolda cuenta con cuatro unidades de generación eléctrica que utilizan carbón y petcoke, además de una cancha de acopio al aire libre para almacenar estos últimos (MMA, 2015). El petcoke contiene azufre, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. También contiene trazas de metales tales como hierro, magnesio, manganeso, boro, sodio, calcio, aluminio, níquel y vanadio. (Zaror y col., 1999)

Esto explica que el polvo negro depositado en Huasco fuera superior al de Vallenar, en Cd, Ni, V y Fe, ya que las cenizas de la combustión de petcoke contienen metales residuales, como los presentes, los cuales están en forma no lixiviables.

En el anexo 6.5.3, se presenta la comparación del contenido de metales en el polvo de las muestras, respecto al contenido de estos mismos en una muestra de polvo proveniente del sector industrial de Huasco, que fue tomada a 5 metros del suelo aproximadamente. Esta comparación se hizo dividiendo la concentración de cada metal en cada punto de muestreo, por la concentración del mismo metal en la muestra identificada como PTO 34-1-Polvo.

Los resultados indican que el polvo depositado en el suelo es mucho más concentrado en Cd, Pb, Fe y V que el polvo que se encuentra a 5 m de altura. Esto se puede ver en la siguiente figura:

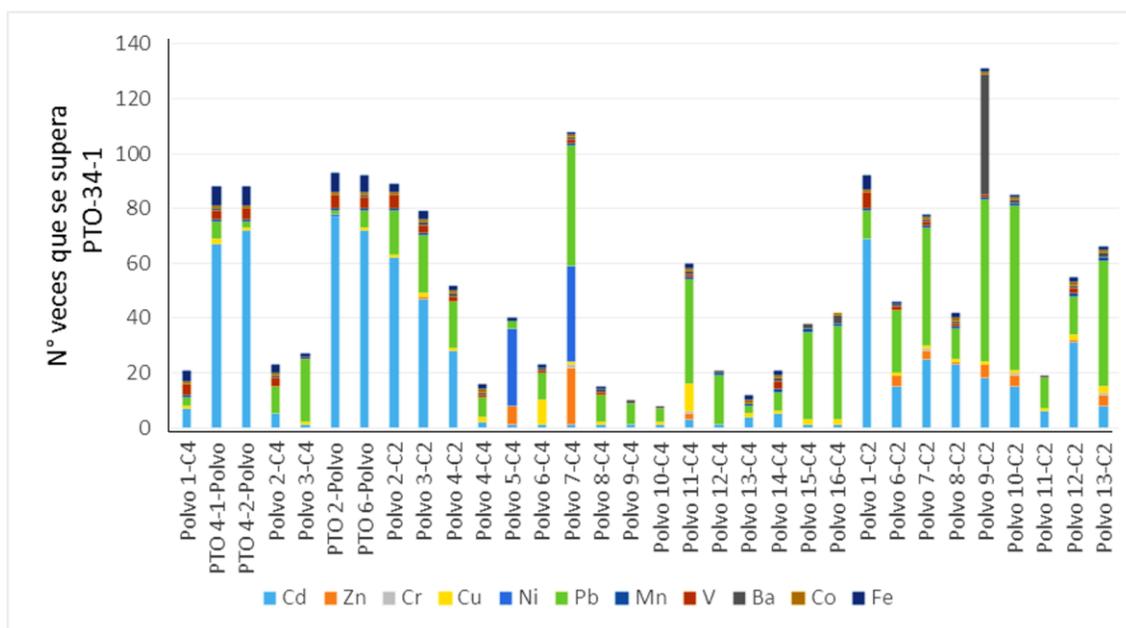


Figura 26: Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo que se encuentra a 5 m del suelo.

El polvo depositado en el suelo de Huasco resulto ser mucho más concentrado en Cd, Pb, Fe y V que el polvo a 5m de altura (sector industrial), lo que indica que el

mecanismo de movilización del polvo en la zona es mediante transporte de partículas a nivel de suelo. Esto explica las bajas concentraciones de MPS en la mayoría de los puntos.

Estos metales presentes pueden deberse al proceso de erosión del viento al cual son expuestas las pilas de preconcentrado de hierro y pellets en canchas de acopio, los procesos de carga y descarga de material, y el transporte de los pellets hacia el puerto Guacolda II, mediante correas tubulares.

En el anexo 6.5.4 se presenta la comparación del contenido de metales en el polvo de las muestras, respecto del mismo, en una muestra de polvo caída del tren de Ferronor en su recorrido por el valle de Huasco. Esta comparación se hizo dividiendo la concentración de cada metal en cada punto de muestreo, por la concentración del mismo metal en la muestra identificada como PTO 49-2-Polvo.

De estos resultados se observa que los metales Zn, Cr, Pb, y Ba, superan en concentración a la muestra de referencia.

Los metales como Cd, Ni (a excepción de algunos puntos de muestreo), Mn, V, Co y Fe, poseen prácticamente la misma concentración en polvo negro depositado que el material transportado por el tren de Ferronor. Esto se puede visualizar en la siguiente figura:

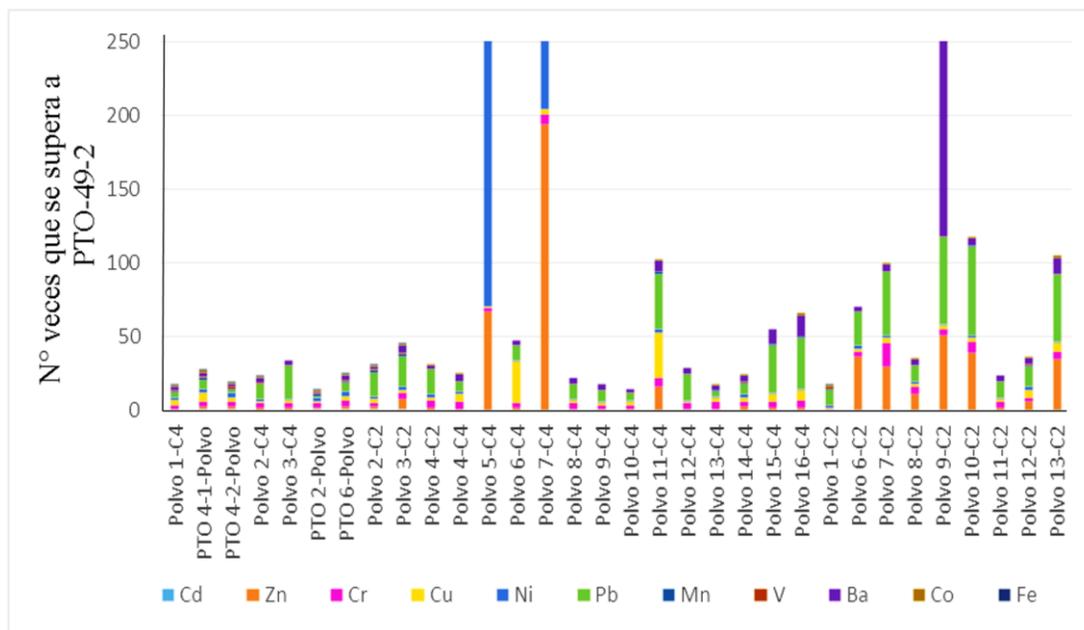


Figura 27: Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del material que cae del tren de Ferronor

El hecho de obtener prácticamente la misma concentración de metales Cd, Mn, V, Co y Fe en el polvo negro de Huasco, con respecto a la muestra caída del tren de carga, demuestra que estos metales están presentes producto del transporte de material, que realiza el tren perteneciente a CAP.

Los metales Pb, Mn y Cu en el polvo depositado, presentaron mayores concentraciones desde Freirina en dirección a Vallenar, por lo que tienen relación con otras fuentes, que pueden ser naturales o antropogénicas.

3.3.1 Valores EMEG para polvo depositado superficialmente

Con respecto a la comparación de las muestras con los valores EMEG (Tabla 5), se obtuvo lo siguiente:

Tabla 9. Valor máximo de contaminantes de interés en polvo depositado y su comparación con valores EMEG.

Metal	Valor máximo [mg/kg]	EMEG infante [mg/kg] (1)	EMEG niño [mg/kg](2)	EMEG adulto [mg/kg](3)	Supera
Cd	78,23	2,85	4	140	(1) y (2)
Zn	18622,75	8571,43	12000	420000	(1) y (2)
Cr	94,83	25,71	36	1260	(1) y (2)
Cu	868,04	285,71	400	14000	(1) y (2)
Ni	4074,85	571,43	800	28000	(1) y (2)
Pb	126,34	250			No supera
Mn	1213,77	4571,43	6400	224000	No supera
V	1969,76	285,71	400	14000	(1) y (2)
Ba	4095,85	5714,29	8000	280000	No supera
Co	31,71	285,71	400	14000	No supera
Fe	595000,00	---	---	---	---

Debido a que los valores máximos de Cd, Zn, Cr, Cu, Ni y V, superan los valores de referencia EMEG, se requiere evaluación de riesgo tanto para infantes como para niños, respecto a estos metales.

3.4. Metales en suelo superficial y suelos background.

En la siguiente tabla se presentan los valores promedio de metales en los suelos de la zona de estudio. Estos valores fueron agrupados en 4 sectores: zona industrial de Huasco, la ciudad de Huasco, el valle de Huasco, Vallenar como sector de referencia.

Tabla 10. Valores promedio de concentración de metales (mg/kg) en suelo superficial, para diferentes sectores de la zona de estudio.

	Valor promedio (mg/kg) en la ciudad de Huasco.	Valor promedio (mg/kg) en la Zona industrial	Valor promedio (mg/kg) en el valle de Huasco	Valor promedio (mg/kg) en la ciudad de Vallenar
Cd	18,38	24,74	5,35	3,49
Zn	102,28	58,32	66,82	97,16
Cr	22,67	24,18	21,94	24,62
Cu	69,77	23,09	59,05	265,22
Ni	19,99	27,07	13,61	15,09
Pb	24,12	74,63	13,79	29,8
Mn	375,5	363,05	922,35	577,2
V	350,9	414,14	70,82	75,3
Ba	34,92	162,37	62,4	84,22
Co	15,23	13,86	10,76	15,30
Fe	121564,83	139243,93	28229,27	29477,50

Fuente: LQA CENMA

Los resultados de los metales en suelos background corresponden a 36 muestras obtenidas en sectores no intervenidos y representan los tipos geológicos presentes en la zona de estudio (Tabla 7).

A continuación se presenta la estadística descriptiva de los metales en suelo para niveles background.

Tabla 11. Estadística descriptiva de los metales en suelos background de la zona de estudio.

	Valor mínimo (mg/kg)	Valor máximo (mg/kg)	Valor promedio (mg/kg)	Valor mediana (mg/kg)	95%UC L (mg/kg)	Distribución estadística
Zn	20,47	239,22	80,67	53,92	121,20	Chebyshev
Cr	12,37	63,34	29,64	25,73	32,08	Gamma
As	3,44	57,84	20,08	16,18	30,27	Chebyshev
Cu	10,64	192,12	61,31	46,66	75,56	Gamma
Ni	6,49	34,37	20,36	21,06	21,20	t-Student
Pb	4,30	32,99	15,15	15,17	15,42	Chebyshev
Al	2148,06	12226,82	7900,45	8880,54	8655,00	t-Student
Mn	164,66	2281,12	1115,12	1214,72	1252,00	t-Student
V	28,70	218,01	90,23	84,40	100,40	t-Student
Ba	9,87	130,41	61,51	57,45	70,55	t-Student
Co	4,28	68,76	21,56	20,56	23,81	Gamma
Fe	12798,26	63775,51	37786,01	39683,65	40857,00	t-Student

Fuente: LQA CENMA

Los metales Cd, Se, Ag, Mo, Be y B se encontraron en niveles no detectables para todas o la mayoría de las muestras por lo que puede considerarse que tienen escasa presencia en los suelos naturales de la zona de estudio.

A continuación se presenta una tabla comparativa del promedio de concentración de metales en las zonas de estudio respecto a su valor Background.

Tabla 12. Valores promedio (mg/kg) de metales en suelo en los diferentes sectores de la zona de estudio, comparados con los niveles background de la zona de estudio.

	Valor promedio (mg/kg) ciudad de Huasco.	Valor promedio (mg/kg) Zona industrial	Valor promedio (mg/kg) valle de Huasco	Valor promedio (mg/kg) ciudad de Vallenar	Valor 95%UCL (mg/kg) Background de la zona
Cd	18,38	24,74	5,35	3,49	1,02
Zn	102,28	58,32	66,82	97,16	121,2
Cr	22,67	24,18	21,94	24,62	32,08
Cu	69,77	23,09	59,05	265,22	75,56
Ni	19,99	27,07	13,61	15,09	21,2
Pb	24,12	74,63	13,79	29,8	15,42
Mn	375,5	363,05	922,35	577,2	1252
V	350,9	414,14	70,82	75,3	100,4
Ba	34,92	162,37	62,4	84,22	70,55
Co	15,23	13,86	10,76	15,3	23,81
Fe	121565	139244	28229	29478	40857

Fuente: LQA CENMA

Los valores obtenidos que superan el nivel background son los siguientes:

- Cd para todas las zonas estudiadas,
- Cu en la ciudad de Vallenar,
- Ni en la zona industrial,
- Pb en la ciudad de Huasco, en la zona industrial y en Vallenar,
- V en la ciudad de Huasco y la zona industrial,
- Ba en la zona industrial y Vallenar,
- Fe en la ciudad de Huasco y la zona industrial.

Dado que los metales Cd, Pb, V y Fe en suelo superficial, superaron el nivel background en la ciudad de Huasco y la zona industrial, se puede decir que existe actividad antropogénica propia en la zona, que contamina esta misma con los metales mencionados anteriormente.

3.4.1. Valores EMEG para suelo

A continuación se presentan los valores máximos de concentración para metales en suelo, según los sectores de estudio, para su comparación con los valores EMEG (Tabla 7).

Tabla 13. Valores máximos [mg/kg] de metales en sectores de estudio y su comparación con el valor EMEG para infantes.

Metal	Valor máx. ciudad Huasco [mg/kg]	Valor máximo S. Industrial [mg/kg]	Valor máximo Valle Huasco [mg/kg]	Valor máximo Vallenar [mg/kg]	EMEG infante [mg/kg]
V	1173,97	1219	101,94	90,98	285,71
Cr	36,12	45,33	38,15	28,99	25,71
Ni	30,18	48,65	20,87	22,25	571,43
Cu	174,2	31,98	685,83	1113,55	285,71
Zn	215,07	144,1	142,5	133,17	8571,43
Ba	62,58	717,5	254,7	136,25	5714,29
Mn	493,2	654,4	8633,92	776,29	4571,43
Co	25,08	27,07	16,5	31,68	285,71
Cd	40,82	70,44	7,83	6,64	2,86
Pb	43,07	128	67,25	49,17	250

Tabla 14. Valores máximos [mg/kg] de metales en sectores de estudio y su comparación con el valor EMEG para niños.

Metal	Valor máximo ciudad Huasco [mg/kg]	Valor máximo S. Industrial [mg/kg]	Valor máximo Valle Huasco [mg/kg]	Valor máximo Vallenar [mg/kg]	EMEG niño [mg/kg]
V	1173,97	1219	101,94	90,98	400
Cr	36,12	45,33	38,15	28,99	36
Ni	30,18	48,65	20,87	22,25	800
Cu	174,2	31,98	685,83	1113,55	400
Zn	215,07	144,1	142,5	133,17	12000
Ba	62,58	717,5	254,7	136,25	8000
Mn	493,2	654,4	8633,92	776,29	6400
Co	25,08	27,07	16,5	31,68	400
Cd	40,82	70,44	7,83	6,64	4
Pb	43,07	128	67,25	49,17	250

Tabla 15. Valores máximos [mg/kg] de metales en los sectores de estudio y su comparación con el valor EMEG para adultos.

Metal	Valor máximo ciudad Huasco [mg/kg]	Valor máximo S. Industrial [mg/kg]	Valor máximo Valle Huasco [mg/kg]	Valor máximo Vallenar [mg/kg]	EMEG adulto [mg/kg]
V	1173,97	1219	101,94	90,98	14000
Cr	36,12	45,33	38,15	28,99	1260
Ni	30,18	48,65	20,87	22,25	28000
Cu	174,2	31,98	685,83	1113,55	14000
Zn	215,07	144,1	142,5	133,17	420000
Ba	62,58	717,5	254,7	136,25	280000
Mn	493,2	654,4	8633,92	776,29	224000
Co	25,08	27,07	16,5	31,68	14000
Cd	40,82	70,44	7,83	6,64	140
Pb	43,07	128	67,25	49,17	250

De estos resultados se puede obtener que son contaminantes potenciales e importantes los siguientes metales, por sector estudiado:

- Ciudad de Huasco

Para infantes y niños: Vanadio, Cromo, Cadmio.

- Huasco valle

Para infantes y niños: Cromo, Cobre, Manganeseo, Cadmio.

- Ciudad de Vallenar

Para infantes: Cromo, Cobre, Cadmio.

Niños: Cobre, Cadmio.

- Sector industrial

Para infantes y niños: Vanadio, Cromo, Cadmio.

Los metales Cd, Cr, Cu, y V, al ser comparados con los valores EMEG, resultaron ser contaminantes potenciales e importantes en polvo depositado (además de Ni y Zn), y en suelo superficial (además de Mn), tanto para infantes como para niños. Debido a la peligrosidad en la exposición de la población a metales (CENMA 2013 a, y otras), en especial a receptores de menor edad, se propone una evaluación de los efectos a la salud humana a través de un monitoreo biológico, el cual debiese ser efectuado por el Ministerio de Salud de Chile.

3.5. Sedimentos fluviales

Los resultados corresponden a muestras del Rio Huasco. Los valores obtenidos de cada punto de muestreo se aprecian en la tabla del anexo 6.6.

A continuación se presentan las comparaciones de las concentraciones de metales [mg/kg] obtenidas, con los respectivos valores de referencia de toxicidad de sedimentos por metales, que se encuentran en la Tabla 4.

Para Cadmio y Zinc, se obtuvo lo siguiente respectivamente:

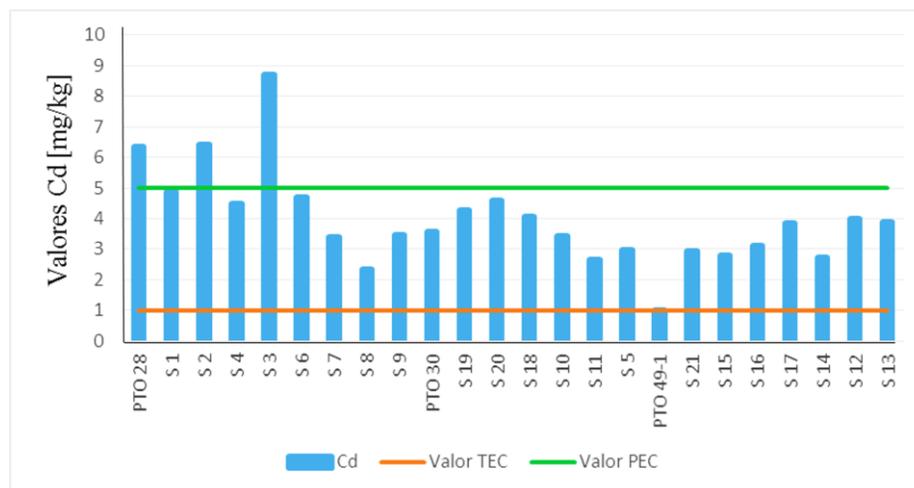


Figura 28: Valores de Cd [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Para Cd prácticamente en todas las muestras se excede el valor TEC y en 3 muestras el valor PEC.

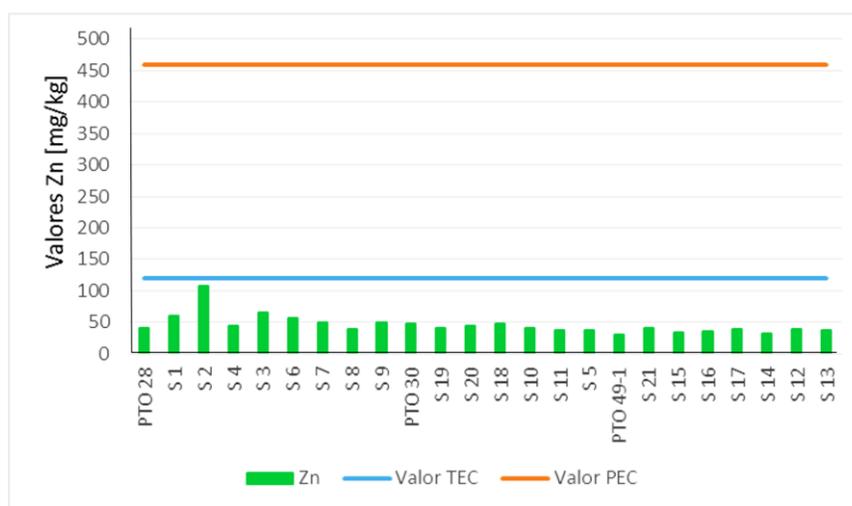


Figura 29: Valores de Zn [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

En ninguna de las muestras obtenidas el valor de concentración de Cinc supero los valores de referencia TEC y PEC.

Para Cromo se obtuvo lo siguiente:

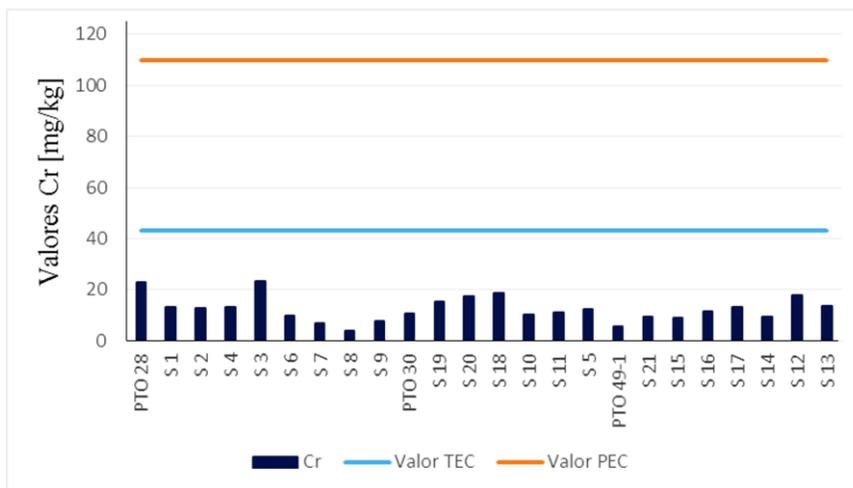


Figura 30: Valores de Cr [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

En ninguna de las muestras obtenidas el valor de concentración de Cromo supero los valores de referencia TEC y PEC.

Para Cobre se obtuvo lo siguiente:

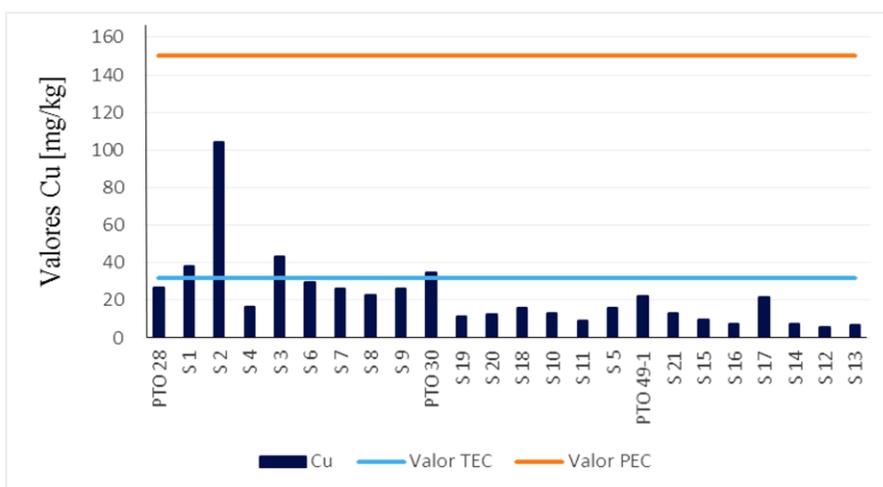


Figura 31: Valores de Cu [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Para Cobre en 4 muestras se excedió el valor de referencia TEC.

Para Níquel se obtuvo lo siguiente:

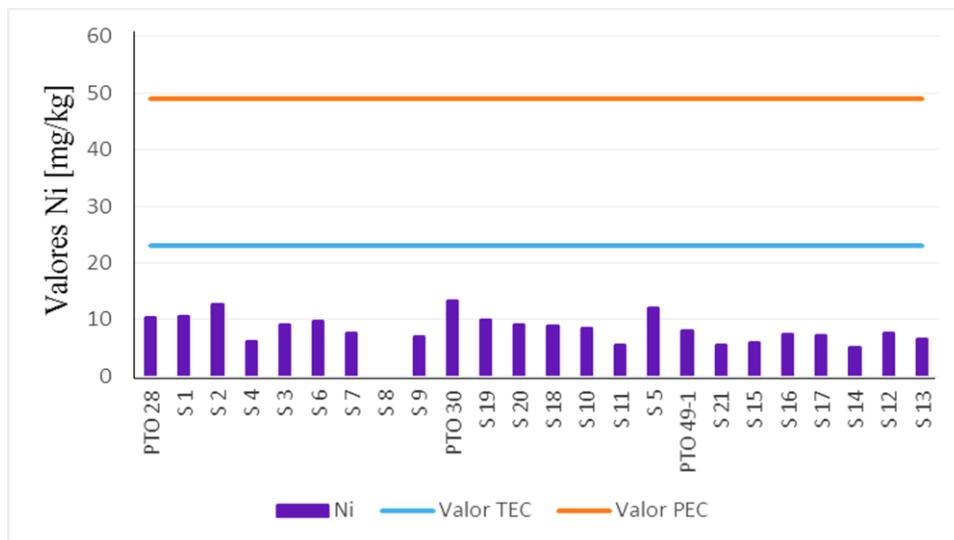


Figura 32: Valores de Ni [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

En ninguna de las muestras la concentración de Níquel excedió el valor de referencia TEC y PEC.

Para Plomo se obtuvo lo siguiente:

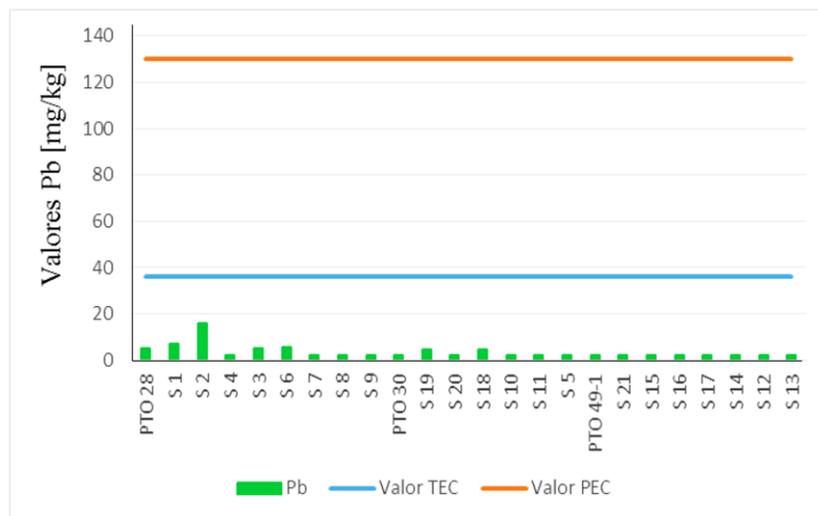


Figura 33: Valores de Pb [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

En ninguna de las muestras obtenidas el valor de concentración de Plomo superó los valores de referencia TEC y PEC.

Para Manganeseo se obtuvo lo siguiente:

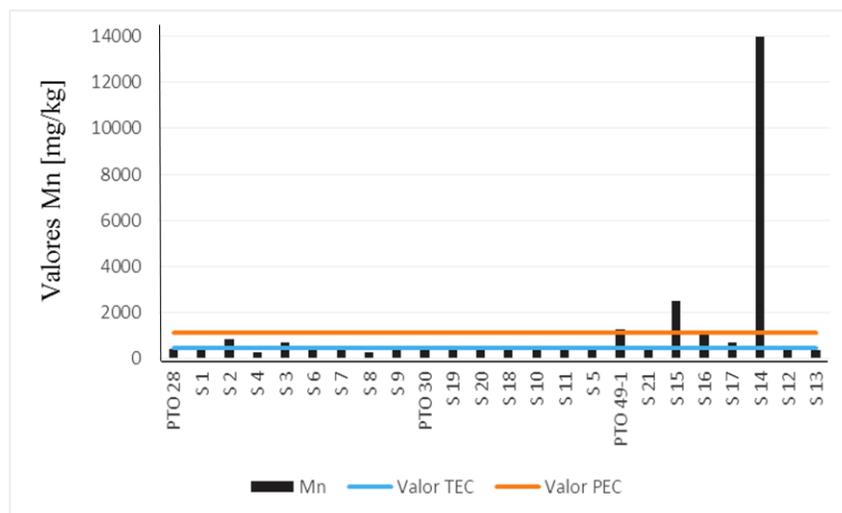


Figura 34: Valores de Mn [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

Para Manganeseo en 11 de las muestras obtenidas se excede el valor TEC, y en 3 de ellas el valor PEC.

Finalmente para Hierro se obtuvo lo siguiente:

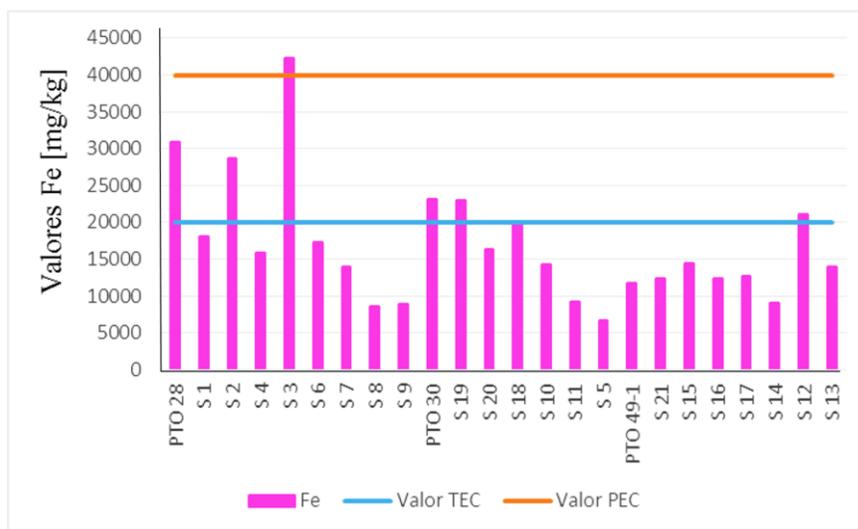


Figura 35: Valores de Fe [mg/kg] para todos los puntos y su comparación con los valores de referencia.

En el caso de Hierro, en 6 muestras se excedió el valor de referencia TEC y en 1 muestra el valor de referencia PEC.

Para los metales Bario, Cobalto y Vanadio no se han descrito valores de referencia de contaminación de sedimentos.

Dados estos resultados, se propone un estudio adicional de la biota existente en la cuenca del río Huasco, para analizar la incidencia de estos metales en ella, y el nivel de daño ecológico posible.

3.6. Agua superficial

De acuerdo al anexo 6.6, en resumen, los valores obtenidos para la concentración de metales totales [mg/L] fueron las siguientes:

Tabla 16. Metales totales [mg/L] en muestras de agua superficial.

Metal	Metales totales [mg/L]
Cd	< 0,003
Zn	<0,035
Cr	<0,006
As	< 0,015
Cu	<0,008
Ni	<0,040
Pb	< 0,008
Al	< 0,220
V	< 0,004
Ba	<0,050
Co	< 0,001
Mo	<0,007
Be	<0,001
B	< 1,700
Fe	<0,300

Las concentraciones de metales en aguas superficiales fueron muy bajas, por lo que no es posible relacionarlas con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco en este estudio.

Las emisiones de la Central Termoeléctrica Guacolda y el complejo CAP se relacionan a la contaminación existente en Huasco, dadas las altas concentraciones resultantes de ciertos metales en este estudio, y al MPS resultante cercano a estas fuentes. Se propone un estudio complementario de emisiones de dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂), ya que son principales contaminantes emitidos en el proceso de

combustión (MMA, 2011), y la relación existente de estos con el MP (RECT, 2017). Así, se podrá analizar su relación con estos resultados y aportar mayores antecedentes. Además, se propone un nuevo muestreo de MPS, con colectores ubicados a diferentes distancias desde el suelo, ya que las muestras obtenidas fueron de bajas concentraciones, y posiblemente no representen la realidad de la zona.

Se espera que el Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para la Localidad de Huasco y su zona circundante, el cual fue aprobado en agosto de 2017 (MMA, 2017), logre reducir las emisiones de Material Particulado desde las dos fuentes antropogénicas mencionadas en este estudio, integradas en este plan, así como también, el cumplimiento de la norma de emisión de termoeléctricas (MMA, 2011).

Por último, es importante destacar que en Chile aún no existe una normativa específica que regule expresamente la calidad de los suelos, y de los sedimentos, así como la incidencia de los metales pesados en estos. Es necesario recurrir a valores internacionales, lo que demuestra que falta mucho camino por recorrer, en cuanto a legislación ambiental y al derecho de vivir en un medioambiente libre de contaminación como lo señala la constitución chilena.

IV. CONCLUSIONES

1. Por medio de la técnica analítica validada, como ICP-OES, se logró determinar la presencia de los metales Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Se, Al, Mn, Ag, V, Ba, Co, Mo, y Be, en diversas matrices ambientales en la zona de estudio.
2. Los resultados de MPS insoluble indican que, los puntos de muestreo MPS-1 y MPS-2 sobrepasaron los valores de la Norma de calidad de Aire, siendo los dos puntos más cercanos tanto a la Central Guacolda, como a la Planta de Pellets. Además, en el punto MPS-1 se presentan las mayores concentraciones de los metales estudiados, deduciendo así, que las fuentes de contaminación respecto al MPS serían las dos mencionadas anteriormente.
3. El polvo negro depositado en Huasco fue superior al de Vallenar, en Cd, Ni, V y Fe, producto del uso de petcoke en la zona, el cual contiene azufre, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, además de trazas de hierro, magnesio, manganeso, boro, sodio, calcio, aluminio, níquel y vanadio.
4. El polvo depositado en el suelo de Huasco resulto ser mucho más concentrado en Cd, Pb, Fe y V que el polvo en el sector industrial, indicando que el mecanismo de movilización del polvo en la zona es mediante transporte de partículas a nivel de suelo. Esto es atribuible proceso al de erosión del viento al cual son expuestas

las pilas de preconcentrado de hierro y pellets en canchas de acopio, los procesos de descargas de material, y el transporte de los pellets hacia el puerto Guacolda II mediante correas tubulares .

5. Los patrones de distribución para Cd, Fe, V resultaron similares, con altas concentraciones en la ciudad de Huasco, en un sector del valle, y también en el límite comunal entre Freirina y Vallenar, coincidiendo con la trayectoria del tren que transporta mineral rico en Fe y V, para CAP Minerals.
6. Dados los valores TEC y PEC en muestras de sedimentos fluviales, se propone un estudio adicional de biota existente en la cuenca del río Huasco, para analizar la incidencia de los metales encontrados en ella, y el nivel de daño ecológico posible.
7. Las concentraciones de metales en aguas superficiales fueron muy bajas, por lo que no se relacionan con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.
8. Dados los antecedentes existentes y los resultados obtenidos en este estudio, se puede deducir que existe presencia de polvo negro por dos fuentes antropogénicas en Huasco: La Central Termoeléctrica Guacolda y el complejo perteneciente a CAP

V. BIBLIOGRAFIA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. Evaluación de Riesgos en Salud por la Exposición a Residuos Peligrosos. Apéndice A: Guías para la evaluación de medios ambientales. (Disponible en <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc11119/doc11119.htm>) Consultado el 12 de agosto de 2017
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Junio 2017, Minimal Risk Levels (MRLs). (Disponible en https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/atsdr_mrls.pdf) Consultado el 12 agosto de 2017
- Arciniegas, C.A. 2012. Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Luna Azul. Rev. 34: 195-213.
- Compañía Minera del Pacífico S.A. (CAP Minería). 2017. (Disponible en <http://www.capmineria.cl/operacione/valle-del-huasco/>) Consultado el 13 de diciembre de 2017
- Compañía Minera del Pacífico S.A. (CAP Minería). 2015. Reporte de sustentabilidad. (Disponible en http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2016/10/cap_mineria_reporte_sustentabilidad_2015.pdf) Consultado el 13 de diciembre de 2017
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2010. Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua, Introducción – Metodología, Tomo II de V.
- Centro Nacional de Medio Ambiente (CENMA). 2013. Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2013. Estudio ambiental del ex vertedero La Cañamera como fuente de contaminación.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2014. “Informe Polvo y Suelo, Huasco, muestras tomadas 2 de abril 2014”.

- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2015. Propuesta técnica “Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación”
- Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM). 1992. Especificaciones técnicas para implementación de red de monitoreo material particulado en cuenca río Huasco.
- Chung-Yuan, Y. (2009). “Soot Particle Size Measurements in Laminar Premixed Ethylene Flames with Laser-induced Incandescence and Scanning Mobility Particle Sizer”
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2010. Relación de la norma de calidad primaria MP2, 5 con la norma de calidad primaria de MP10.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2010. Antecedentes previos al plan de prevención de la localidad de Huasco y su zona circundante, Informe técnico declaración de zona latente por MP10 en Huasco III región.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2010. “Informe Técnico Declaración Zona latente por MP-10 en Huasco III Región”.
- Contrastes de Atacama, 2017. (Disponible en <http://contrastesdeatacama.com/historia-de-huasco/>) Consultado el 2 de diciembre de 2017.
- Dirección General de Aguas (DGA). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos de agua según objetivos de calidad. (Disponible en <http://documentos.dga.cl/CQA4432v1.pdf>) Consultado el 2 de diciembre de 2017.
- Díaz, B.F., 1996. Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima. (Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial/fulltex/metodolo.pdf>) Consultado el 2 de diciembre de 2017.
- Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC). 2013. “Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica, II Temporada, y prospecciones de las condiciones edáficas del rubro olivícola, sector costero Valle del Huasco”.

- D.S.4. (1992). Publicado en el Diario Oficial de 2 de marzo de 1992 del Ministerio de Salud. Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales.
- D.E.4. (1992). Publicado el 02 de mayo de 1992 del Ministerio de Agricultura. “Normas de calidad de aire para material particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco III región”.
- D.S.13. (2011). Publicado el 26 de junio de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente. “Norma de emisión para centrales termoeléctricas”.
- D.S.20. (2013). Publicado el 3 de junio de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile 16 de diciembre de 2013. “Norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia y deroga decreto N°59/98”.
- D.38. (2017). Publicado el 30 de agosto de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente. “Plan de prevención de contaminación atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante”.
- D.40. (2012). Publicado el 23 de mayo de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente. “Declara zona latente por material particulado respirable MP10, como concentración anual, a la localidad de Huasco y su zona circundante”.
- Eblen, R.A. and Eblen, W.R. The Encyclopedia of the Environment, Houghton Mifflin Co., New York.,1994.
- E.E. Ziegler, L.J. Filer. 1996. Present Knowledge of Nutrition. Seventh edition. ILSI Press, Washington, DC, 1996.
- Handbook on the Toxicology of Metals. G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg, y L.T. Friberg. Third edition, 2007. Academic Press/Elsevier.
- Hernández, M. 2014. Riego toxicológico en personas expuestas, a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del atlántico, Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia.
- Howe, Paul D, Malcolm, H. M, Dobson, Stuart, World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. (2004). Manganese and its compounds: environmental aspects. Geneva: World Health Organization

(Disponible en <https://extranet.who.int/iris/restricted/handle/10665/42992>)
Consultado el 15 de Agosto de 2017.

- Mac Donald, D.D., C.G. Ingersoll & T.A Berger. 2000. “Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems”. Archives of Environmental Contamination and Toxicology.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2010. Guía técnica para la elaboración e implementación de programas de vigilancia de normas ambientales de calidad de agua.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2011. Resumen ejecutivo 2011, capítulo 1. (Disponible en http://www.mma.gob.cl/1304/articulos-52016_Capitulo_1.pdf) Consultado el 5 de junio de 2017.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012. Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2013. Elaboración de revisión norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10 (DS N°59/1998 de MINSEGPRES), acuerdo N°1.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2015. Anteproyecto plan de prevención de contaminación atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2013. Informe final, Rev. 1, Análisis integrado de gestión en cuenca del Río Huasco, Región de Atacama. (Disponible en <http://documentos.dga.cl/ADM5461.pdf>) Consultado 2 de agosto de 2017.
- Mosjos, A.S. 2017. Estudio geoquímico ambiental y mapa de riesgos de la cuenca del río Huasco, III región de Atacama. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1998. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Metales: Propiedades químicas y toxicidad. Pág. 63. (Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>) Consultado el 7 de agosto de 2017.
- Plan de Desarrollo Comunal de la Comuna de Huasco 2011-2015. (Disponible en: <http://www.imhuasco.cl/doc2015/secpla/PLADECO%20HUASCO%202011%20-%202015.pdf>) Consultado el 20 de marzo de 2017.

- Raúl G. E. Morales. 2006. Contaminación atmosférica urbana: Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. p: 108-110. Editorial Universitaria, Santiago.
- RCA del proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets", Resolución Exenta No 215, Copiapó, 16 de Septiembre de 2010
- Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RECT). 2017. (Disponible en <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/propertyvalue-11810.html>) Consultado el 20 de marzo de 2017
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA). 2017. Estación sívica Huasco. (Disponible en <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/333>) Consultado el 12 de agosto de 2017.
- Walker, F.P., Alfaro, M.S., Cortes, R.S. 1998. Plan regulador comunal de Huasco. Universidad de la Serena.
- Zaror, Z.C., Parra, B.O., Barra, R.R. 1999. Estado del arte de la información técnica y científica sobre el coque de petróleo y análisis de su significado ambiental y toxicológico. Universidad de Concepción, Chile.

ANEXOS

Anexo 6.1. Tablas de muestreadores de MPS

Tabla 17: Ubicación de los muestreadores de MPS instalados.

N°	Punto de instalación	Coordenada WGS 84 Uso 19 sur		Sector	Observaciones del sector
		Este	Norte		
MPS-1	Dirección Miramar 525. Huasco	281694	6849230	Huasco Ciudad	
MPS-2	Escuela Básica Mireya Zuleta Astudillo	282446	6849304	Huasco Centro	Escuela Básica Mireya Zuleta Astudillo
MPS-3	Estación Sívica	282765,96	6848692,3	Huasco Urbano	
MPS-4	Estación N° 4 del SAG	286148,37	6848650,19	Huasco Bajo	Estación segura. Se gestionó con el dueño
MPS-5	Hacienda Olivos Centenarios	286290,07	6849488,67	Huasco Bajo	Lugar seguro Parcela Los Guindos, callejón La Cachina casa con letrero
MPS-6	Estación N° 6 del SAG	287891,34	6848762,9	La Arena	Estación segura, ya se gestionó con la Sra Viviana.
MPS-7	Olivícola Quinta Miramar	288515,07	6847542,57	El Pino	Lugar seguro, ya se conversó con el dueño de la Olivícola
MPS-8	Estación en Sector Las Tablas	291772,52	6845690,27	Las Tablas 2	Cerca línea de tren. Se conversó con el dueño, quien se le puede ubicar en un almacén ubicado en calle Río de Janeiro con calle Thompson frente a EMELAT.
MPS-9	Hacienda Nicolasa	302730,22	6843791,36	Nicolasa	Se conversó con la hija y está de acuerdo con instalar el muestreador
MPS-10	Escuela G-98 Javiera Carrera	314644,1	6841770,4	Loncomilla jurisdicción Vallenar	Muy cerca de la línea del tren y carretera, se gestionó con la directora la instalación del muestreador.
MPS-11	Freirina	296433	6844832	Freirina	
MPS-12	Los Guindos	297348,08	6844463,37	Los Guindos	Casa blanca grande segura. Se conversó con el dueño y estaría de acuerdo.
MPS-13	Fundo Totorá Lote 1-A	309426,75	6843345,75	Freirina	Refiere presencia de polvo negro desde la línea del tren y por el aire.
MPS-14	UDA Vallenar Sede Costanera	327103,74	6837798,96	Vallenar	Paseo Peatonal cercano a carretera que va de Vallenar a Huasco
MPS-15	Sector Rinconada Las Pavónas	324920,07	6839089,82	Vallenar	

Tabla 18: Distancia y posición relativa de los diferentes muestreadores respecto de puntos de interés en la zona.

Ubicación del muestreador respecto a:	La línea del tren	Carreteras	La línea de costa	El Río Huasco	Punta Chapaco	Punta Guacolda	Depósito temporal de carbón al costado carretera
MPS-1	200 m al NW	140 m al NW de la carretera C-468	210 m al E	-	2,42 km al NE	2,66 km al E	1,38 km al NE
MPS-2	360 m al N	360 m al N de la carretera C-468	160 m al SW	-	3,12 km al NE	3,41 km al E	1,97 km al NE
MPS-3	280 m al S	320 m al S de la carretera C-468	750 m al S	3570 m al W	3,20 km al E-NE	3,79 km al E-SE	2,01 km al E-NE
MPS-4	200 m al SW	80 m al S de la carretera C-46	3 km al SE	350 m al SW	6,59 km al E	7,20 km al E-SE	5,49 km al E
MPS-5	660 m al N	200 m al W de la carretera C-470	2,74 km al NW	370 m al NE	6,85 km al E-NE	7,28 km al E	5,67 km al E-NE
MPS-6	850 m al N	920 m al N de la carretera C-458	4,5 km al SE	590 m al NW	8,29 km al E-NE	8,88 km al E-SE	7,17 km al E
MPS-7	40 m al N	60 m al N de la carretera C-458	5,7 km al E	180 m al S	8,95 km al E	9,70 km al S-SE	7,91 km al E-SE
MPS-8	230 m al N	670 m al N de la carretera C-458	9,5 km al SE	750 m al S-SE	12,28 km al SE	13,37 km al SE	11,33 km al SE
MPS-9	50 m al N	70 m al N de la carretera C-46	20,2 km al S-SE	150 m al S	23,47 km al SE	24,48 km al S-SE	22,48 km al S-SE
MPS-10	40 m al N	90 m al N de la carretera C-46	32,23 km al E	360 m al S	35,49 km al NE	36,88 km al NE	34,64 km al NE
MPS-11	240 m al S	70 m al N de la carretera C-46	12,31 km al E	390 m al S	15,43 km al NE	16,37 km al NE	14,42 km al NE
MPS-12	90 m al S	140 m al N de la carretera C-46 40 m al W de la carretera C-462	15,05 km al E	230 m al S	18,22 km al NE	19,02 km al NE	17,14 km al NE
MPS-13	80 m al N	630 m al N de la carretera C-46	26,7 km al E	610 m al S	30,39 km al NE	31,12 km al NE	29,19 km al NE
MPS-14	220 m al E	230 m al S de la carretera C-46	45,5 km al E	90 m al N	48,61 km al NE	49,88 km al NE	47,65 km al NE
MPS-15	630 m al N	850 m al N de la carretera C-46	43 km al E	250 m al N	46,39 km al NE	47,04 km al NE	45,50 km al NE

Anexo 6.2. Tabla de concentración de MPS

Tabla 19: Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los 15 puntos donde se instalaron equipos para coleccionar muestras.

Código Muestra	N° Botella	Fecha Instalación	Fecha Retiro	MPS insoluble [mg/(día· m ²)]	MPS soluble [mg/(día· m ²)]	MPS total [mg/(día· m ²)]
Punto 1: Casa Miguel Marambio, Huasco						
MPS 1 DIC 37	37	27-11-2015	29-12-2015	40,8	96,0	136,7
MPS 1-ENERO-81	81	29-12-2016	25-01-2016	180,7	18,0	198,8
MPS 1-FEB-65	65	25-01-2016	23-02-2016	564,1	22,4	586,5
Punto 2: Escuela Básica Mirella Zuleta - Huasco						
MPS 2 DIC 06	6	27-11-2015	29-12-2015	-	-	-
MPS 2- ENERO -54	54	29-12-2016	25-01-2016	315,9	35,1	351,0
MPS 2-FEB-07	7	25-01-2016	24-02-2016	70,5	10,4	363,7
Punto 3: Estación Sivica - Huasco						
MPS 3 DIC 73	73	27-11-2015	29-12-2015	147,6	45,0	192,6
MPS 3- ENERO -58	58	29-12-2016	25-01-2016	104,3	17,8	122,1
MPS 3-FEB-02	2	25-01-2016	23-02-2016	148,6	20,4	169,0
Punto4: Estación 4 SAG - Huasco						
MPS 4 DIC 14	14	27-11-2015	29-12-2015	52,3	29,9	82,2
MPS 4- ENERO -52	52	29-12-2016	25-01-2016	57,4	6,5	64,0
MPS 4-FEB-55	55	25-01-2016	23-02-2016	61,4	12,6	74,0
Punto5: Hacienda Olivos Centenarios						
MPS 5 DIC 39	39	27-11-2015	29-12-2015	57,0	65,4	122,5
MPS 5- ENERO -43	43	29-12-2016	25-01-2016	86,0	30,7	116,7
MPS 5-FEB-33	33	25-01-2016	23-02-2016	78,0	9,3	87,3
Punto6: Estación 6 del SAG - Huasco						
MPS 6 DIC 57	57	27-11-2015	29-12-2015	53,0	41,7	94,7
MPS 6- ENERO -26	26	29-12-2016	25-01-2016	53,3	10,5	63,9
MPS 6-FEB-24	24	25-01-2016	23-02-2016	41,1	46,7	87,8
Punto7: Olivícola Quinta Miramar - Huasco						
MPS 7 DIC 21	21	27-11-2015	29-12-2015	116,6	49,5	166,1
MPS 7- ENERO -36	36	29-12-2016	25-01-2016	101,0	12,2	113,2
MPS 7-FEB-30	30	25-01-2016	23-02-2016	124,9	26,0	150,9
Punto8: Estación Sector Las Tablas						
MPS 8 DIC 17	17	27-11-2015	29-12-2015	65,3	43,6	108,9
MPS 8- ENERO -25	25	29-12-2016	25-01-2016	90,9	17,5	108,4
MPS 8-FEB-10	10	25-01-2016	24-02-2016	89,1	20,5	109,7
Punto9: Hacienda Nicolasa						
MPS 9 DIC 70	70	28-11-2015	28-12-2015	31,6	21,6	53,2

Código Muestra	N° Botella	Fecha Instalación	Fecha Retiro	MPS insoluble [mg/(día· m ²)]	MPS soluble [mg/(día· m ²)]	MPS total [mg/(día· m ²)]
MPS 9- ENERO -66	66	28-12-2016	25-01-2016	42,7	6,9	49,6
MPS 9-FEB-59	59	25-01-2016	24-02-2016	27,7	57,0	84,7
Punto10: Escuela G98 Javiera Carrera - Vallenar						
MPS 10 DIC 15	15	28-11-2015	29-12-2015	42,6	26,3	68,9
MPS 10- ENERO -28	28	29-12-2016	25-01-2016	51,9	6,0	57,9
MPS 10-FEB-20	20	25-01-2016	24-02-2016	51,8	8,5	60,3
Punto11: Freirina						
MPS 11 DIC 36	36	27-11-2015	29-12-2015	70,2	41,4	111,6
MPS 11- ENERO -13	13	29-12-2016	25-01-2016	88,7	25,5	114,1
MPS 11-FEB-19	19	25-01-2016	24-02-2016	76,4	22,3	98,7
Punto12: Los Guindos						
MPS 12 DIC 75	75	28-11-2015	28-12-2015	39,7	17,1	56,9
MPS 12- ENERO -11	11	28-12-2016	25-01-2016	145,2	30,7	176,0
MPS 12-FEB-18	18	25-01-2016	24-02-2016	45,1	13,3	58,4
Punto13: Fundo Totorá - Freirina						
MPS 13 DIC 32	32	28-11-2015	28-12-2015	74,1	30,0	104,1
MPS 13- ENERO -01	1	28-12-2016	25-01-2016	157,2	23,1	180,3
MPS 13-FEB-22	22	25-01-2016	24-02-2016	98,7	12,8	111,5
Punto14: UDA Vallenar						
MPS 14 DIC 04	4	28-11-2015	28-12-2015	70,1	27,2	97,2
MPS 14- ENERO -23	23	28-12-2016	26-01-2016	88,6	13,2	101,8
MPS 14-FEB-29	29	26-01-2016	25-02-2016	72,4	12,2	84,6
Punto15: Sector Rinconada Las Pavonas Vallenar						
MPS 15 DIC 05	5	28-11-2015	28-12-2015	57,0	21,2	78,3
MPS 15- ENERO -47	47	28-12-2016	26-01-2016	109,3	7,0	116,3
MPS 15-FEB-08	8	26-01-2016	23-02-2016	58,4	2,1	60,4

Anexo 6.3. Tabla valores promedio mensual MPS

Tabla 20. Valores promedio mensual de MPS en la cuenca del Río Huasco, obtenidos en este estudio.

Identificación	Sector	MPS insoluble [mg/(día· m ²)]		
		Dic-15	Ene-16	Feb-16
MPS-1	Casa Miguel Marambio, Huasco	40,8	180,7	564,1
MPS-2	Escuela Básica Mirella Zuleta - Huasco	-	315,9	70,5
MPS-3	Estación Sívica - Huasco	147,6	104,3	148,6
MPS-4	Estación 4 SAG - Huasco	52,3	57,4	61,4
MPS-5	Hacienda Olivos Centenarios	57,0	86,0	78,0
MPS-6	Estación 6 del SAG - Huasco	53,0	53,3	41,1
MPS-7	Olivícola Quinta Miramar - Huasco	116,6	101,0	124,9
MPS-8	Estación Sector Las Tablas	65,3	90,9	89,1
MPS-9	Hacienda Nicolasa	31,6	42,7	27,7
MPS-10	Escuela G98 Javiera Carrera - Vallenar	42,6	51,9	51,8
MPS-11	Freirina	70,2	88,7	76,4
MPS-12	Los Guindos	39,7	145,2	45,1
MPS-13	Fundo Totorá - Freirina	74,1	157,2	98,7
MPS-14	UDA Vallenar	70,1	88,6	72,4
MPS-15	Sector Rinconada Las Pavonas Vallenar	57,0	109,3	58,4
Valor promedio mensual en la zona de estudio		65,6	111,6	107,2
Valor promedio mensual según Decreto Exento N° 4 de 1992		150		

Fuente: LQA CENMA

Anexo 6.4. Tablas de concentración (mg/kg) de metales en MPS insoluble y en MPS soluble.

6.4.1 Tabla 21: Concentración (mg/kg) para los metales Cd, Zn, Cr, As en MPS insoluble y en MPS soluble.

Código Muestra	Concentraciones en mg/kg							
	Cd-MPSinsol	Cd-MPSsol	Zn-MPSinsol	Zn-MPSsol	Cr-MPSinsol	Cr-MPSsol	As-MPSinsol	As-MPSsol
Punto 1: Casa Miguel Marambio, Huasco								
MPS 1 DIC 37	144,50	<0,001	4592,49	<0,009	756,97	<0,006	395,84	<0,015
MPS 1-Enero-81	2,38	<0,001	127,65	<0,009	33,81	<0,006	7,39	<0,015
MPS 1-FEB-65	1,80	<0,001	47,32	<0,009	8,49	<0,006	4,36	<0,015
Punto 2: Escuela Básica Mirella Zuleta - Huasco								
MPS 2 DIC 06	-	--	-	--	-	--	-	--
MPS 2-Enero-54	3,07	<0,001	133,87	<0,009	30,31	<0,006	5,81	<0,015
MPS 2-FEB-07	2,59	<0,001	99,83	<0,009	13,11	<0,006	6,03	<0,015
Punto 3: Estación Sívica - Huasco								
MPS 3 DIC 73	2,50	0,0014	185,05	<0,009	96,30	<0,006	8,70	<0,015
MPS 3-Enero-58	2,79	<0,001	236,48	<0,009	177,71	<0,006	9,70	<0,015
MPS 3-FEB-02	3,95	0,001	146,92	<0,009	86,60	<0,006	7,77	<0,015
Punto4: Estación 4 SAG - Huasco								
MPS 4 DIC 14	5,58	<0,001	203,29	<0,009	222,00	<0,006	<1,66	<0,015
MPS 4-Enero-52	<1,02	<0,001	235,43	0,009	270,42	<0,006	8,33	<0,015
MPS 4-FEB-55	4,52	<0,001	107,02	0,009	118,72	<0,006	5,93	<0,015
Punto5: Hacienda Olivos Centenarios								
MPS 5 DIC 39	1,54	<0,001	10,56	<0,009	12,34	<0,006	5,62	<0,015
MPS 5-Enero-43	2,60	<0,001	131,21	<0,009	55,00	<0,006	7,32	<0,015
MPS 5-FEB-33	3,66	<0,001	173,85	0,012	64,64	<0,006	5,40	<0,015
Punto6: Estación 6 del SAG - Huasco								
MPS 6 DIC 57	4,61	<0,001	188,03	<0,009	490,85	<0,006	6,03	<0,015
MPS 6-Enero-26	<1,02	<0,001	163,57	<0,009	507,50	<0,006	14,97	<0,015
MPS 6-FEB-24	4,32	0,001	93,84	0,023	307,15	<0,006	10,85	<0,015
Punto7: Olivícola Quinta Miramar - Huasco								
MPS 7 DIC 21	2,63	<0,001	70,22	<0,009	236,32	<0,006	2,42	<0,015
MPS 7-Enero-36	3,41	<0,001	164,96	0,011	536,72	<0,006	8,45	<0,015
MPS 7-FEB-30	4,39	<0,001	111,82	<0,009	187,84	<0,006	5,60	<0,015
Punto8: Estación Sector Las Tablas								
MPS 8 DIC 17	4,18	<0,001	158,82	<0,009	197,95	<0,006	11,75	<0,015

Código Muestra	Concentraciones en mg/kg							
	Cd-MPSinsol	Cd-MPSSol	Zn-MPSinsol	Zn-MPSSol	Cr-MPSinsol	Cr-MPSSol	As-MPSinsol	As-MPSSol
MPS 8-Enero-25	2,53	<0,001	131,43	<0,009	160,23	<0,006	12,87	<0,015
MPS 8-FEB-10	3,43	<0,001	143,41	0,011	97,97	<0,006	12,48	<0,015
Punto9: Hacienda Nicolasa								
MPS 9 DIC 70	<1,02	0,0011	221,46	0,0095	648,61	<0,006	11,24	<0,015
MPS 9-Enero-66	<1,02	<0,001	200,62	<0,009	487,65	<0,006	20,76	<0,015
MPS 9-FEB-59	<1,02	<0,001	213,05	<0,009	391,46	<0,006	18,48	<0,015
Punto10: Escuela G98 Javiera Carrera - Vallenar								
MPS 10 DIC 15	<1,02	<0,001	248,17	0,0168	465,90	<0,006	15,11	<0,015
MPS 10-Enero-28	<1,02	<0,001	299,58	<0,009	128,24	<0,006	21,23	<0,015
MPS 10-FEB-20	3,65	<0,001	227,94	0,012	84,00	<0,006	18,29	<0,015
Punto11: Freirina								
MPS 11 DIC 36	2,81	<0,001	232,27	<0,009	68,81	<0,006	39,07	<0,015
MPS 11-Enero-13	2,69	0,001	325,03	<0,009	47,62	<0,006	20,86	<0,015
MPS 11-FEB-19	4,05	<0,001	289,54	0,012	63,38	<0,006	47,59	<0,015
Punto12: Los Guindos								
MPS 12 DIC 75	<1,02	<0,001	213,58	<0,009	89,53	<0,006	21,94	<0,015
MPS 12-Enero-11	2,45	<0,001	140,18	<0,009	36,33	<0,006	9,79	<0,015
MPS 12-FEB-18	3,77	<0,001	286,89	<0,009	90,31	<0,006	25,50	<0,015
Punto13: Fundo Totorá - Freirina								
MPS 13 DIC 32	3,87	<0,001	224,96	<0,009	88,49	<0,006	12,00	<0,015
MPS 13-Enero-01	2,87	<0,001	100,74	<0,009	44,52	<0,006	7,11	<0,015
MPS 13-FEB-22	3,76	<0,001	184,72	<0,009	70,57	<0,006	16,33	<0,015
Punto14: UDA Vallenar								
MPS 14 DIC 04	<1,02	0,001	144,66	<0,009	42,09	<0,006	24,99	<0,015
MPS 14-Enero-23	3,10	<0,001	894,35	0,021	83,12	<0,006	27,29	<0,015
MPS 14-FEB-29	2,69	<0,001	252,25	<0,009	67,57	<0,006	63,99	<0,015
Punto15: Sector Rinconada Las Pavonas Vallenar								
MPS 15 DIC 05	3,29	0,001	206,28	<0,009	59,75	<0,006	24,44	<0,015
MPS 15-Enero-47	2,47	<0,001	167,28	<0,009	63,06	<0,006	31,81	<0,015
MPS 15-FEB-08	3,19	<0,001	254,50	<0,009	84,09	<0,006	39,41	<0,015

6.4.2 Tabla 22. Concentración (mg/kg) para los metales Cu, Ni, Pb, Se en MPS insoluble y en MPS soluble.

Código Muestra	Concentraciones en mg/kg							
	Cu-MPSinsol	Cu-MPSSol	Ni-MPSinsol	Ni-MPSSol	Pb-MPSinsol	Pb-MPSSol	Se-MPSinsol	Se-MPSSol
Punto 1: Casa Miguel Marambio, Huasco								
MPS 1 DIC 37	230,56	<0,005	3310,99	<0,032	1092,76	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 1-Enero-81	40,74	<0,005	51,98	<0,032	22,17	<0,008	<2,77	0,010
MPS 1-FEB-65	13,66	<0,005	34,35	<0,032	6,11	<0,008	<2,77	<0,010
Punto 2: Escuela Básica Mirella Zuleta - Huasco								
MPS 2 DIC 06	-	--	-	--	-	--	-	--
MPS 2-Enero-54	51,99	<0,005	33,31	<0,032	9,44	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 2-FEB-07	29,53	<0,005	31,87	<0,032	10,73	<0,008	<2,77	<0,010
Punto 3: Estación Sívica - Huasco								
MPS 3 DIC 73	92,63	<0,005	123,37	<0,032	38,59	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 3-Enero-58	128,01	<0,005	130,45	<0,032	43,31	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 3-FEB-02	56,32	<0,005	105,45	<0,032	44,89	<0,008	<2,77	<0,010
Punto4: Estación 4 SAG - Huasco								
MPS 4 DIC 14	145,98	<0,005	149,16	0,044	29,67	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 4-Enero-52	160,70	<0,005	156,95	<0,032	42,62	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 4-FEB-55	39,96	<0,005	89,65	<0,032	23,58	<0,008	<2,77	<0,010
Punto5: Hacienda Olivos Centenarios								
MPS 5 DIC 39	28,38	<0,005	11,07	0,0152	4,43	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 5-Enero-43	84,24	<0,005	95,76	<0,032	28,65	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 5-FEB-33	67,84	0,005	167,97	0,073	44,21	<0,008	<2,77	<0,010
Punto6: Estación 6 del SAG - Huasco								
MPS 6 DIC 57	159,21	<0,005	271,46	0,111	45,29	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 6-Enero-26	193,83	0,010	327,48	0,084	54,81	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 6-FEB-24	88,42	<0,005	184,33	0,165	31,25	<0,008	<2,77	<0,010
Punto7: Olivícola Quinta Miramar - Huasco								
MPS 7 DIC 21	61,28	<0,005	131,50	0,1909	6,80	<0,008	<2,77	0,0114
MPS 7-Enero-36	149,39	<0,005	339,63	0,218	17,16	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 7-FEB-30	74,52	<0,005	174,80	0,121	3,47	<0,008	<2,77	<0,010
Punto8: Estación Sector Las Tablas								
MPS 8 DIC 17	183,93	<0,005	201,61	0,0861	47,04	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 8-Enero-25	138,33	0,010	128,23	0,057	23,69	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 8-FEB-10	108,11	0,006	113,73	0,044	17,82	<0,008	<2,77	<0,010
Punto9: Hacienda Nicolasa								

Código Muestra	Concentraciones en mg/kg							
	Cu-MPSinsol	Cu-MPSSol	Ni-MPSinsol	Ni-MPSSol	Pb-MPSinsol	Pb-MPSSol	Se-MPSinsol	Se-MPSSol
MPS 9 DIC 70	331,01	<0,005	401,02	0,1914	26,80	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 9-Enero-66	260,86	<0,005	301,75	0,065	25,66	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 9-FEB-59	260,59	<0,005	230,52	0,047	31,70	<0,008	<2,77	<0,010
Punto10: Escuela G98 Javiera Carrera - Vallenar								
MPS 10 DIC 15	224,66	<0,005	131,83	0,0486	24,35	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 10-Enero-28	238,96	<0,005	107,73	<0,032	29,50	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 10-FEB-20	240,79	<0,005	73,37	<0,032	31,46	<0,008	<2,77	<0,010
Punto11: Freirina								
MPS 11 DIC 36	406,19	<0,005	39,09	0,0042	115,57	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 11-Enero-13	592,51	0,029	36,50	<0,032	37,27	<0,008	<2,77	0,013
MPS 11-FEB-19	503,18	0,010	57,77	<0,032	46,40	<0,008	<2,77	<0,010
Punto12: Los Guindos								
MPS 12 DIC 75	282,79	<0,005	75,78	<0,032	63,11	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 12-Enero-11	169,98	0,017	31,02	<0,032	9,52	<0,008	<2,77	0,012
MPS 12-FEB-18	221,13	<0,005	79,76	<0,032	24,68	<0,008	<2,77	<0,010
Punto13: Fundo Totora - Freirina								
MPS 13 DIC 32	159,18	<0,005	118,95	<0,032	23,13	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 13-Enero-01	140,49	<0,005	38,35	<0,032	10,65	<0,008	<2,77	0,012
MPS 13-FEB-22	120,40	<0,005	80,63	<0,032	17,59	<0,008	<2,77	<0,010
Punto14: UDA Vallenar								
MPS 14 DIC 04	324,81	<0,005	23,48	<0,032	27,26	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 14-Enero-23	526,16	0,007	47,13	<0,032	43,86	<0,008	<2,77	<0,010
MPS 14-FEB-29	503,74	0,005	55,74	<0,032	58,16	<0,008	<2,77	<0,010
Punto15: Sector Rinconada Las Pavonas Vallenar								
MPS 15 DIC 05	327,60	<0,005	39,74	<0,032	49,69	<0,008	<2,77	0,0105
MPS 15-Enero-47	275,27	0,017	42,98	<0,032	53,25	<0,008	<2,77	0,018
MPS 15-FEB-08	397,36	<0,005	61,35	<0,032	77,32	<0,008	<2,77	<0,010

Fuente: LQA CENMA

6.4.3 Tabla 23. Concentración (mg/kg) para los metales Ba, Co, Mo, Be en MPS insoluble y en MPS soluble.

Código Muestra	Concentraciones en mg/kg							
	Ba-MPSinsol	Ba-MPSsol	Co-MPSinsol	Co-MPSsol	Mo-MPSinsol	Mo-MPSsol	Be-MPSinsol	Be-MPSsol
Punto 1: Casa Miguel Marambio, Huasco								
MPS 1 DIC 37	2435,66	0,0088	1498,66	0,0015	<0,89	0,0063	<0,38	<0,0003
MPS 1-Enero-81	50,87	0,005	31,55	<0,001	<0,89	0,001	<0,38	<0,0003
MPS 1-FEB-65	19,82	0,007	15,87	<0,001	0,93	0,004	<0,38	<0,0003
Punto 2: Escuela Básica Mirella Zuleta - Huasco								
MPS 2 DIC 06	-	--	-	--	-	--	-	--
MPS 2-Enero-54	83,00	0,035	21,48	<0,001	<0,89	0,002	<0,38	<0,0003
MPS 2-FEB-07	55,94	0,018	17,96	<0,001	0,95	0,002	<0,38	<0,0003
Punto 3: Estación Sívica - Huasco								
MPS 3 DIC 73	131,73	0,012	23,78	<0,001	<0,89	0,0057	<0,38	<0,0003
MPS 3-Enero-58	181,98	0,009	25,73	<0,001	1,64	0,002	<0,38	<0,0003
MPS 3-FEB-02	114,08	0,009	21,84	<0,001	2,78	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto4: Estación 4 SAG - Huasco								
MPS 4 DIC 14	229,76	0,0087	30,74	0,001	<0,89	0,0034	<0,38	<0,0003
MPS 4-Enero-52	189,04	0,006	30,26	<0,001	3,07	<0,001	<0,38	<0,0003
MPS 4-FEB-55	137,84	0,005	24,33	<0,001	<0,89	0,002	<0,38	<0,0003
Punto5: Hacienda Olivos Centenarios								
MPS 5 DIC 39	21,79	0,0101	5,26	<0,001	<0,89	0,0043	<0,38	<0,0003
MPS 5-Enero-43	145,91	0,005	23,54	<0,001	<0,89	<0,001	<0,38	<0,0003
MPS 5-FEB-33	110,49	0,004	27,36	<0,001	<0,89	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto6: Estación 6 del SAG - Huasco								
MPS 6 DIC 57	134,66	0,0087	30,73	0,001	<0,89	0,0051	<0,38	<0,0003
MPS 6-Enero-26	182,07	0,005	36,02	<0,001	5,08	<0,001	<0,38	<0,0003
MPS 6-FEB-24	175,65	0,006	29,58	0,002	7,09	0,001	<0,38	<0,0003
Punto7: Olivícola Quinta Miramar - Huasco								
MPS 7 DIC 21	1486,97	0,0058	20,14	0,008	3,62	0,0043	<0,38	<0,0003
MPS 7-Enero-36	111,86	0,007	44,15	0,002	5,00	0,002	<0,38	<0,0003
MPS 7-FEB-30	75,61	0,006	31,95	0,003	2,98	0,002	<0,38	<0,0003
Punto8: Estación Sector Las Tablas								
MPS 8 DIC 17	186,49	0,0145	28,69	<0,001	<0,89	0,0058	<0,38	<0,0003
MPS 8-Enero-25	120,32	0,012	25,97	<0,001	2,24	0,003	<0,38	<0,0003
MPS 8-FEB-10	122,67	0,013	24,06	<0,001	<0,89	0,002	<0,38	<0,0003
Punto9: Hacienda Nicolasa								
MPS 9 DIC 70	213,17	0,0082	47,72	0,0037	<0,89	0,0036	<0,38	<0,0003

Código Muestra	Concentraciones en mg/kg							
	Ba-MPSinsol	Ba-MPSSol	Co-MPSinsol	Co-MPSSol	Mo-MPSinsol	Mo-MPSSol	Be-MPSinsol	Be-MPSSol
MPS 9-Enero-66	207,16	0,005	39,93	<0,001	7,41	<0,001	<0,38	<0,0003
MPS 9-FEB-59	211,54	0,004	34,93	0,001	<0,89	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto10: Escuela G98 Javiera Carrera - Vallenar								
MPS 10 DIC 15	183,70	0,0093	31,83	<0,001	4,51	0,0039	<0,38	<0,0003
MPS 10-Enero-28	222,85	0,006	33,27	<0,001	3,24	0,001	<0,38	<0,0003
MPS 10-FEB-20	192,54	0,008	25,87	<0,001	5,79	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto11: Freirina								
MPS 11 DIC 36	189,33	0,0155	21,11	<0,001	7,00	0,0039	<0,38	<0,0003
MPS 11-Enero-13	168,92	0,015	25,44	<0,001	4,62	0,003	<0,38	<0,0003
MPS 11-FEB-19	151,18	0,014	27,38	<0,001	1,97	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto12: Los Guindos								
MPS 12 DIC 75	129,92	0,0105	28,62	<0,001	<0,89	0,0033	<0,38	<0,0003
MPS 12-Enero-11	32,15	0,007	13,12	<0,001	<0,89	0,001	<0,38	<0,0003
MPS 12-FEB-18	148,91	0,008	33,02	<0,001	<0,89	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto13: Fundo Totorá - Freirina								
MPS 13 DIC 32	154,48	0,008	28,09	<0,001	<0,89	0,004	<0,38	<0,0003
MPS 13-Enero-01	83,09	0,006	14,21	<0,001	<0,89	0,003	<0,38	<0,0003
MPS 13-FEB-22	132,38	0,006	30,41	<0,001	<0,89	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto14: UDA Vallenar								
MPS 14 DIC 04	68,71	0,0246	18,66	<0,001	3,02	0,0029	<0,38	<0,0003
MPS 14-Enero-23	894,95	0,039	29,99	<0,001	3,40	<0,001	<0,38	<0,0003
MPS 14-FEB-29	195,56	0,020	29,13	<0,001	6,37	<0,001	<0,38	<0,0003
Punto15: Sector Rinconada Las Pavonas Vallenar								
MPS 15 DIC 05	215,03	0,0167	22,34	<0,001	<0,89	0,0045	<0,38	<0,0003
MPS 15-Enero-47	204,56	0,007	21,16	<0,001	3,33	0,002	<0,38	<0,0003
MPS 15-FEB-08	231,73	0,011	32,13	<0,001	4,50	0,001	<0,38	<0,0003

Fuente: LQA CENMA

Anexo 6.5 Concentraciones de metales en polvo depositado.

6.5.1 Tabla 24. Concentraciones de metales (mg/kg) en las muestras de polvo depositado.

Identificación	Coordenadas UTM WGS84 Uso19		Concentración (mg/kg)											Descripción del sector
	Este	Norte	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe	
PTO 0-Polvo	328437	6837407	11,55	1220,65	33,73	710,65	34,03	92,88	1012,39	143,91	173,15	30,96	71304,35	Referencia de polvo urbano Polvo en lugar de alojamiento Vallenar
PTO 34-1-Polvo	281328	6844433	1,02	894,67	64,17	85,83	117,33	<2,09	1029,50	325,67	92,50	27,67	83900,00	Referencia del polvo a 5 m del suelo Señalética
PTO 49-2-Polvo	297677	6844433	71,46	95,77	6,03	28,20	41,18	<2,09	1269,39	1416,33	16,88	30,47	528979,59	Referencia del material del tren Material que cayó del tren
PTO 2-Polvo	281862	6848852	78,23	125,83	17,25	40,83	59,35	<2,09	667,08	1531,04	23,58	31,71	595000,00	Cerca de población
PTO 3-Polvo	281843	6849095	76,66	89,89	<1,80	<2,06	33,61	<2,09	1086,27	1811,76	6,29	26,13	582745,10	Vía férrea
PTO 6-Polvo	282498	6849116	73,79	213,10	24,01	73,64	45,84	12,07	962,50	1276,00	55,50	29,37	542800,00	Techo cuartel bomberos
PTO 8-Polvo	282496	6848948	76,38	96,74	<1,80	<2,06	37,47	<2,09	1094,00	1620,00	9,35	26,70	545000,00	Vía férrea
PTO 14-Polvo	283577	6849096	78,07	109,00	<1,80	<2,06	40,29	<2,09	1393,00	1747,00	6,04	28,22	587100,00	Vía férrea
PTO 30-Polvo	312043	6842432	80,54	113,04	4,04	15,20	41,20	<2,09	1444,12	1820,59	6,18	32,47	602352,94	Vía férrea
PTO 49-1-Polvo	297677	6844433	77,79	109,40	<LD	53,57	40,84	<2,09	1278,00	1573,00	10,75	30,75	563900,00	Vía férrea
PTO 34-2-Polvo	281328	6844433	75,98	112,40	<1,80	87,21	50,71	<2,09	981,50	1152,00	14,51	27,65	594600,00	Vía férrea/ Señalética
PTO 34-3-Polvo	281328	6844433	31,99	62,02	18,06	35,01	25,59	<2,09	496,60	622,50	23,70	19,58	268400,00	Costado vía férrea
PTO 34-4-Polvo	281328	6844433	41,31	205,40	31,96	59,17	51,22	185,80	924,20	742,30	83,10	23,72	289700,00	A la entrada de Guacolda
PTO 4-1-Polvo	281699	6849197	67,97	230,60	20,97	158,80	47,42	13,50	973,30	1133,00	55,22	28,08	553200,00	Depositado en la ventana casa
PTO 4-2-Polvo	281699	6849197	73,36	158,78	18,66	71,01	42,67	4,45	944,59	1269,39	30,26	27,60	588877,55	Depositado en las plantas
PTO 33-Polvo	304769	6843095	90,63	110,70	5,91	46,85	47,51	<2,09	1415,00	1729,00	12,16	34,38	634000,00	Vía férrea
Polvo 1-C2	296398	6844854	69,93	105,15	0,90	13,85	36,08	20,39	1037,60	1969,76	5,23	30,01	399820,93	Valle
Polvo 2-C2	281694	6849230	63,08	187,79	14,60	84,72	39,78	32,71	753,25	1575,05	31,35	27,96	286528,08	Cerca de población
Polvo 3-C2	282454	6849300	47,95	648,13	21,31	55,97	39,01	43,48	658,16	1115,11	78,91	22,61	280483,05	Cerca de población
Polvo 4-C2	282740	6848713	28,40	222,60	29,15	65,62	37,52	34,76	459,19	658,56	54,80	17,63	137807,78	Cerca de población
Polvo 5-C2	286218	6848685	11,28	114,59	23,37	48,65	18,32	15,26	375,12	228,78	44,81	12,26	76514,41	Vía férrea
Polvo 6-C2	286320	6849550	15,25	3568,02	18,75	66,53	33,78	48,76	462,91	227,13	63,26	11,11	87321,00	Valle
Polvo 7-C2	288559	6847555	25,90	2850,58	94,83	82,15	35,91	90,89	633,15	321,70	76,87	22,48	114310,31	Valle
Polvo 8-C2	291777	6845684	23,05	1068,53	31,61	44,04	28,61	23,63	588,34	466,93	70,67	16,90	171725,24	Valle

Identificación	Coordenadas UTM WGS84 Uso19		Concentración (mg/kg)										Descripción del sector	
	Este	Norte	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co		Fe
Polvo 9-C2	297389	6844505	18,04	4865,61	26,85	93,21	23,66	123,42	626,38	345,26	4095,85	17,44	120355,73	Valle
Polvo 10-C2	302743	6843773	15,63	3738,57	51,07	66,47	38,86	126,34	1213,77	136,84	76,94	15,61	106691,31	Valle
Polvo 11-C2	309407	6843401	5,96	151,50	26,93	66,26	15,40	23,36	475,80	96,52	63,36	11,06	39651,50	Valle
Polvo 12-C2	314654	6841724	31,59	568,42	20,45	137,42	30,93	29,32	835,31	715,50	68,29	20,78	158468,90	Valle
Polvo 13-C2	324904	6839020	7,84	3336,33	32,62	156,26	19,62	96,45	601,14	116,65	183,77	17,01	42096,84	Vallenar-rural
Polvo 1-C4	281723	6849217	7,32	142,09	18,48	76,63	42,50	6,33	676,36	1304,96	33,62	26,57	367705,84	Ciudad. Casa Sr Marambio
Polvo 2-C4	282450	6849322	5,14	164,85	19,41	40,96	34,91	20,82	394,56	871,75	56,50	19,05	271870,66	Ciudad
Polvo 3-C4	282787	6848672	<1,02	212,01	20,78	56,81	19,08	48,14	285,73	218,89	52,06	9,04	67574,21	Ciudad
Polvo 4-C4	286206	6848685	2,50	141,14	28,71	142,12	28,48	14,10	456,24	367,14	76,92	21,83	133648,73	Valle
Polvo 5-C4	286209	6848671	<1,02	6460,14	18,13	41,28	3327,7	6,81	228,99	94,97	26,26	6,53	45313,73	Valle
Polvo 6-C4	286278	684502	<1,02	150,44	18,71	791,67	20,26	21,80	370,56	240,90	61,97	10,46	100140,06	
Polvo 7-C4	286843	6848760	<1,02	18622,7	41,51	92,54	4074,8	91,59	834,73	217,96	74,77	17,08	92994,01	Valle
Polvo 8-C4	288548	6847550	<1,02	135,10	23,53	58,64	18,32	21,71	455,13	170,41	64,98	10,78	72095,11	Valle
Polvo 9-C4	291766	6845658	<1,02	64,37	18,12	38,81	13,84	16,81	410,64	41,38	66,69	8,35	24765,89	Valle
Polvo 10-C4	297391	6844478	<1,02	75,73	18,71	52,00	11,64	10,21	290,53	68,42	47,76	7,34	30687,67	Valle
Polvo 11-C4	296420	6844837	3,46	1555,47	35,24	868,04	31,60	80,29	752,27	306,95	130,77	23,65	128602,45	Freirina
Polvo 12-C4	302746	6843765	<1,02	139,39	26,78	36,59	19,87	37,72	613,21	72,85	68,70	8,57	32344,12	Valle
Polvo 13-C4	309428	6843300	4,55	131,99	30,74	94,06	25,15	7,18	1140,09	81,63	44,17	19,26	198478,56	Valle
Polvo 14-C4	314655	6841720	5,06	248,76	18,99	76,19	29,77	15,44	1025,37	895,66	63,33	22,86	169551,81	Valle
Polvo 15-C4	324960	6839054	<1,02	187,85	24,20	138,13	17,36	66,27	691,43	56,94	172,73	12,73	30509,15	Valle-llegando a Vallenar
Polvo 16-C4	324957	6839054	<1,02	202,90	28,69	207,18	21,59	71,91	795,01	98,23	253,13	15,63	37398,05	Valle-llegando a Vallenar

6.5.3 Tabla 26. Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo que se encuentra a 5 m del suelo.

NUMERO DE VECES EN QUE SE SUPERA LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA PTO 34-1-Polvo, CORRESPONDIENTE A POLVO TOMADO EN LA ZONA INDUSTRIAL DE HUASCO, A 5 m DEL SUELO														
Identificación	Coordenadas UTM WGS84 Huso19		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe	Sector
	Este	Norte												
Polvo 1-C4	281723	6849217	7	0	0	1	0	3	1	4	0	1	4	Ciudad, casa
PTO 4-1-Polvo	281699	6849197	67	0	0	2	0	6	1	3	1	1	7	Depositado en la ventana
PTO 4-2-Polvo	281699	6849197	72	0	0	1	0	2	1	4	0	1	7	Depositado en las plantas
Polvo 2-C4	282450	6849322	5	0	0	0	0	10	0	3	1	1	3	Ciudad
Polvo 3-C4	282787	6848672	1	0	0	1	0	23	0	1	1	0	1	Ciudad
PTO 2-Polvo	281862	6848852	77	0	0	0	1	1	1	5	0	1	7	Cerca de población
PTO 6-Polvo	282498	6849116	72	0	0	1	0	6	1	4	1	1	6	Techo cuartel bomberos
Polvo 2-C2	281694	6849230	62	0	0	1	0	16	1	5	0	1	3	Cerca de población
Polvo 3-C2	282454	6849300	47	1	0	1	0	21	1	3	1	1	3	Cerca de población
Polvo 4-C2	282740	6848713	28	0	0	1	0	17	0	2	1	1	2	Cerca de población
Polvo 4-C4	286206	6848685	2	0	0	2	0	7	0	1	1	1	2	Valle
Polvo 5-C4	286209	6848671	1	7	0	0	28	3	0	0	0	0	1	Valle
Polvo 6-C4	286278	6848502	1	0	0	9	0	10	0	1	1	0	1	Valle
Polvo 7-C4	286843	6848760	1	21	1	1	35	44	1	1	1	1	1	Valle
Polvo 8-C4	288548	6847550	1	0	0	1	0	10	0	1	1	0	1	Valle
Polvo 9-C4	291766	6845658	1	0	0	0	0	8	0	0	1	0	0	Valle
Polvo 10-C4	297391	6844478	1	0	0	1	0	5	0	0	1	0	0	Valle
Polvo 11-C4	296420	6844837	3	2	1	10	0	38	1	1	1	1	2	Freirina
Polvo 12-C4	302746	6843765	1	0	0	0	0	18	1	0	1	0	0	Valle
Polvo 13-C4	309428	6843300	4	0	0	1	0	3	1	0	0	1	2	Valle
Polvo 14-C4	314655	6841720	5	0	0	1	0	7	1	3	1	1	2	Valle
Polvo 15-C4	324960	6839054	1	0	0	2	0	32	1	0	2	0	0	Valle-llegando a Vallendar
Polvo 16-C4	324957	6839054	1	0	0	2	0	34	1	0	3	1	0	Valle-llegando a Vallendar
Polvo 1-C2	296398	6844854	69	0	0	0	0	10	1	6	0	1	5	Valle
Polvo 6-C2	286320	6849550	15	4	0	1	0	23	0	1	1	0	1	Valle
Polvo 7-C2	288559	6847555	25	3	1	1	0	43	1	1	1	1	1	Valle
Polvo 8-C2	291777	6845684	23	1	0	1	0	11	1	1	1	1	2	Valle
Polvo 9-C2	297389	6844505	18	5	0	1	0	59	1	1	44	1	1	Valle
Polvo 10-C2	302743	6843773	15	4	1	1	0	60	1	0	1	1	1	Valle
Polvo 11-C2	309407	6843401	6	0	0	1	0	11	0	0	1	0	0	Valle
Polvo 12-C2	314654	6841724	31	1	0	2	0	14	1	2	1	1	2	Valle
Polvo 13-C2	324904	6839020	8	4	1	2	0	46	1	0	2	1	1	Vallendar rural

6.5.4 Tabla 27. Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del material que cae del tren de Ferronor.

NUMERO DE VECES EN QUE SE SUPERA LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA PTO 49-2-Polvo, CORRESPONDIENTE AL MATERIAL QUE CAE DEL TREN DE FERRONOR														
Identificación	Coordenadas UTM WGS84 Huso19		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe	Sector
	Este	Norte												
Polvo 1-C4	281723	6849217	0	1	3	3	2	3	1	1	2	1	1	Ciudad, casa
PTO 4-1-Polvo	281699	6849197	1	2	3	6	3	6	1	1	3	1	1	Depositado en la ventana
PTO 4-2-Polvo	281699	6849197	1	2	3	3	3	2	1	1	2	1	1	Depositado en las plantas
Polvo 2-C4	282450	6849322	0	2	3	1	2	10	0	1	3	1	1	Ciudad
Polvo 3-C4	282787	6848672	0	2	3	2	1	23	0	0	3	0	0	Ciudad
PTO 2-Polvo	281862	6848852	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	Cerca de población
PTO 6-Polvo	282498	6849116	1	2	4	3	3	6	1	1	3	1	1	Techo cuartel bomberos
Polvo 2-C2	281694	6849230	1	2	2	3	2	16	1	1	2	1	1	Cerca de población
Polvo 3-C2	282454	6849300	1	7	4	2	2	21	1	1	5	1	1	Cerca de población
Polvo 4-C2	282740	6848713	0	2	5	2	2	17	0	0	3	1	0	Cerca de población
Polvo 4-C4	286206	6848685	0	1	5	5	2	7	0	0	5	1	0	Valle
Polvo 5-C4	286209	6848671	0	67	3	1	196	3	0	0	2	0	0	Valle
Polvo 6-C4	286278	6848502	0	2	3	28	1	10	0	0	4	0	0	Valle
Polvo 7-C4	286843	6848760	0	194	7	3	240	44	1	0	4	1	0	Valle
Polvo 8-C4	288548	6847550	0	1	4	2	1	10	0	0	4	0	0	Valle
Polvo 9-C4	291766	6845658	0	1	3	1	1	8	0	0	4	0	0	Valle
Polvo 10-C4	297391	6844478	0	1	3	2	1	5	0	0	3	0	0	Valle
Polvo 11-C4	296420	6844837	0	16	6	31	2	38	1	0	8	1	0	Freirina
Polvo 12-C4	302746	6843765	0	1	4	1	1	18	0	0	4	0	0	Valle
Polvo 13-C4	309428	6843300	0	1	5	3	1	3	1	0	3	1	0	Valle
Polvo 14-C4	314655	6841720	0	3	3	3	2	7	1	1	4	1	0	Valle
Polvo 15-C4	324960	6839054	0	2	4	5	1	32	1	0	10	0	0	Valle-llegando a Vallendar
Polvo 16-C4	324957	6839054	0	2	5	7	1	34	1	0	15	1	0	Valle-llegando a Vallendar
Polvo 1-C2	296398	6844854	1	1	0	0	2	10	1	1	0	1	1	Valle
Polvo 6-C2	286320	6849550	0	37	3	2	2	23	0	0	4	0	0	Valle
Polvo 7-C2	288559	6847555	0	30	16	3	2	43	0	0	5	1	0	Valle
Polvo 8-C2	291777	6845684	0	11	5	2	2	11	0	0	4	1	0	Valle
Polvo 9-C2	297389	6844505	0	51	4	3	1	59	0	0	243	1	0	Valle
Polvo 10-C2	302743	6843773	0	39	8	2	2	60	1	0	5	1	0	Valle
Polvo 11-C2	309407	6843401	0	2	4	2	1	11	0	0	4	0	0	Valle
Polvo 12-C2	314654	6841724	0	6	3	5	2	14	1	1	4	1	0	Valle
Polvo 13-C2	324904	6839020	0	35	5	6	1	46	0	0	11	1	0	Vallendar rural

Anexo 6.6. Tabla de concentración de metales (mg/kg) en sedimentos fluviales

Tabla 28. Concentración de metales (mg/kg) en sedimentos fluviales

	Identificación	Descripción del sector	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe
1	PTO 28	UDA-1,7 km al norte de la Ruta 5 hacia la cordillera,	6,34	40,88	22,81	26,66	10,33	5,127	374,1 2	106,4 7	21,13	10,01	30833,3 3
2	Sedimento 1	160 m Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Bajo el puente Vallenar	4,88	60,87	13,11	38,41	10,67	6,80	340,6 0	72,05	34,35	10,22	18079,1 53
3	Sedimento 2	600 m Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Extracción de áridos,	6,41	107,4 0	12,55	103,93	12,60	15,80	832,1 1	72,68	63,97	14,74	28619,5 95
4	Sedimento 4	3,7 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Acceso pedregoso, vegetación y algas	4,50	43,69	12,96	16,45	6,19	<2,0 9	244,8 1	76,92	15,49	9,09	15921,7 88
5	Sedimento 3	5 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Cruce de camino por el río	8,72	65,53	23,13	43,09	9,05	4,91	673,2 3	171,9 4	30,99	14,10	42258,2 56
6	Sedimento 6	11 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Dificil acceso, sin camino, vegetación	4,72	55,99	9,84	29,56	9,69	5,29	394,4 2	58,55	37,28	10,17	17231,0 76
7	Sedimento 7	12 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Junto canal de regadío	3,40	49,45	6,81	26,40	7,55	<2,0 9	327,9 8	34,57	36,93	8,18	13911,0 49
8	Sedimento 8	12,6 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Cercano a cruce de camino, abundante vegetación	2,35	38,95	3,99	23,06	<LD	<2,0 9	269,7 0	24,63	40,54	5,11	8510,87 2
9	Sedimento 9	14 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco	3,46	49,00	7,60	26,20	6,98	<2,0 9	464,5 7	39,80	70,59	8,15	8815,86 7
10	PTO 30	500m al sur de Sed9	3,58	48,43	10,59	34,96	13,40	<2,0 9	430,6 0	50,38	42,83	8,81	23190,0 0
11	Sedimento 19	Pasando Totora	4,28	41,23	15,12	11,41	9,96	4,37	461,7 4	58,48	29,32	9,34	22992,8 5
12	Sedimento 20		4,59	44,88	17,33	12,35	9,01	<2,0 9	477,2 1	62,73	30,89	9,26	16257,1 8
13	Sedimento 18	3 km al norte de Nicolasa	4,06	47,35	18,79	16,06	8,86	4,60	393,3 0	53,06	56,66	8,78	19590,2 9
14	Sedimento	100 m del puente	3,43	40,25	10,37	13,18	8,42	<2,0	361,6	39,11	38,09	6,99	14330,0

	Identificación	Descripción del sector	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe
	10	Nicolasa, Cercano a puente y zona urbana, Algas						9	0				00
15	Sedimento 11	2 km al norte de Freirina, Cercano a balneario y planta de áridos	2,65	37,04	11,06	9,00	5,62	<2,09	421,53	30,19	26,08	5,09	9164,68
16	Sedimento 5	1 km al norte de Freirina, Cercano a pared de tierra	2,97	36,88	12,50	15,86	11,99	<2,09	543,34	31,60	34,52	6,63	6688,583
17	PTO 49-1	500 m al norte de Freirina	<1,02	30,33	5,48	22,36	8,09	<2,09	1241,00	21,59	54,26	4,22	11790,00
18	Sedimento 21	1 km al sur de Freirina	2,96	41,01	9,40	12,89	5,50	<2,09	355,66	30,37	31,18	5,77	12420,26
19	Sedimento 15	2 km al norte El Pino, Pedregoso, vegetación, algas	2,81	33,10	8,75	9,78	6,02	<2,09	2479,34	28,47	40,42	5,77	14364,42
20	Sedimento 16	1 km al norte El Pino, Vegetación, algas	3,12	36,16	11,27	7,17	7,49	4,25	1013,20	35,45	32,06	6,73	12392,48
21	Sedimento 17	Puente El Pino (bajo el puente)	3,85	39,81	12,99	21,44	7,12	<2,09	694,77	47,53	41,02	7,66	12689,09
22	Sedimento 14	Huasco bajo, Bajo el puente, Vegetación, algas	2,75	31,60	9,37	7,14	5,12	<2,09	13971,7	32,36	47,52	5,16	9070,21
23	Sedimento 12	1,6 km antes de la línea de costa, Humedal	4,01	38,40	17,90	5,75	7,68	<2,09	432,86	56,82	27,06	8,06	21036,40
24	Sedimento 13	1,6 km antes de la línea de costa, Humedal	3,88	37,50	13,65	6,81	6,67	<2,09	359,05	51,47	32,42	8,00	13986,57

6.7 Tablas de concentración de metales totales (mg/L), en aguas superficiales

6.7.1 Tabla 29. Concentración de metales totales (mg/L), Cd, Zn, Cr, As en aguas superficiales

Nº muestra	Nº Cliente	Cd	Zn	Cr	As
1	PTO 12-Aguas	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
2	PTO 28-Aguas	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
3	PTO 30-Aguas	<0,001	0,0099	<0,006	<0,015
4	PTO 30D-Aguas	<0,001	0,0336	<0,006	<0,015
5	PTO 49-Aguas	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
6	PTO 50-Aguas	0,0011	0,0097	<0,006	<0,015
7	Agua 1-C3	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
8	Agua 2-C3	0,0012	<0,009	<0,006	<0,015
9	Agua 3-C3	0,0013	<0,009	<0,006	<0,015
10	Agua 4-C3	0,0011	<0,009	<0,006	<0,015
11	Agua 5-C3	0,0015	<0,009	<0,006	<0,015
12	Agua 6-C3	0,0015	<0,009	<0,006	<0,015
13	Agua 7-C3	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
14	Agua 8-C3	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
15	Agua 9-C3	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
16	Agua 10-C3	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
17	Agua 11-C3	<0,001	<0,009	<0,006	<0,015
18	Agua 12-C3	0,0019	<0,009	<0,006	<0,015
19	Agua 13-C3	0,0014	<0,009	<0,006	<0,015
20	Agua 14-C3	0,0012	<0,009	<0,006	<0,015
21	Agua 15-C3	0,0013	<0,009	<0,006	<0,015
22	Agua 16-C3	0,0015	<0,009	<0,006	<0,015
23	Agua 17-C3	0,0021	<0,009	<0,006	<0,015
24	Agua 18-C3	0,0011	<0,009	<0,006	<0,015
25	Agua 19-C3	0,0017	<0,009	<0,006	<0,015
26	Agua 20-C3	0,0013	<0,009	<0,006	<0,015
27	Agua 21-C3	0,0014	<0,009	<0,006	<0,015
28	Agua 22-C3	0,0015	<0,009	<0,006	<0,015
29	Agua 23-C3	0,0018	<0,009	<0,006	<0,015
30	Agua 24-C3	0,0015	<0,009	<0,006	<0,015
31	Agua 25-C3	0,0017	<0,009	<0,006	<0,015
32	Agua 26-C3	0,0013	<0,009	<0,006	<0,015
33	Agua 27-C3	0,0012	<0,009	<0,006	<0,015
34	Agua 28-C3	0,0012	<0,009	<0,006	<0,015

Nº muestra	Nº Cliente	Cd	Zn	Cr	As
35	Agua 29-C3	0,0019	<0,009	<0,006	<0,015
36	Agua 30-C3	0,0013	<0,009	<0,006	<0,015
37	Agua 31-C3	0,0021	<0,009	<0,006	<0,015
38	Agua 32-C3	0,0017	<0,009	<0,006	<0,015
39	Agua 33-C3	0,0016	<0,009	<0,006	<0,015
40	Agua 34-C3	0,0018	<0,009	<0,006	<0,015
41	Agua 35-C3	0,0017	<0,009	<0,006	<0,015
42	Agua 36-C3	0,0016	<0,009	<0,006	<0,015

Tabla 30. Concentración de metales totales (mg/L), Cu, Ni, Pb, Al, Se en aguas superficiales.

Nº muestra	Nº Cliente	Cu	Ni	Pb	Al	Se
1	PTO 12-Aguas	<0,005	<0,032	<0,008	0,0384	<0,010
2	PTO 28-Aguas	<0,005	<0,032	<0,008	0,0512	0,0164
3	PTO 30-Aguas	0,0074	<0,032	<0,008	0,1311	0,0254
4	PTO 30D-Aguas	0,0069	<0,032	<0,008	0,0374	0,0151
5	PTO 49-Aguas	<0,005	<0,032	<0,008	0,0337	0,0241
6	PTO 50-Aguas	<0,005	<0,032	<0,008	0,0326	0,0163
7	Agua 1-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,032	<0,010
8	Agua 2-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,1035	<0,010
9	Agua 3-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
10	Agua 4-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,2021	<0,010
11	Agua 5-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
12	Agua 6-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,1097	<0,010
13	Agua 7-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0686	<0,010
14	Agua 8-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0891	<0,010
15	Agua 9-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0492	<0,010
16	Agua 10-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
17	Agua 11-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,034	<0,010
18	Agua 12-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0547	<0,010
19	Agua 13-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
20	Agua 14-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0743	<0,010
21	Agua 15-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
22	Agua 16-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0267	<0,010
23	Agua 17-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
24	Agua 18-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
25	Agua 19-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010

Nº muestra	Nº Cliente	Cu	Ni	Pb	Al	Se
26	Agua 20-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
27	Agua 21-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0262	<0,010
28	Agua 22-C3	<0,005	0,0352	<0,008	<0,026	0,013
29	Agua 23-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
30	Agua 24-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
31	Agua 25-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
32	Agua 26-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,049	<0,010
33	Agua 27-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0428	<0,010
34	Agua 28-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
35	Agua 29-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,0448	<0,010
36	Agua 30-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
37	Agua 31-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
38	Agua 32-C3	<0,005	0,0338	<0,008	<0,026	<0,010
39	Agua 33-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
40	Agua 34-C3	<0,005	<0,032	<0,008	0,1139	<0,010
41	Agua 35-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010
42	Agua 36-C3	<0,005	<0,032	<0,008	<0,026	<0,010

Fuente: LQA CENMA

Tabla 31. Concentración de metales totales (mg/L), Mn, Ag, V, Ba, Co en aguas superficiales.

Nº muestra	Nº Cliente	Mn	Ag	V	Ba	Co
1	PTO 12-Aguas	0,0551	<0,001	<0,001	0,023	<0,001
2	PTO 28-Aguas	0,0143	<0,001	<0,001	0,0447	<0,001
3	PTO 30-Aguas	0,0977	<0,001	<0,001	0,0472	<0,001
4	PTO 30D-Aguas	0,0134	<0,001	<0,001	0,0238	<0,001
5	PTO 49-Aguas	0,0318	<0,001	<0,001	0,0275	<0,001
6	PTO 50-Aguas	0,0103	<0,001	<0,001	0,0274	<0,001
7	Agua 1-C3	0,016	0,001	0,002	0,0307	<0,001
8	Agua 2-C3	0,073	<0,001	0,002	0,0307	<0,001
9	Agua 3-C3	<0,001	0,002	0,004	0,0293	<0,001
10	Agua 4-C3	0,156	<0,001	0,004	0,0294	<0,001
11	Agua 5-C3	0,022	0,002	<0,001	0,0248	<0,001
12	Agua 6-C3	0,040	0,002	0,002	0,0226	<0,001
13	Agua 7-C3	0,015	0,001	0,002	0,0238	<0,001
14	Agua 8-C3	0,030	0,002	0,002	0,0245	<0,001

N° muestra	N° Cliente	Mn	Ag	V	Ba	Co
15	Agua 9-C3	0,020	0,001	0,002	0,0213	<0,001
16	Agua 10-C3	0,005	0,0016	<0,001	0,0131	<0,001
17	Agua 11-C3	0,009	0,0015	<0,001	0,0249	<0,001
18	Agua 12-C3	0,048	0,0029	<0,001	0,0252	<0,001
19	Agua 13-C3	0,048	0,0032	<0,001	0,0295	<0,001
20	Agua 14-C3	0,010	0,0025	<0,001	0,0327	<0,001
21	Agua 15-C3	0,058	0,0029	<0,001	0,035	<0,001
22	Agua 16-C3	0,033	0,0026	<0,001	0,033	<0,001
23	Agua 17-C3	0,014	0,0024	<0,001	0,0281	<0,001
24	Agua 18-C3	0,015	0,0017	<0,001	0,0249	<0,001
25	Agua 19-C3	0,027	0,0016	<0,001	0,0242	<0,001
26	Agua 20-C3	0,014	0,0017	<0,001	0,0244	<0,001
27	Agua 21-C3	0,024	0,0017	<0,001	0,024	<0,001
28	Agua 22-C3	0,013	0,0022	<0,001	0,0136	<0,001
29	Agua 23-C3	0,022	0,0017	<0,001	0,0235	<0,001
30	Agua 24-C3	0,011	0,0019	<0,001	0,0242	<0,001
31	Agua 25-C3	0,003	0,0021	<0,001	0,0247	<0,001
32	Agua 26-C3	0,031	0,0019	<0,001	0,0255	<0,001
33	Agua 27-C3	0,041	0,0018	<0,001	0,026	<0,001
34	Agua 28-C3	0,016	0,0018	<0,001	0,026	<0,001
35	Agua 29-C3	0,025	0,0019	<0,001	0,0262	<0,001
36	Agua 30-C3	0,010	0,002	<0,001	0,0254	<0,001
37	Agua 31-C3	0,010	0,0017	<0,001	0,0256	<0,001
38	Agua 32-C3	0,008	0,0026	<0,001	0,0278	<0,001
39	Agua 33-C3	0,008	0,002	<0,001	0,0251	<0,001
40	Agua 34-C3	0,011	0,0017	<0,001	0,0251	<0,001
41	Agua 35-C3	0,017	0,0018	<0,001	0,0256	<0,001
42	Agua 36-C3	0,009	0,0017	<0,001	0,0254	<0,001

Fuente: LQA CENMA

Tabla 32. Concentración de metales totales (mg/L), Mo, Be, B, Fe en aguas superficiales.

Nº muestra	Nº Cliente	Mo	Be	B	Fe
1	PTO 12-Aguas	<0,001	<0,0003	1,597	0,1055
2	PTO 28-Aguas	<0,001	<0,0003	0,3328	<0,100
3	PTO 30-Aguas	<0,001	<0,0003	1,561	0,1312
4	PTO 30D-Aguas	<0,001	<0,0003	1,656	<0,100
5	PTO 49-Aguas	<0,001	<0,0003	1,191	<0,100
6	PTO 50-Aguas	<0,001	<0,0003	1,086	<0,100
7	Agua 1-C3	0,0059	<0,0003	0,3393	<0,100
8	Agua 2-C3	0,0056	<0,0003	0,411	0,157
9	Agua 3-C3	0,0069	<0,0003	0,678	<0,100
10	Agua 4-C3	0,0048	<0,0003	0,626	0,282
11	Agua 5-C3	<0,001	<0,0003	0,987	<0,100
12	Agua 6-C3	0,0015	<0,0003	1,066	0,115
13	Agua 7-C3	0,0012	<0,0003	1,323	<0,100
14	Agua 8-C3	0,001	<0,0003	1,177	0,107
15	Agua 9-C3	0,0018	<0,0003	1,467	<0,100
16	Agua 10-C3	<0,001	<0,0003	0,313	<0,100
17	Agua 11-C3	0,0012	<0,0003	0,863	<0,100
18	Agua 12-C3	<0,001	<0,0003	1,402	0,121
19	Agua 13-C3	<0,001	<0,0003	1,438	<0,100
20	Agua 14-C3	<0,001	<0,0003	1,333	<0,100
21	Agua 15-C3	<0,001	<0,0003	1,239	<0,100
22	Agua 16-C3	<0,001	<0,0003	1,275	<0,100
23	Agua 17-C3	0,0014	<0,0003	1,344	<0,100
24	Agua 18-C3	<0,001	<0,0003	0,985	<0,100
25	Agua 19-C3	<0,001	<0,0003	0,965	<0,100
26	Agua 20-C3	<0,001	<0,0003	0,961	<0,100
27	Agua 21-C3	<0,001	<0,0003	0,977	<0,100
28	Agua 22-C3	0,001	<0,0003	0,348	<0,100
29	Agua 23-C3	0,0022	<0,0003	0,928	<0,100
30	Agua 24-C3	0,0012	<0,0003	0,883	<0,100
31	Agua 25-C3	<0,001	<0,0003	0,948	<0,100
32	Agua 26-C3	<0,001	<0,0003	0,962	<0,100
33	Agua 27-C3	<0,001	<0,0003	0,961	0,150
34	Agua 28-C3	<0,001	<0,0003	0,988	<0,100
35	Agua 29-C3	0,0023	<0,0003	0,978	0,176
36	Agua 30-C3	0,0011	<0,0003	0,965	<0,100

N° muestra	N° Cliente	Mo	Be	B	Fe
37	Agua 31-C3	0,0013	<0,0003	0,970	<0,100
38	Agua 32-C3	0,0019	<0,0003	1,074	<0,100
39	Agua 33-C3	0,001	<0,0003	0,989	<0,100
40	Agua 34-C3	<0,001	<0,0003	0,991	0,150
41	Agua 35-C3	0,0017	<0,0003	0,9932	<0,100
42	Agua 36-C3	0,0012	<0,0003	0,9818	<0,100

Fuente: LQA CENMA

6.8 GLOSARIO

1. **Contaminante:** Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.
2. **Contaminación:** La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.
3. **Contaminante del aire:** Cualquier sustancia en el aire que, en determinada concentración, puede dañar al hombre, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial de materia flotante, susceptible de ser transportada por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, gotitas, líquidas, gases o combinadas. En general, se clasifican en dos grandes grupos: los emitidos directamente por fuentes identificables, y los producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios, o por la reacción con los compuestos normales de la atmósfera, con o sin fotoactivación. Excluyendo al polen, niebla y polvo, que son de origen natural, alrededor de cien contaminantes han sido identificados y colocados dentro de las categorías siguientes: sólidos, componentes sulfurosos, VOC, compuestos nitrogenados, compuestos oxigenados, compuestos halógenos, compuestos radioactivos y olores.
4. **Fuente fija (estacionaria):** Toda instalación o actividad establecida, en un sólo lugar o área, que desarrolle operaciones o procesos industriales, comerciales y/o de servicios, que emitan o puedan emitir contaminantes a la atmósfera, agua o suelo.
5. **Fuente difusa:** Fuente emisora de contaminantes que no se encuentran establecidas en un lugar determinado, sino que pueden abarcar áreas extensas, como por ejemplo los caminos sin asfaltar, desde los cuales se genera un levantamiento de polvo.
6. **Medio ambiente:** Sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza química, física o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural, y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.
7. **Medio ambiente libre de contaminación:** Aquel en el que los contaminantes se encuentran en concentraciones y períodos inferiores a aquellos susceptibles de constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza y/o preservación del patrimonio ambiental.
8. **Norma de emisión:** Las que establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora.
9. **Norma primaria de calidad ambiental:** Aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos y mínimos permisibles de elementos

compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

10. **Norma secundaria de calidad ambiental:** Aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del M.A.
11. **Material Particulado:** Son los sólidos sedimentables y en suspensión emitidos por un establecimiento regulado o fuente emisora.
12. **Material Particulado Sedimentable:** Es el material particulado, cualquiera sea su tamaño, captado sobre una unidad de superficie en una unidad de tiempo. Generalmente está constituido por partículas sólidas de tamaño comprendido entre 10 y 500 micrómetros. Este material corresponde a “polvo grueso” que tiene una velocidad de sedimentación apreciable y tiempo de permanencia en la atmósfera relativamente corto.
13. **PM-2.5:** Corresponde a aquellas partículas de diámetro inferior o igual a los 2,5 micrómetros. Su tamaño hace que sean 100% respirables, por lo que penetran el aparato respiratorio y se depositan en los alveolos pulmonares.
14. **PM-10:** Partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, suspendidas en la atmósfera, cuyo diámetro es inferior a 10 micrómetros.
15. **Protección del medio ambiente:** Conjunto de políticas, planes, normas, programas y acciones destinados a mejorar el medio ambiente y prevenir y controlar su deterioro.
16. **Riesgo:** Probabilidad de ocurrencia de un daño. (Fuente: D.S. N° 148/2003 de MINSAL)
17. **Toxicidad:** Capacidad de una sustancia de ser letal en baja concentración o de producir efectos tóxicos acumulativos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos. (Fuente: D.S. N° 148/2003 de MINSAL)
18. **Tratamiento:** Todo proceso destinado a cambiar las características físicas y/o químicas de los residuos peligrosos, con el objetivo de neutralizarlos, recuperar energía o materiales, o eliminar o disminuir su peligrosidad
19. **Zona latente:** Aquélla en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental. (Fuente: Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente)