

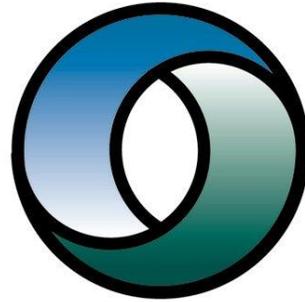
De: [Soledad Fuentealba](#)
A: [normatermoelectricas](#)
Asunto: HUASCO-2
Fecha: miércoles, 29 de abril de 2020 22:52:09
Archivos adjuntos: [Polvo negro LQA-C01-P07-ITE-003 Rev G \(1\) \(1\).pdf](#)

Sres Ministerio del Medio Ambiente:

Adjunto envío a Ud. antecedentes para el proceso de revisión de la Norma de Termoelectricas.

Atte

Soledad Fuentealba Triviño



cenma
Centro Nacional del Medio Ambiente

INFORME FINAL
Versión corregida 5

**“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL POLVO
NEGRO EN LA COMUNA DE HUASCO E
IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN”**

Preparada por el Centro Nacional de Medio Ambiente (CENMA),
Fundación de la Universidad de Chile para el
Ministerio del Medio Ambiente,
Subsecretaría del Medio Ambiente

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2017



Historia del documento

Revisión	Fecha de revisión	Revisado por	Aprobado por	Fecha de aprobación	Tipo de revisión
C	09-08-2016	DR	IC		C
D	29-12-2016	IC			
E	27-04-2017	DR			

Distribución de copias

Revisión	Número de copias	Distribuidas a
C	2	IC/JD
D	2	IC/JD

Imprimido	1 septiembre 2017
Último guardado	1 septiembre 2017 03:28
Nombre del archivo	LQA-C01-P07-ITE-003_REV E
Autor	Daniel Rebolledo//Isel Cortes
Jefe de proyecto	Isel Cortes
Nombre organización	Centro Nacional del Medio Ambiente
Nombre del proyecto	Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación
Nombre del documento	INFORME FINAL. Versión corregida 5
Versión	E



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS Y ALCANCES	8
2.1	Objetivo general.....	8
2.2	Objetivos específicos	8
2.3	Alcances.....	8
3	OBJETIVO 1: RECOPIACIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ANTECEDENTES EXISTENTES ACERCA DE LA COMUNA DE HUASCO Y DE LA PRESENCIA DE POLVO NEGRO EN ESTA COMUNA.	9
3.1	Antecedentes históricos de la minería de hierro en Huasco.....	9
3.2	Antecedentes de la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.....	11
3.2.1	Polvo negro en el suelo de la comuna de Huasco.....	11
3.2.2	Polvo negro en el aire de la comuna de Huasco.	12
3.2.3	Polvo negro en aguas de la cuenca del Río Huasco.	15
3.2.4	Polvo negro en sedimentos fluviales en la cuenca del Río Huasco.	17
3.2.5	Polvo negro en la biota de la cuenca del Río Huasco.....	17
3.2.6	Polvo negro en las plantaciones agrícolas del Valle del Huasco.	17
3.2.7	Estadísticas ambientales de la comuna de Huasco.....	18
3.2.8	Inventarios de emisiones atmosféricas en la comuna de Huasco.....	23
3.2.9	Fuentes fijas, móviles y fugitivas de polvo negro en la comuna de Huasco. Identificación. Información cuantitativa disponible. Caracterización geográfica.....	23
3.2.9.1	Fuentes fijas	23
3.2.9.1	Fuentes móviles.....	24
3.2.10	Relación del uso de combustibles con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.	26
3.2.11	Seguimiento de MPS y de Fe en el Valle del Huasco, según la NSCA vigente.	26
3.2.12	Contaminantes en polvo en distintos lugares de Chile. Resultados y metodologías de muestreo y análisis.	34
3.2.13	Contaminantes en polvo en referencias internacionales. Resultados y metodologías de muestreo y análisis.	35
3.2.14	Condiciones meteorológicas de la comuna de Huasco y su relación con la presencia de polvo negro.	37
3.2.15	Características topográficas de la comuna de Huasco y su relación con la presencia de polvo negro.	44
3.2.16	Características sociales y conflictos ambientales en la comuna de Huasco y su relación con la presencia de polvo negro.	45
3.2.17	Alcance de las revisiones.....	46
3.2.18	Conclusiones parciales de los antecedentes disponibles.	52
3.3	Campañas de muestreo.....	53
3.4	Material Particulado Sedimentable (MPS).....	55
3.4.1	Instalación de muestreadores para coleccionar muestras de MPS.	55
3.4.2	Material Particulado Sedimentable (MPS) en la zona de estudio.	61
3.4.3	Metales pesados en Material Particulado Sedimentable (MPS)	64
3.5	Polvo negro depositado.	77
3.6	Suelo.	92
3.6.1	Suelo superficial.....	92
3.6.2	Suelo de áreas background.....	98



3.7	Sedimentos fluviales	104
3.8	Agua superficial	111
3.9	Percepción del polvo negro por parte de las personas.....	118
4	OBJETIVO 3: DEFINIR LA ZONA DE INFLUENCIA DEL POLVO NEGRO A TRAVÉS DE MODELACIÓN.....	120
4.1	Balance de masa entre las emisiones de polvo negro y la presencia en otras matrices.	130
4.2	Análisis de sensibilidad del modelo.....	132
4.3	Recomendaciones para levantar información faltante con vistas a robustecer el modelo con su nivel de certeza.	132
4.4	Definición de la zona de influencia del polvo negro.....	133
5	OBJETIVO 4. DEFINIR EL MODELO CONCEPTUAL DE LA INCIDENCIA DE LAS SUSTANCIAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES QUE PUEDAN PRODUCIR EFECTOS NEGATIVOS EN LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE (AIRE, SUELO, AGUA, SEDIMENTO, BIOTA Y/O ALIMENTOS).	134
5.1	Modelo conceptual preliminar.	134
5.2	Descripción de la incidencia de las sustancias potencialmente contaminantes que estén presentes en el polvo negro y que puedan producir efectos negativos en la salud y el medio ambiente.....	137
5.2.1	Identificación de receptores potenciales.....	137
5.2.2	Comparación con valores Guía de Evaluación de Medios Ambientales (EMEG).	137
5.2.3	Perfiles de toxicidad de los contaminantes de interés.	142
5.2.3.1	Cadmio	142
5.2.3.2	Cromo.....	143
5.2.3.3	Cobre.....	144
5.2.3.4	Manganeso.....	145
5.2.3.5	Vanadio	146
6	OBJETIVO 5 DISEÑAR E IMPLEMENTAR MEDIDAS DE GESTIÓN PILOTO ORIENTADAS A LA MITIGACIÓN DEL POLVO NEGRO, VERIFICANDO SU EFICIENCIA EN LOS RECEPTORES SENSIBLES.....	148
6.1	Medidas para mitigar el polvo en la ciudad de Huasco.	148
6.1.1	Implementar ordenanza municipal que considere el lavado de calles, con frecuencia mínima de 1 vez por semana.	148
6.1.2	Implementar ordenanza municipal que considere la limpieza diaria de los equipos de juego en áreas de recreación infantil.	149
6.1.3	Implementar ordenanza municipal para la limpieza profunda de techos y exteriores en colegios, jardines infantiles y recintos escolares, usando máquinas hidrolavadoras.	150
6.2	Medidas para mitigar el polvo en el sector del muestreador MPS-1.....	151
6.2.1	Plantar árboles en el entorno de las casas del sector, para que contribuyan a retener el polvo impidiendo que llegue al contacto con los receptores.....	151
6.2.2	Realizar evaluación de salud en los receptores potencialmente afectados en el sector del muestreador MPS-1.....	152
6.3	Medidas para mitigar el polvo en el valle de Huasco.....	154
6.3.1	Incorporar acciones de lavado profundo del material que cae del tren y en el entorno de la línea del tren.	154



6.3.2	Incentivar prácticas agrícolas que incentiven la diversificación agrícola de los cultivos en el valle, utilizando invernaderos y cobertura que proteja las plantas de la exposición al polvo.....	155
6.4	Otras medidas generales.....	156
6.4.1	Incorporar acciones de mitigación en los planes de producción limpia que implementan los industriales en la zona.....	156
6.4.2	Presentar al Fondo Nacional de Desarrollo Regional, un proyecto de innovación que considere el uso de la ceniza actualmente depositada en los cenizales.....	157
7	OBJETIVO 6 DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	160
8	CONCLUSIONES GENERALES.....	161
9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	164
9.1	Libros.....	164
9.2	Publicaciones científicas.....	164
9.3	Normativas ambientales.....	165
9.4	Páginas web consultadas.....	165
9.5	Informes de estudios realizados.....	167
9.6	Tesis y documentos universitarios.....	167
9.7	Documentos ambientales varios.....	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Información general de proyectos aprobados en el SEIA para la comuna de Huasco.....	5
Tabla 2:	Identificación de proyectos En Calificación dentro del SEIA, para la comuna de Huasco.....	7
Tabla 3:	Estaciones de muestreo y estado ecológico de las aguas en las mismas.....	15
Tabla 4:	Resultados de la revisión bibliográfica de antecedentes en base de datos Sciedirect.....	36
Tabla 5:	Identificación de las fichas de antecedentes y sus conclusiones útiles para el presente estudio.....	47
Tabla 6:	Cantidad de muestras obtenidas por campaña para cada matriz ambiental.....	54
Tabla 7:	Información operativa resumida de las campañas de MPS.....	55
Tabla 8:	Ubicación de los muestreadores de MPS instalados para la ejecución de este proyecto.....	56
Tabla 9:	Distancia y posición relativa de los diferentes muestreadores respecto de puntos de interés para el proyecto: la línea del tren, carreteras, la costa, el río Huasco, Península Chapaco, Península Guacolda, depósito temporal de carbón al lado de la carretera.....	58
Tabla 10:	Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los 15 puntos donde se instalaron equipos para coleccionar muestras.....	61
Tabla 11:	Valores promedio mensual de MPS en la cuenca del Río Huasco, obtenidos en este estudio.....	63
Tabla 12:	Concentración de metales en polvo depositado.....	79
Tabla 13:	Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo urbano de la ciudad de Vallenar.....	86
Tabla 14:	Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo que se encuentra a 5 m del suelo.....	87
Tabla 15:	Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del material que cae del tren de Ferronor.....	89



Tabla 16: Estadística descriptiva para los contaminantes de interés en polvo depositado.	91
Tabla 17: Estadística descriptiva para los contaminantes de interés en polvo depositado. y comparación con los EMEG.	91
Tabla 18: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo superficial considerados en este estudio	92
Tabla 19: Valores promedio de concentración de metales (mg/kg) en suelo superficial, para diferentes sectores de la zona de estudio.	94
Tabla 20: Descripción de los tipos geológicos de suelo, en la zona de estudio.	98
Tabla 21: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo background considerados en este estudio	101
Tabla 22: Estadística descriptiva de los metales en suelos background de la zona de estudio.	102
Tabla 23: 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.	103
Tabla 24: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos fluviales considerados en este estudio	105
Tabla 25: Concentración de metales (mg/kg) en sedimentos fluviales y los valores TEL y PEL para algunos metales.	107
Tabla 26: Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial considerados en este estudio	112
Tabla 27: Concentración de metales totales (mg/L), Cd, Zn, Cr, As en aguas superficiales.	114
Tabla 28: Concentración de metales totales (mg/L), Cu, Ni, Pb, Al, Se en aguas superficiales.	115
Tabla 29: Concentración de metales totales (mg/L), Mn, Ag, V, Ba, Co en aguas superficiales.	116
Tabla 30: Concentración de metales totales (mg/L), Mo, Be, B, Fe en aguas superficiales.	117
Tabla 31: Distribución por sexo y edad de las personas que contestaron el cuestionario, distribuidas por las comunas de la zona de estudio.	119
Tabla 32: Valores empleados para estimar las emisiones de MPS por acción del viento.	122
Tabla 33: Concentración modelada del contaminante a diferentes distancias desde la fuente emisora, para diferentes condiciones de estabilidad meteorológica. Fuente de polvo negro "depósito temporal de carbón".	125
Tabla 34: Tasas de emisión de MP Planta de Pellets	126
Tabla 35: Concentración modelada del contaminante a diferentes distancias desde la fuente emisora, para diferentes condiciones de estabilidad meteorológica. Área expuesta de Planta de Pellet/CAP	127
Tabla 36: Concentración modelada del contaminante a diferentes distancias desde la fuente emisora, para diferentes condiciones de estabilidad meteorológica. Fuente de polvo negro "línea del tren".	130
Tabla 37: Identificación de los sectores donde se ubican los receptores potenciales.	137
Tabla 38: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Ciudad de Huasco	138
Tabla 39: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Zona industrial de Huasco	139

Tabla 40: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Valle de Huasco.....	140
Tabla 41: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Vallenar	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de fuentes industriales y otros lugares de interés para este proyecto.....	3
Ilustración 2: Ubicación de las estaciones de monitoreo de diferentes componentes de calidad de aire en la comuna de Huasco y sectores aledaños, según información recogida desde antecedentes.....	14
Ilustración 3: Resumen del estado ecológico de las aguas en las estaciones de la Cuenca del Río Huasco,	16
Ilustración 4: Representación esquemática de la zona saturada por MP10	21
Ilustración 5: Ubicación de las fuentes emisoras de polvo negro en la comuna de Huasco según referencias.	25
Ilustración 6: Promedio mensual de MP2,5 en la estación de la red SIVICA en la ciudad de Huasco.	26
Ilustración 7: Valores históricos de MPS para los años 2000 a 2002.	27
Ilustración 8: Valores históricos de Fe en MPS para los años 2000 a 2002.	28
Ilustración 9: Simulación para las emisiones de SO ₂ en el valle del Huasco.	28
Ilustración 10: MPS en el valle del Huasco.	29
Ilustración 11: Ubicación relativa de los muestreadores de MPS para la red CMP fiscalizada por SAG en el Valle del Huasco.	30
Ilustración 12: Variación de los valores promedio anual de MPS (mg/m ² /día) para los diferentes muestreadores operados por CAP Minería para el cumplimiento de la norma secundaria de MPS en el Valle del Huasco.	30
Ilustración 13: Valores mensuales de MPS (mg/m ² /día). Muestreador 1. Período 2009-2015	31
Ilustración 14: Valores mensuales de MPS (mg/m ² /día). Muestreador 2. Período 2009-2015	32
Ilustración 15: Valores mensuales de MPS (mg/m ² /día). Muestreador 3. Período 2009-2015	32
Ilustración 16: Valores mensuales de MPS (mg/m ² /día). Muestreador 4. Período 2009-2015	33
Ilustración 17: Valores mensuales de MPS (mg/m ² /día). Muestreador 5. Período 2009-2015	33
Ilustración 18: Valores mensuales de MPS (mg/m ² /día). Muestreador 6. Período 2009-2015	34
Ilustración 19: Direcciones de viento predominante en Huasco, enero y julio de 2004.....	38
Ilustración 20: Rosa de los vientos para la ciudad de Huasco (Enero-Diciembre/2007)...	38
Ilustración 21: Velocidad del viento (km/h) en la estación CE Huasco-Vallenar	39
Ilustración 22: Temperatura del aire (°C) en la estación CE Huasco-Vallenar.....	39
Ilustración 23: Precipitación acumulada (mm) en la estación CE Huasco-Vallenar.	40
Ilustración 24: Evapotranspiración (mm) en la estación CE Huasco-Vallenar	40
Ilustración 25: Estación SM6 Parcela Buena Esperanza. (292058 E, 6845539 N), comuna de Freirina. Registros SO ₂ promedio mensual.	41
Ilustración 26: Estación SM7 Los Loros (295021 E, 6846218 N) comuna de Freirina. Registros SO ₂ promedio mensual	41



Ilustración 27: Estación SM8 Freirina. (296473 E, 6845185 N) comuna de Freirina. Registros SO ₂ promedio mensual.	42
Ilustración 28: Estación SM1 Vertedero Huasco. (279550 E, 6845667 N) comuna de Huasco. Registros SO ₂ promedio mensual.	42
Ilustración 29: Estación EME M Huasco. (278931 E, 6849087 N) comuna de Huasco. Registros SO ₂ promedio mensual.	43
Ilustración 30: Estación SM2 Quinta La Rosa, Huasco. (286614 E, 6849717 N), comuna de Huasco. Registros SO ₂ promedio mensual.	43
Ilustración 31: Estación SM3 Compañía de Bomberos, Huasco Bajo. (286948 E, 6848974 N) comuna de Huasco. Registros SO ₂ promedio mensual.	44
Ilustración 32: Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.	45
Ilustración 33: Mapa con la ubicación de todos los muestreadores de MPS instalados por CENMA para este estudio, desde Huasco hasta Vallenar.	60
Ilustración 34: Resultados de MPS insoluble [mg/(día· m ²)], en los 15 puntos de muestreo contenidos en este estudio.	64
Ilustración 35: Distribución de Cd (mg/kg) en MPS para diciembre 2015	65
Ilustración 36: Distribución de Cd (mg/kg) en MPS para enero 2016	65
Ilustración 37: Distribución de Cd (mg/kg) en MPS para febrero 2016.	66
Ilustración 38: Distribución de Fe (mg/kg) en MPS para diciembre 2015	66
Ilustración 39: Distribución de Fe (mg/kg) en MPS para enero 2016.	67
Ilustración 40: Distribución de Fe (mg/kg) en MPS para febrero 2016	67
Ilustración 41: Distribución de Mn (mg/kg) en MPS para diciembre 2015.	68
Ilustración 42: Distribución de Mn (mg/kg) en MPS para enero 2016.	68
Ilustración 43: Distribución de Mn (mg/kg) en MPS para febrero 2016.	69
Ilustración 44: Distribución de Cr (mg/kg) en MPS para diciembre 2015.	69
Ilustración 45: Distribución de Cr (mg/kg) en MPS para enero 2016.	70
Ilustración 46: Distribución de Cr (mg/kg) en MPS para febrero 2016.	70
Ilustración 47: Distribución de Cu (mg/kg) en MPS para diciembre 2015	71
Ilustración 48: Distribución de Cu (mg/kg) en MPS para enero 2016	71
Ilustración 49: Distribución de Cu (mg/kg) en MPS para febrero 2016	72
Ilustración 50: Distribución de Pb (mg/kg) en MPS para diciembre 2015	72
Ilustración 51: Distribución de Pb (mg/kg) en MPS para enero/2016	73
Ilustración 52: Distribución de Pb (mg/kg) en MPS para febrero 2016	73
Ilustración 53: Distribución de V (mg/kg) en MPS para diciembre 2015	74
Ilustración 54: Distribución de V (mg/kg) en MPS para enero 2016	74
Ilustración 55: Distribución de V (mg/kg) en MPS para febrero 2016	75
Ilustración 56: Distribución de Ni (mg/kg) en MPS para diciembre 2015.	75
Ilustración 57: Distribución de Ni (mg/kg) en MPS para enero 2016	76
Ilustración 58: Distribución de Ni (mg/kg) en MPS para febrero 2016.	76
Ilustración 59: Fotos que ilustran la toma de muestras de polvo, en las casas, en la vegetación, en señalética y en la línea del tren.	77
Ilustración 60: Ubicación de los puntos de muestreo de polvo depositado.	78
Ilustración 61: Concentración de Cd (mg/kg) en polvo depositado.	82
Ilustración 62: Concentración de Fe (mg/kg) en polvo depositado.	83
Ilustración 63: Concentración de V (mg/kg) en polvo depositado.	83
Ilustración 64: Concentración de Pb (mg/kg) en polvo depositado.	84
Ilustración 65: Concentración de Mn (mg/kg) en polvo depositado.	84
Ilustración 66: Concentración de Cu (mg/kg) en polvo depositado.	85

Ilustración 67: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo superficial considerados en este estudio.	94
Ilustración 68: Distribución de las concentraciones de Cd (mg/kg) en suelo superficial. ..	95
Ilustración 69: Distribución de las concentraciones de Cr (mg/kg) en suelo superficial. ...	95
Ilustración 70: Distribución de las concentraciones de Cu (mg/kg) en suelo superficial. ..	96
Ilustración 71: Distribución de las concentraciones de Pb (mg/kg) en suelo superficial....	96
Ilustración 72: Distribución de las concentraciones de Fe (mg/kg) en suelo superficial....	97
Ilustración 73: Distribución de las concentraciones de Mn (mg/kg) en suelo superficial. ..	97
Ilustración 74: Distribución de las concentraciones de V (mg/kg) en suelo superficial.....	98
Ilustración 75: Mapa con los tipos geológicos de suelo en la zona de estudio.	100
Ilustración 76: Ubicación de puntos de muestreo para los niveles background.	101
Ilustración 77: Valores promedio (mg/kg) de metales en suelo, para diferentes sectores en la zona de estudio, comparados con los niveles background.	103
Ilustración 78: Valores promedio (mg/kg) de Fe en suelo, para diferentes sectores en la zona de estudio, comparados con los niveles background	104
Ilustración 79: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos fluviales.	104
Ilustración 80: Fotos que ilustran la toma de muestras de sedimento.	105
Ilustración 81: Distribución espacial de vanadio (mg/kg) en sedimentos fluviales.	109
Ilustración 82: Distribución espacial de hierro (mg/kg) en sedimentos fluviales.	110
Ilustración 83: Distribución espacial de plomo (mg/kg) en sedimentos fluviales.	110
Ilustración 84: Distribución espacial de manganeso (mg/kg) en sedimentos fluviales. ...	111
Ilustración 85: Distribución espacial de cobre (mg/kg) en sedimentos fluviales.	111
Ilustración 86: Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.	112
Ilustración 87: Fotos que ilustran la toma de muestras de agua y las condiciones del río al momento del muestreo.	113
Ilustración 88: Vista de la información de velocidad de viento en la estación Huasco Sívica.	122
Ilustración 89: Vista de la pantalla con las variables iniciales de entrada al software SCREEN3.	123
Ilustración 90: Variación de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes en la distancia (m) para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, obtenidos a partir del modelo SCREEN3.	124
Ilustración 91: Vista de la pantalla con las variables de entrada al software SCREEN3, para la fuente de polvo negro "área expuesta de Planta de Pellet/CAP".	126
Ilustración 92: Variación de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes en la distancia (m) para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, obtenidos a partir del modelo SCREEN3. Fuente de polvo negro: área expuesta de Planta de Pellets/CAP	128
Ilustración 93: Vista de la pantalla con las variables iniciales de entrada al software SCREEN3, para la fuente de polvo negro "línea del tren".	129
Ilustración 94: Variación de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes en la distancia (m) para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, obtenidos a partir del modelo SCREEN3. Fuente de polvo negro: línea del tren de Ferronor.	129
Ilustración 95: Balance de masa para Fe_2O_3 en la ciudad de Huasco.	131
Ilustración 96: Parámetros de entrada empleados para la modelación con software "Level I, version 3.0"	132
Ilustración 97: Área de influencia del polvo negro	133
Ilustración 98: Modelo conceptual del problema de contaminación. Versión 1.	135
Ilustración 99: Modelo conceptual del problema de contaminación. Versión 2.	136



Ilustración 100: Sector donde se ubicó el muestreador MPS-1, ubicado a un nivel bajo de la calle, desde la línea del tren en dirección al mar..... 152

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo 1: Fichas de antecedentes
- Anexo 2: Planes de muestreo.
- Anexo 3: Informes de Análisis
- Anexo 4: Mapas e imágenes de equipamiento instalado de MPS
- Anexo 5: Resultados de concentración de metales en la fracción insoluble y en la fracción soluble del mps, para todas las muestras de este estudio.
- Anexo 6: Geodatabase
- Anexo 7: Cuestionario aplicado.
- Anexo 8: Estudio de evaluación de riesgo a la salud en el sector del muestreador MPS-1 como medida de mitigación para este estudio.

1 INTRODUCCIÓN

La comuna de Huasco está conformada por dieciocho localidades. 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 Océano Pacífico.

La ciudad de Huasco, capital comunal, es un balneario cercano a la desembocadura del río Huasco. 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.

La comuna de Huasco según la clasificación climática de Köppen es BWk (árido frío) y según el Esquema de clasificación climática de Trewartha es BWn o BM (desértico costero con nubosidad abundante). La temperatura media anual está por debajo de los 18 °C con abundantes nublados.

A 3 km al norte de la ciudad de Huasco, se ubica el estuario de la desembocadura del río Huasco, cuya corriente natural de agua nace 230 km hacia el interior y es la unión de los ríos El Carmen, El Tránsito y otros menores. Su caudal medio anual es de 6,7 m³/s.

Las dos bahías más importantes de la comuna son la bahía de Huasco que se encuentra entre punta Escorial y punta Larga; y la bahía Santa Bárbara o bahía Guacolda que está ubicada 5 km al sudoeste de la ciudad de Huasco entre punta Larga y península Guacolda, conocida por su gran profundidad.

Los cuatro cerros más importantes de la comuna son: el cerro Negro, por el color de sus rocas, que está ubicado 5 km al sur de la ciudad de Huasco; el cerro Colorado, por su color rojizo que está ubicado a los pies del anterior; el cerro Centinela ubicado al sudeste de la ciudad de Huasco, que destaca por su gran pendiente y peligrosos arenales; y el cerro La Cruz ubicada al sur de la localidad de Huasco Bajo que se caracteriza por contener en su cima las antenas repetidoras de los canales de televisión abierta.

La economía de la comuna de Huasco se basa en la agricultura, la minería, la pesca, y el turismo. El sector agrícola se sustenta principalmente en las plantaciones de olivos en la localidad de Huasco Bajo y sus alrededores con más de 1.100 ha de huertos de olivos, representando la mayor extensión de este cultivo en Chile. El fruto de este árbol, la aceituna, es ampliamente conocido a nivel nacional como Aceituna del Huasco, la que se prepara habitualmente con agua carbonatada o soda, pero es más reconocida con esta denominación la que es macerada con la tradicional salmuera, muy difundida entre los pequeños agricultores de la zona. Además de este consumo en fresco, destaca la pujante industria del aceite de oliva que está colocando sus productos en el extranjero.

La actividad pesquera se conforma principalmente por la pesca artesanal, explotada a través de diversos botes y faluchos que están dispuestos alrededor del Muelle fiscal de Huasco.

A 5 km al sudoeste del centro de la ciudad de Huasco, desde 1978, por la ruta C-468 se ubica la Planta de Pellets, perteneciente a la CAP¹ Minería, que produce aglomerados de minerales de hierro. Su finalidad es reducir significativamente el nivel de impurezas (primordialmente fósforo y azufre) que contiene el mineral proveniente de la mina Los Colorados. Para ello se realizan los procesos de molienda y concentración, además de un proceso químico de peletización que finaliza con el embarque en el puerto mecanizado Guacolda II que tiene un

¹ CAP Se refiere a la Compañía de Acero del Pacífico.

ritmo de carguío mayor a 2.500 t/hora. Desde su puesta en marcha, continuas optimizaciones en todo el proceso han permitido incrementar la producción, disminuir los consumos específicos y diversificar la producción. Actualmente cuenta con una capacidad de producir 5,3 millones de t/año de pellets y otros productos de hierro. El número total de trabajadores que integran este proceso, tanto la Planta de Pellets como el puerto Guacolda II, es de 550 personas aproximadamente, de las cuales el 40 % vive en la comuna (<http://www.capmineria.cl/operacione/valle-del-huasco/>).

Guacolda es una central termoeléctrica que provee de energía al sector norte del Sistema Interconectado Central (SIC). Está ubicada en la península Guacolda, 6 km al sudoeste de la ciudad de Huasco, por la ruta C-468. Esta Central está compuesta por 5 turbinas de tipo vapor-carbón de 152 MW cada una. Para importar los diferentes tipos de carbón que se emplean, la central posee el muelle mecanizado multipropósito Guacolda I con capacidad máxima de trasladar 1500 t/hora y de recibir buques de hasta 75 000 t. Para la protección del medio ambiente cuenta en sus instalaciones con filtros de mangas para abatir el MP, planta desulfurizadora para abatir el SO₂ y planta desnitrificadora para abatir los NO_x y una red de monitoreo de calidad de aire compuesta por 10 estaciones en todo el Valle del Huasco (abarcando 300 km²). La localidad de Huasco cuenta con tres puertos privados: 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.

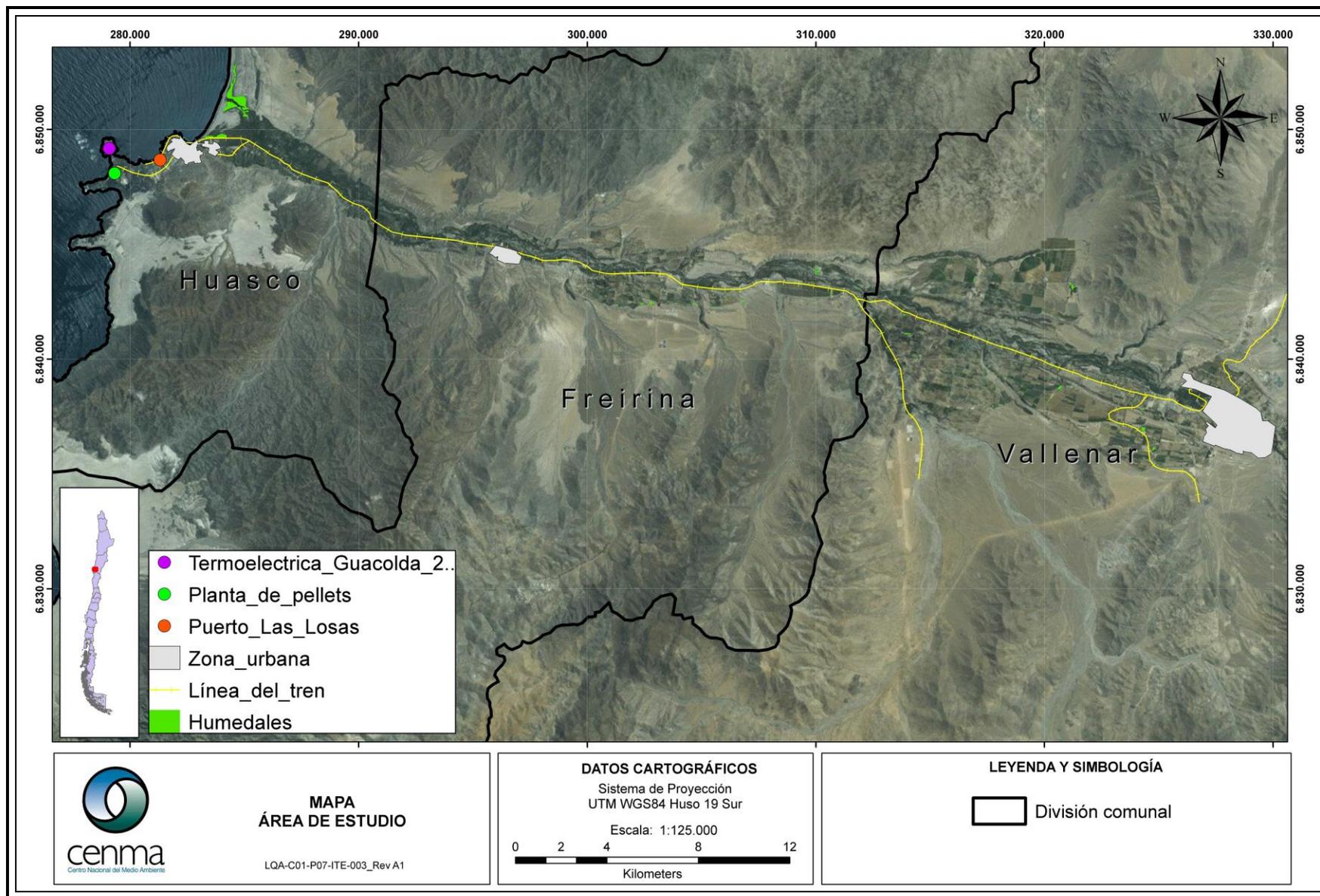


Ilustración 1: Ubicación de fuentes industriales y otros lugares de interés para este proyecto
Fuente: Elaboración propia

En las redes sociales y en los medios de comunicación, numerosas referencias dan cuenta de los problemas ambientales en Huasco relacionados con el polvo negro y sus afectaciones.

<http://www.cooperativa.cl/noticias/pais/energia/generacion-electrica/comunidad-de-huasco-denuncia-graves-efectos-de-contaminacion-por-punta-alcalde/2012-12-13/140942.html>

<http://soshuasco.blogspot.com/>

<http://eldesconcierto.cl/relaves-en-el-mar-la-opcion-de-las-mineras-que-es-apuntada-como-irracionalidad-ambiental/>

<http://www.eldinamo.cl/ambiente/2014/10/28/oceana-exige-que-endesa-cancele-definitivamente-el-proyecto-punta-alcalde-en-huasco/>

<http://www.eldinamo.cl/ambiente/2014/05/09/tras-manifestacion-en-la-moneda-nuevo-portazo-de-gobierno-a-las-comunidades-del-huasco/>

<http://www.eldinamo.cl/ambiente/2014/05/05/comunidades-del-huasco-llegan-a-la-moneda-con-su-no-a-agrosuper-pascua-lama-y-punta-alcalde/>

En la página del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (<http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyectoAction.php>) se encontró que hay 30 proyectos aprobados para la comuna de Huasco, cuyos datos generales se entregan a continuación:

Tabla 1: Información general de proyectos aprobados en el SEIA para la comuna de Huasco.

Nombre	Tipo	Titular	Fecha presentación	Fecha calificación	Sector productivo	Latitud punto representativo	Longitud punto representativo
Recepción y embarque de graneles minerales	DIA	Puerto Las Losas S.A.	8-Nov-2013	14-Ene-2015	Infraestructura Portuaria	-28.471147	-71.2362343
Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas	DIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	4-Jun-2013	25-Feb-2014	Otros	-28.465376	-71.256238
Guanaku Turismo Sustentable	DIA	Felipe Omar Vera Soto	28-Sept-2012	7-Mar-2013	Inmobiliarios	-28.173082	-71.159175
Cierre y Sellado Vertedero Comuna de Huasco Vertedero Huasco	DIA	Ilustre Municipalidad de Huasco	26-Jun-2012	7-Feb-2013	Saneamiento Ambiental	-28.480081	-71.213558
Ampliación Subestación Eléctrica Los Colorados	DIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	26-Oct-2011	1-Feb-2012	Energía	-28.288918	-70.814106
Ampliación Subestación Eléctrica (S/E) Planta Pellets	DIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	26-Oct-2011	1-Feb-2012	Energía	-28.480627	-71.24435
Recuperación de Mineral de Hierro Contenido en Rechazos de la Planta de Beneficio Los Colorados	DIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	28-Jul-2010	17-Ene-2011	Minería	-28.28785	-70.813142
Construcción Camino Costero Sector Quebrada Tongoy - Huasco, Dm 0,000 km a DM 19,860 (e-seia)	DIA	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS	30-Oct-2009	14-Dic-2010	Otros	-28.587047	-71.288026
Central Termoeléctrica Punta Alcalde	EIA	Empresa Nacional de Electricidad S.A. ENDESA	27-Feb-2009	28-Jun-2012	Energía	-28.578432	-71.2874
Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A	EIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	22-Ene-2009	23-Ago-2010	Energía	-28.465115	-71.255619
Implementación y Construcción de Sendero Centenario en el Parque Nacional Llanos de Challe (e-seia)	DIA	CONAF, Región de Atacama	1-Sept-2008	7-Nov-2008	Otros	-28.185847	-71.153541
AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS EN CENTRAL TÉRMICA GUACOLDA (e-seia)	DIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	27-May-2008	22-Ago-2008	Energía	-28.465115	-71.255619
Sitio 2 Puerto Las Losas (e-seia)	DIA	Puerto Las Losas S.A.	19-Feb-2008	19-Nov-2008	Infraestructura Portuaria	-28.471501	-71.238304
Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.	EIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	26-Abr-2007	24-Oct-2007	Energía	-28.465115	-71.255619
FLEXIBILIZACIÓN UNIDAD N°3 (e-seia)	DIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	11-Ago-2006	23-Oct-2006	Energía	-28.464753	-71.256245

Nombre	Tipo	Titular	Fecha presentación	Fecha calificación	Sector productivo	Latitud punto representativo	Longitud punto representativo
Puerto Las Losas (e-seia)	DIA	Puerto Las Losas S.A.	9-Jun-2006	10-Ene-2007	Infraestructura Portuaria	-28.471729	-71.241995
Central Guacolda Unidad N° 3	EIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	29-Jul-2005	20-Abr-2006	Energía	-28.465115	-71.255619
Flexibilización de la Operación en la Central Termoeléctrica Guacolda (e-seia)	DIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	10-May-2004	18-Ago-2004	Energía	-28.463975	-71.257178
Declaración de Impacto Ambiental Plan Regulador Comunal Comuna de Huasco (e-seia)	DIA	Ilustre Municipalidad de Huasco	16-Feb-2004	7-Jul-2007	Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas	-28.467103	-71.225347
Diseño de Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Carrizal Bajo	DIA	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS	23-Ene-2001	18-May-2001	Saneamiento Ambiental	-28.082463	-71.147665
Mejoramiento Tecnológico para la Producción de Concentrados de Minerales de Hierro	DIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	22-Dic-2000	11-Abr-2001	Minería	-28.480212	-71.247192
Usos de Mezclas de Carbón y Petcoke en Central Termoeléctrica Guacolda	EIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	23-Jul-1999	25-May-2000	Energía	-28.465117	-71.255619
Ampliación y Habilitación Terminal Marítimo Las Losas Huasco III Región	EIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	4-Ene-1999	28-Jul-1999	Infraestructura Portuaria	-28.471165	-71.236766
Construcción de Emisario Submarino Alcantarillado Huasco	DIA	AGUAS CHAÑAR S.A.	21-Abr-1998	23-Nov-1998	Saneamiento Ambiental	-28.464914	-71.230155
Estudio Ingeniería Red de Alcantarillado y Disposición Final de Aguas Servidas Huasco Bajo Comuna de Huasco	DIA	Ilustre Municipalidad de Huasco	6-Abr-1998	16-Nov-1998	Saneamiento Ambiental	-28.471464	-71.179066
Mejoramiento de Servicios Administrativos Parque Nacional Llanos de Challe	DIA	Corporación Nacional Forestal, CONAF	10-Dic-1997	26-Ene-1998	Otros	-28.185205	-71.157052
Reposición Casa del Profesor Localidad Canto del Agua	DIA	Ilustre Municipalidad de Huasco	7-Jul-1997	16-Sept-1997	Equipamiento	-28.464008	-71.222024
Reparaciones Escuela F-101 Huasco Bajo	DIA	Ilustre Municipalidad de Huasco	7-Jul-1997	16-Sept-1997	Equipamiento	-27.532534	-70.067031
Los Colorados Este	EIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	5-Nov-1996	23-May-1997	Minería	-28.291187	-70.803603
Central Termoeléctrica Guacolda y Vertedero	EIA	Empresa Eléctrica Guacolda S.A.	26-Dic-1994	24-May-1995	Energía	-28.465117	-71.255619

Fuente: Elaboración propia.



De esta lista, se observa que la mayor parte de ellos (22) fueron aprobados por Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Del mismo modo, el sector energía involucra 11 de los 30 proyectos, como sector predominante.

Entre los proyectos en calificación, a la fecha de este informe, para la comuna de Huasco sólo se encontró el siguiente:

Tabla 2: Identificación de proyectos En Calificación dentro del SEIA, para la comuna de Huasco.

Nombre	Tipo	Titular	Fecha presentación	Estado	Sector productivo	Inicio Relaveducto (*)	Punto de Descarga (*)
Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets	EIA	Compañía Minera del Pacífico S.A.	27-Jun-2013	En Calificación	Minería	6847362N - 278602 E	6844902N-273300E

Fuente: Elaboración propia.

(*) EIA. Actualización del Sistema de depositación de relaves de Planta de Pellets

2 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.1 Objetivo general

Realizar la evaluación integral de la presencia de polvo negro en las distintas matrices ambientales de la comuna de Huasco.

2.2 Objetivos específicos

1 Recopilar, sistematizar y evaluar antecedentes existentes acerca de la comuna de Huasco y la presencia de polvo negro en esta comuna.

2. Caracterizar el polvo negro presente en la comuna de Huasco en base a información existente y realización de muestreos.

3. Definir la zona de influencia del polvo negro a través de modelación.

4. Definir el modelo conceptual de la incidencia de las sustancias potencialmente contaminantes que puedan producir efectos negativos en la salud y el medio ambiente (aire, suelo, agua, sedimento, biota y/o alimentos).

5 Diseñar e implementar medidas de gestión piloto orientadas a la mitigación del polvo negro, verificando su eficiencia en los receptores sensibles.

6 Difusión de los resultados obtenidos.

2.3 Alcances

El presente documento constituye el Informe Final (Versión corregida-5) y presenta los resultados obtenidos en las actividades efectuadas por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), Fundación de la Universidad de Chile, para la ejecución del contrato “Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación”, según licitación 608897-96-LP15 aparecida en el portal Mercado Público. El presente informe contiene todos los resultados obtenidos en el proyecto.



3 OBJETIVO 1: RECOPIACIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ANTECEDENTES EXISTENTES ACERCA DE LA COMUNA DE HUASCO Y DE LA PRESENCIA DE POLVO NEGRO EN ESTA COMUNA.

3.1 Antecedentes históricos de la minería de hierro en Huasco.

La minería de hierro comenzó en Chile a comienzos del siglo XX, en 1906 con la explotación del yacimiento El Tofo, al norte de Coquimbo y con la ayuda de capitales franceses. A diferencia de otros minerales, la explotación del hierro se destina especialmente para la obtención de acero.

La Compañía de Acero del Pacífico (CAP) se constituyó legalmente en el año 1946. Las “Crónicas Mineras de Medio Siglo²” consignan que entre 1950 y 1956, negoció y compró la mina El Algarrobo, 40 km al sur oeste de Vallenar. El proyecto fue financiado por EXIMBANK y la operación se inició en 1962. En 1964, la producción total del yacimiento El Algarrobo alcanzó 2.600.000 toneladas de mineral, que se exportaba principalmente a Japón, Estados Unidos y Europa, además de abastecer la siderúrgica Huachipato (también propiedad de CAP) durante 35 años. En 1982, la CAP pasó a manos privadas y formó un holding de empresas creado para la minería del hierro la Compañía Minera del Pacífico (CMP). Esta continuó con las explotaciones de los yacimientos El Romeral y El Algarrobo. Luego se formó una sociedad (Compañía Minera Huasco) con Mitsubishi Corporation para explotar el yacimiento Los Colorados, al norte de Vallenar. Esta mina entrega su producción de preconcentrados de hierro a la planta de pellets construida en Huasco. La producción de mineral de hierro en forma de pellets alcanzó en los últimos años del siglo XX a los 8 millones de toneladas.

Actualmente, el Grupo CAP es el principal productor de minerales de hierro y pellets en la costa americana del Pacífico, el mayor productor siderúrgico en Chile y el más importante procesador de acero del país. Sus minerales son exportados, principalmente, a los mercados asiáticos, a la vez que sus productos y soluciones constructivas se encuentran presentes en varios países de Latinoamérica³.

CAP Minería es la principal productora de minerales de hierro de alta ley en Chile, con operaciones en las regiones de Atacama y Coquimbo, donde están ubicados sus principales yacimientos: Los Colorados, El Algarrobo, El Romeral y Cerro Negro Norte (CNN). Cuenta con una planta de Concentración Magnética en Tierra Amarilla (Planta Magnetita) y una planta de Pellets en Huasco, además de tres puertos propios para el despacho de sus productos en: Punta Totalillo, ubicado en la comuna de Caldera; Puerto Guacolda II, en Huasco, y Puerto Guayacán, en Coquimbo. Internamente moviliza sus productos, principalmente, por vía ferroviaria, y en las operaciones del Valle de Copiapó mediante un concentrado de 120 km hasta el Puerto Punta Totalillo.

El Reporte de Sustentabilidad de CAP en 2014, reconoce que las operaciones mineras de hierro pueden generar la emisión de un polvillo color negro, por dos causas: por un lado se requiere movilizar grandes cantidades de producto y, por otro, como consecuencia del procesamiento de mineral de hierro. Este polvillo, que según CAP no es tóxico para las personas ni para los cultivos agrícolas, puede ser visible para la comunidad y causar molestia.

² Hernán Danús V. “Crónicas Mineras de Medio Siglo (1950 – 2000)”. Ril Editores (2007) ISBN: 978-956-284-555-7

³ CAP Reporte de Sustentabilidad 2014.

La empresa indica que hace esfuerzos para evitar que éste sea arrastrado por el viento, ya sea durante el transporte y almacenamiento del mineral o en las faenas productivas.

La emisión de material particulado es un tema particularmente sensible en el Valle del Huasco, donde está ubicada la Planta de Pellets. A partir de los resultados de las mediciones efectuadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire, la autoridad ambiental declaró la localidad de Huasco como “Zona Latente”, respecto a la concentración anual de material particulado respirable (MP10). 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 (CAP Minería, 2014⁴). 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 asfaltaron 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. Durante 2014, el Reporte de Sustentabilidad consigna que se realizaron mejoras en la limpieza de vagones de ferrocarril y en la línea férrea. Adicionalmente, como una manera de mantener un control riguroso sobre las emisiones generadas por el proceso productivo, CAP Minería está implementando un sistema de monitoreo de emisiones en línea con la autoridad ambiental.

El transporte entre mina y puerto o entre mina y Planta de Pellets, se realiza, principalmente, vía ferrocarril. Los aspectos ambientales principales están asociados a la mantención de la limpieza del ferrocarril y de la vía férrea. Estas gestiones son importantes, toda vez que en el caso del ferrocarril Los Colorados – Planta de Pellets, el recorrido incluye las localidades de Vallenar, Freirina, Huasco Bajo y Huasco. Este movimiento genera, ocasionalmente, molestias a la comunidad, las que son abordadas por la compañía. En carretera el transporte se realiza en camiones mineros. Los aspectos ambientales principales están asociados al cubrimiento de la carga y el posible derrame de minerales sobre la carretera. Estos incidentes son relevantes, dado que esta operación es realizada normalmente por terceros, y se utilizan las vías públicas.

El Reporte de Sustentabilidad de CAP Minería para el año 2015⁵ consigna que “la producción alcanzada por la Planta de Pellets fue menor en 343 mil toneladas métricas con respecto al año anterior, principalmente por la mayor producción de sinter feed. La producción de pellets originó un ritmo horario en la producción que alcanzó las 504 toneladas métricas por hora promedio con un tiempo de operación efectivo del área de endurecimiento térmico de 7.000 hrs. En cuanto a los resultados operacionales, la alimentación de preconcentrado a molinos fue de 7 millones 604 mil toneladas métricas. La producción de concentrados por las cuatro líneas de molienda fue de 7 millones 40 mil toneladas métricas, produciéndose una recuperación en peso del 82,1%. La Compañía mantuvo la explotación de Minas El Algarrobo hasta el mes de abril, adjudicando los trabajos de carguío y transporte a terceros y la operación de la Planta a IMOPAC Ltda.”

⁴ Reporte de sustentabilidad. 2014. CAP Minería . Pag 56. Disponible en : http://www.cap.cl/wp-content/uploads/2015/04/cap_reporte_sustentabilidad_2014.pdf

⁵ Disponible en http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2016/03/cap_mineria_memoria_2015.pdf



3.2 Antecedentes de la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.

Se denomina polvo⁶ a las partículas finas, finamente divididas, secas, de material sólido menores a 62,5 µm de diámetro. Se asemejan en tamaño a las cenizas, o polvo superfino resultante de la oxidación de compuestos orgánicos. Algunos autores, lo definen también como aquellas partículas sólidas entre 1 y 76 µm o partículas sólidas mayores que las coloidales y capaces de estar en suspensión temporalmente en el aire. Del mismo modo, se conoce como hollín⁷ a la aglomeración de partículas de carbono producidas por la combustión incompleta.

El material particulado atmosférico, se divide en diferentes categorías dependiendo del tamaño de las partículas. Las partículas “gruesas” o de mayor tamaño incluyen polvo, polen, esporas, cenizas volantes, partes de insectos y plantas. Por su parte, las partículas de menor diámetro “finas” son aquellas que tienen diámetro por debajo de 2,5 µm. Por consiguiente, constituyen una fracción del material particulado atmosférico en su totalidad.

Las emisiones de material particulado⁸ en la zona de Huasco provienen en gran medida de la Planta de Pellets perteneciente a CMP Minera y de la Central Termoeléctrica Guacolda filial de AES Gener.

Producto de la gestión impulsada por actores sociales en base de la presencia de polvo en la zona, se llevó a cabo un estudio enfocado a las actividades olivícolas⁹ el cual analizó la presencia de polvo en cultivos de gran parte del valle. Dicho material presentó contenidos de hierro en concentraciones tales que fueron asociadas a las emisiones de las chimeneas del complejo industrial. Junto con lo anterior por medio de la revisión de antecedentes y mediciones de Material Particulado Sedimentable (MPS) se evidenciaron episodios de excedencia respecto de la norma mensual para MPS¹⁰.

3.2.1 Polvo negro en el suelo de la comuna de Huasco

En el año 2014 el Laboratorio de Química Ambiental de CENMA realizó análisis de composición de polvo sedimentado (depositado en techos, estructuras, etc) en diferentes localidades de Chile incluyendo Huasco. El polvo depositado en Huasco es relativamente semejante al de Puchuncaví en cuanto a composición de Cr y Ni. Sin embargo, presenta muy bajos niveles de otros metales. Del mismo modo es 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 V. Finalmente, el polvo de Huasco, tiene notablemente mayor concentración de Fe que todos los demás.

Cabe señalar que estos valores corresponden a una cantidad limitada de muestras y no constituyen una evidencia definitiva. Además, el material sólido que se registra en el valle y en

⁶ The Encyclopedia of the Environment. 1994

⁷ Contaminación e Ingeniería Ambiental. II.- Contaminación atmosférica (1997). J. L. Bueno, H. Sastre, A. G. Lavín

⁸ Se refiere tanto a material particulado fino (PM10) como a material particulado grueso, usualmente relacionado con el MPS.

⁹ 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. CITUC.

¹⁰ Se refiere a las normas de calidad secundaria establecidas en el Decreto Exento N° 4 de 1992, del Ministerio de Agricultura.

la ciudad de Huasco en forma de polvo, posiblemente, proviene de emisiones puntuales desde las chimeneas de la planta de Pellets y de la Central termoeléctrica Guacolda, de emisiones areales desde las plantas industriales antes mencionadas y también desde un depósito temporal de carbón, dispuesto en un espacio abierto, protegido de la acción del viento solamente por un Cierre en mal estado de malla tipo raschel de una altura de 2 metros aproximadamente. Respecto al depósito temporal de carbón, la Central termométrica Guacolda ha informado a la SEREMI del Medio Ambiente Región de Atacama que este depósito de almacenamiento de carbón de propiedad de AES Gener, localizado frente al Puerto Las Losas en la comuna de Huasco, se encuentra sin uso y vacío a lo menos hace 8 años

En el 2013 el DICTUC realizó un estudio que describe la evaluación de la condición edáfica de la zona (Informe Proyecto FIC 2013. DICTUC 2013. Capítulo 3) en que producen los olivos del valle de Huasco. A partir de información georeferenciada de las unidades de suelos y sus características en el valle (desde Vallenar a Freirina), se identificaron las diferentes unidades de suelo y un estudio acabado de las diferentes condiciones físico-químicas donde se desarrollan las plantas y sus limitantes agronómicas. Los resultados obtenidos de varias calicatas indican que el suelo es salino y presenta altas concentraciones de Cu, Fe, Mn y B. No obstante este estudio no describe el polvo negro en los suelos estudiados y vincula el rendimiento agrícola con las prácticas agronómicas y, en segundo lugar, con la eventual exposición a la contaminación ambiental.

3.2.2 Polvo negro en el aire de la comuna de Huasco.

A comienzos de 2006, CENMA presentó el Informe Final del “Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco¹¹”, solicitado por la Ilustre Municipalidad de Huasco. El mismo se realizó para caracterizar el comportamiento de las emisiones de material particulado de las diferentes fuentes emisoras y determinar su influencia relativa en los niveles de calidad de aire para proponer medidas de gestión que permitan el cumplimiento de la normativa ambiental vigente para MP10 y el desarrollo sustentable de las actividades productivas en la cuenca del río Huasco.

Se realizaron numerosas actividades: evaluación de la representatividad de las estaciones de monitoreo, caracterización de los impactos de las fuentes emisoras locales, actualización del inventario de emisiones de material particulado respirable, realización de una campaña de monitoreo para caracterizar el comportamiento de las concentraciones de MP10, caracterización de la composición del material particulado y aplicación de un modelo de dispersión. Se recopiló la información de las mediciones de calidad de aire de la red de monitoreo de Guacolda correspondiente a mediciones de MP10 en estaciones Escuela y Bomberos (muestreos de 24h cada 3 días) desde el año 2001 y concentraciones horarias de SO₂, NOx y Meteorología desde el año 2002. Además, se recopiló la información de la estación meteorológica Bellavista en Huasco Bajo perteneciente a CAP Minería. La información recopilada también incluyó los documentos del Expediente para el Estudio de Norma de Emisión de MP en la cuenca del Río Huasco y algunos estudios de impacto ambiental.

El monitoreo de calidad del aire en la comuna de Huasco, se realizó en dos estaciones, Estación EME F (Bomberos) y Estación EME M (Escuela), pertenecientes a la Red de

¹¹ Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco, (2006) desarrollado por CENMA para la Ilustre Municipalidad de Huasco.

monitoreo de la Central Termoeléctrica Guacolda, en las cuales se realiza monitoreo permanente, de material particulado respirable (MP10), anhídrido sulfuroso (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NOx). La estación Escuela (EME M), se encuentra al interior de la Escuela José Miguel Carrera, en el sector más alto de Huasco (50 msnm). La estación se ubica junto a un patio de niños de enseñanza prebásica. El material del suelo del patio y del sitio que rodea a la estación corresponde a mezcla de arena y ripio. La estación Bomberos (EME F), se encuentra al interior del Cuerpo de Bomberos de Huasco, en el sector bajo de la ciudad (25 msnm).

Se realizaron mediciones de MP10 entre octubre y diciembre de 2005. La máxima concentración diaria de MP10 fue 83,8 µg/m³ en Escuela y 67,3 µg/m³ en Bomberos, lo cual corresponde a un 56% y 45% del valor fijado en la norma primaria (en 150µg/m³), respectivamente. El promedio de concentraciones de MP10 para el período fue 38,6 µg/m³ en Escuela y 34,8 µg/m³ en Bomberos. En ambas estaciones, los ciclos diarios de SO₂ y MP10 presentaron diferencias. Las concentraciones horarias más altas de MP10 coinciden con concentraciones bajas de SO₂ las que son cercanas a 0 µg/m³ y con direcciones de viento provenientes desde el SW, a las horas de mayor velocidad de viento.

Respecto de la composición química del MP10, se observó un aumento significativo de Zn, Ba, Co, Fe, V y Mn respecto a polvo natural. El hierro (Fe) está asociado fuertemente a los procesos relacionados con la producción de pellets de hierro en Huasco. El bario puede asociarse a la quema de carbón en centrales térmicas. El vanadio puede asociarse la quema de petcoke. Los metales zinc y cobalto pueden 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 encontraron altos niveles de Zn y Ba en las muestras de polvo de calles. El ion predominante fue el SO₄, posiblemente vinculado con la transformación química del SO₂.

En la figura a continuación se presenta la ubicación de las estaciones de monitoreo de los distintos componentes de calidad de aire en la comuna de Huasco y en los sectores aledaños en el valle del Huasco, llegando hasta Freirina.

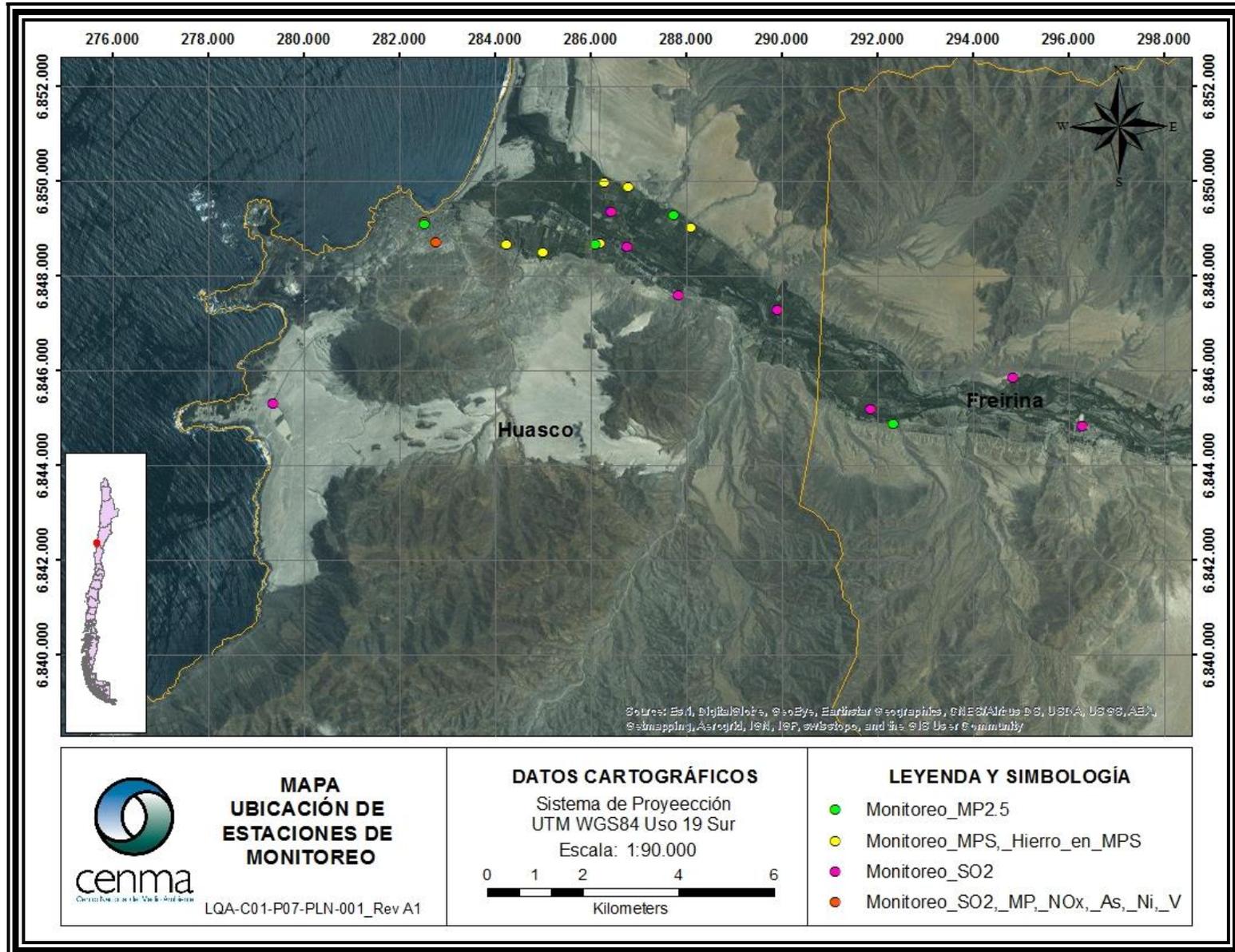


Ilustración 2: Ubicación de las estaciones de monitoreo de diferentes componentes de calidad de aire en la comuna de Huasco y sectores aledaños, según información recogida desde antecedentes.



3.2.3 Polvo negro en aguas de la cuenca del Río Huasco.

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 superficiales¹²” incluyó la evaluación de 10 cuencas hidrográficas de Chile en base a diversos factores, no sólo científicos, sino que también sociales y económicos. Para cada cuenca se seleccionaron entre 10 y 15 estaciones de monitoreo, por ser estaciones de la DGA y en agosto de 2012 se realizó la campaña de colección de muestras de aguas superficiales, medición de parámetros físico-químicos *in situ* de los cuerpos de agua, observación y registro de familias de invertebrados de cada estación, para de esta forma establecer el estado ecológico, basado en el índice ChBMWV, análisis biológicos, químicos y microbiológicos en laboratorio e integración de la información.

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. Todas las estaciones presentaron alta riqueza taxonómica (entre 9 y 14 taxa) y la gran mayoría poseía una buena diversidad. De las estaciones para esta cuenca, 1 tuvo nivel *Muy Bueno*, 7 tuvieron nivel *Bueno*, 2 de nivel *Moderado* y 1 de nivel *Deficiente*, como se presenta a continuación:

Tabla 3: Estaciones de muestreo y estado ecológico de las aguas en las mismas.

Código del Área de vigilancia	Nombre de la estación	Coordenadas WGS84 Uso 19		Estado ecológico
		Norte	Este	
CO10	Río Conay en Las Lozas	6797502	395687	Bueno
CH10	Río Chollay antes de Río Conay	6793254	386339	Deficiente
TR10	Río Tránsito antes junta Río Carmen	6818733	355217	Muy bueno
PO20	Río Potrerillos	6752722	373646	Bueno
CA10	Río Carmen en Ramaditas	6818761	353646	Bueno
HU20A	Río Huasco en Santa Juana	6827205	339120	Bueno
HU20B	Río Huasco en Panamericana	6838075	324319	Bueno
HU20A	Río Huasco en Freirina	6845162	294742	Bueno
HU30A	Río Huasco en puente Nicolasa	6844398	303638	Bueno
HU30B	Río Huasco en Huasco Bajo	6849338	286712	Moderado
HU30C	Río Huasco en Quebrada El Negro	6845217	293868	Moderado

Fuente: CENMA 2012.

¹² 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, (2012-2013) desarrollado por CENMA para la Subsecretaría de Medio Ambiente.

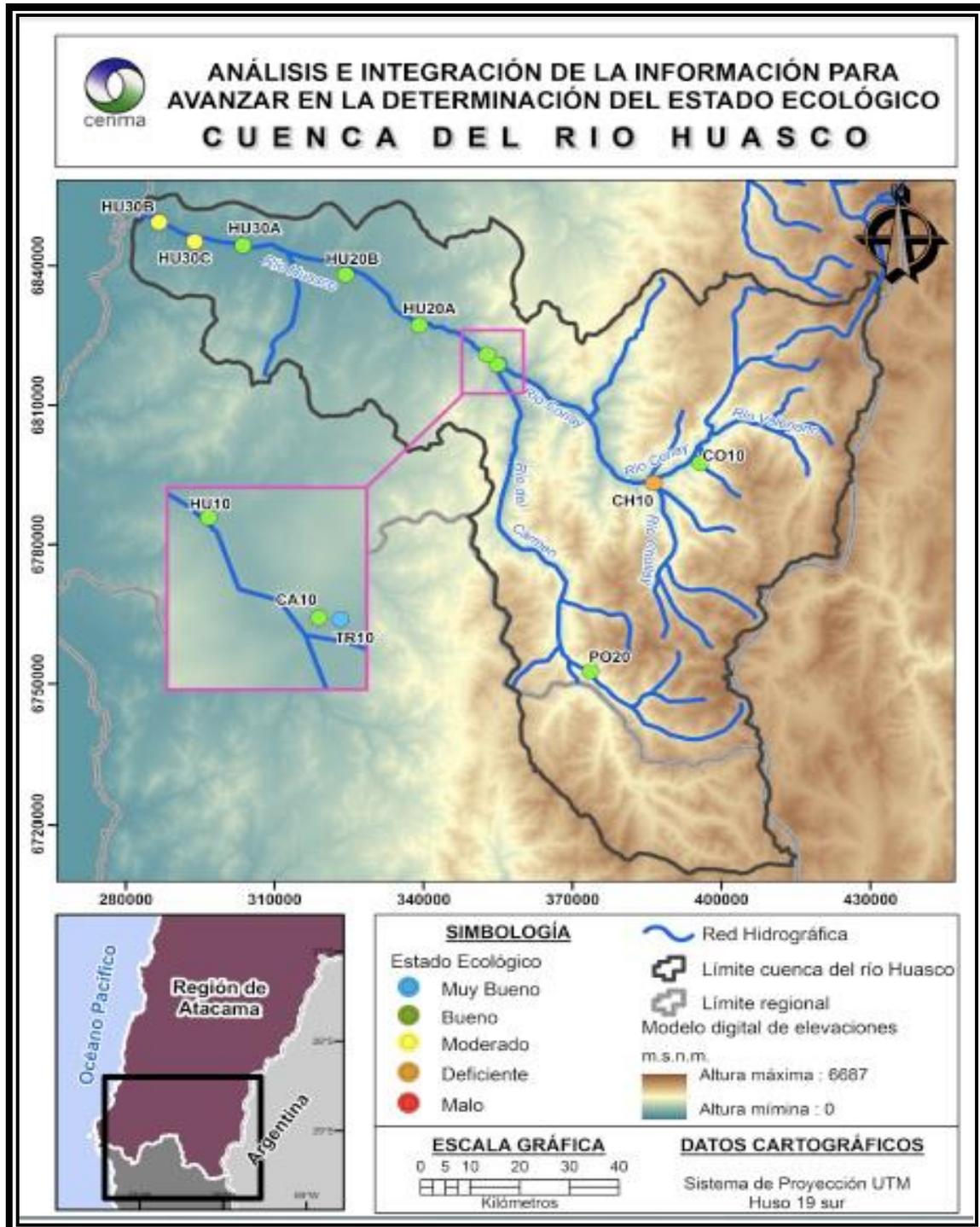


Ilustración 3: Resumen del estado ecológico de las aguas en las estaciones de la Cuenca del Río Huasco, Fuente: CENMA 2012.

Por su parte, el estudio “Evolución de la calidad de aguas superficiales para uso agrícola en una cuenca hidrográfica del Norte Chico, en el período 2003-2013¹³” recopiló antecedentes de

¹³ “Evolución de la calidad de aguas superficiales para uso agrícola en una cuenca hidrográfica del Norte Chico, en el período 2003-2013” (2014) Seminario de Título de la estudiante Carolina Andrea

las cuencas del Norte Chico, con el fin de seleccionar una cuenca específica, sobre la base de la información disponible de registros de monitoreo de calidad de aguas y superficie destinada a la agricultura. A partir de estos criterios, se determinó que la Cuenca del río Huasco era la más apropiada para ser estudiada, porque presenta estaciones de monitoreo de calidad de aguas en todas sus subcuencas y posee registros asociados cada año en todas estas estaciones de monitoreo.

Se identificaron las actividades que generan usos y presiones sobre el recurso hídrico en la Cuenca del río Huasco: consumo humano (captaciones de agua potable), actividades agrícolas, compañías mineras y empresas eléctricas, vertederos y plantas de tratamientos de aguas servidas.

Se analizó la evolución histórica de los parámetros de calidad de aguas en la cuenca de río Huasco, y respecto a esto se puede concluir que muchos de los parámetros estudiados muestran un incremento en las concentraciones (o registros) medidos durante el período de estudio, lo cual indicaría que la calidad de las aguas está siendo afectada.

3.2.4 Polvo negro 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 Limarí¹⁴” cuyo objetivo fue complementar la evaluación del estado ecológico se evidenció que los sedimentos de la cuenca del Río Huasco son 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.

3.2.5 Polvo negro en la biota de la cuenca del Río Huasco.

La biota marina fue monitoreada en uno de los estudios¹⁵ que consideraron los efectos de Fe y Cu al ser dispuestos en el mar y proporciona información respecto de los efectos de las descargas de los relaves en las comunidades marinas en las costas de Huasco, concluyendo que dichos efectos no son significativos en la biota marina.

Los efectos en la flora de la cuenca se presentan en el acápite siguiente. En cuanto a la fauna no se encontró información.

3.2.6 Polvo negro en las plantaciones agrícolas del Valle del Huasco.

El efecto del polvo en las plantaciones de la cuenca del río Huasco fue estudiado por el DICTUC¹⁶ a través de los efectos de la actividad del complejo industrial en las plantaciones de

Campos Briones como requisito para obtener el Título de Químico Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.

¹⁴ “Análisis de metales pesados presentes en sedimentos de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí, con el objeto de completar la evaluación del estado ecológico” (2014). Seminario de Título del estudiante Pablo Enrique Cabello Espinoza como requisito para obtener el Título de Químico Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.

¹⁵ Vásquez J.A., Matsuhira, B., Vega, M.A., Pardo, L.M. and Veliz, D. (2000) “The effects of mining pollution on subtidal habitats of northern Chile”. *Int J. Environment and Pollution, Vol. 13. Nos 1-3.* 000-000.

¹⁶ Informe Proyecto FIC 2013. “Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica, II temporada, y prospección de las condiciones edáficas sobre el rubro olivícola, sector costero valle del Huasco” DICTUC 2013

olivos. Los resultados indican que a lo largo del valle no existe una diferencia significativa entre huertos, lo que se podría explicar dado que, por una parte, el MP que se emite en la industria de las termoeléctricas en el puerto de Huasco es un material de menos tamaño y por lo tanto, tendría un alcance mayor y estaría cubriendo toda la zona del valle desde Vallenar a Huasco. Adicionalmente el estudio plantea que existe un aporte importante de MP a lo largo de todo el valle. El fierrillo (polvo negro) presenta una influencia en el pH, pero no generaría pérdidas en la calidad física o química, aunque sí impacta en la calidad sanitaria, sobre todo cuando las salmueras de fermentación, luego son reutilizadas para los envasados, por lo que el polvillo en suspensión podría quedar en el envase y llegar de esta forma a los consumidores.

El capítulo 2 de este estudio aporta información respecto a los efectos que produce el material particulado en la actividad agrícola de la zona y cómo este retrasa la fotosíntesis en los olivos. A través de un estudio en ambiente controlado, se determinó el efecto negativo que produce el polvo negro en las plantas de olivos, pero agregando además otros factores como la salinidad del suelo. Se presentan fotos de hojas de olivo cubiertas por polvo negro de hierro, al que llaman como “fierrillo”.

En el capítulo 4 de dicho estudio se analizó la presencia de neblina ácida en la superficie entre Huasco y Vallenar alcanzando niveles de pH < 5 durante el período de floración del olivo. Esta condición de acidez estaría asociada a las condiciones meteorológicas que varían año a año, siendo el factor más relevante la humedad relativa. Estos niveles de acidez se correlacionan con los niveles de SO_x y NO_x que son emitidos por la combustión, y que se disuelven en el aire en presencia de humedad.

Por otra parte, se establece que la neblina ácida con niveles de pH < 5 tendrían los siguientes daños en los olivos; viabilidad del polen, crecimiento del tubo polínico, fecundación del ovulo de la flor, los cuales afectan directamente la cuaja y la productividad. Adicionalmente se constata que niveles de pH < 5 también afectarían, en condiciones de campo, el porcentaje final de la cuaja y daño en el tejido vegetal.

Por esta razón, el estudio establece la necesidad de monitorear durante la floración el pH de la neblina ácida ya que no tiene un patrón de comportamiento fácil de predecir y variará año a año.

Por último, se señala que, existen otros factores que afectan la funcionalidad de las flores y su polinización, como son las condiciones climáticas, donde la temperatura extrema, el viento y la lluvia ejercen una acción negativa para la floración y posterior cuaja.

3.2.7 Estadísticas ambientales de la comuna de Huasco.

El documento del Plan de Desarrollo Comunal de la Comuna de Huasco 2011-2015¹⁷ indica que la misma:

- Es la cabecera comunal, al interior del subsistema transversal del Valle de Huasco, ocupando el segundo lugar en jerarquía después de Vallenar.
- Es un centro de servicios, puerto de embarque y balneario; satisface las necesidades de sus habitantes y localidades próximas como Huasco Bajo y Carrizal, sin embargo, mantiene una dependencia de las ciudades de Vallenar, Copiapó y La Serena.

¹⁷ 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>

- Las actividades históricas son la agricultura, desarrollada a lo largo del Valle de Huasco y actividades asociadas a su borde costero como pesca y actividades portuarias.
- Reviste gran importancia productiva en la provincia, destacando la Planta de Pellets, la Termoeléctrica Guacolda y el Puerto de Huasco como puerto de embarque.
- Balneario con todo un sector litoral en su parte norte, incluyendo a las playas Chica y Grande de Huasco, Tres Playitas, Los Toyos y Carrizal Bajo.
- Humedal costero en la desembocadura del río Huasco, de gran importancia; ecosistema de gran diversidad, con la presencia de aves residentes y migratorias, destacándose taguas, garzas, gaviotas, patos y ocasionalmente flamencos y cisnes de cuello negro. Se han identificado 165 especies de fauna de vertebrados y 25 especies vegetativas distribuidas en un área aproximada de 1.000 hectáreas.
- Ambiente terrestre propio de ambientes desérticos y semidesérticos, con ausencia de precipitaciones y temperaturas homogéneas, debido a la cercanía al mar.
- Atmósfera gobernada por condiciones anticiclónicas permanentes, responsables del buen tiempo generalizado de la región.
- La ausencia de precipitaciones se ve moderada por la presencia de la neblina costera (camanchaca), la cual aporta una humedad relativa permanente sobre el 70 %. Probablemente, este sea uno de los rasgos más definidos, registrándose principalmente durante la mañana, a lo largo de todo el año, condición que tiende a disiparse después de mediodía debido a una mayor ventilación del área.
- Litoral de rasgos rocosos y arenosos alternados.
- Se inserta en una región cuyos elementos geomorfológicos dominantes son las extensas serranías que definen la aparición de los valles transversales, de los cuales la cuenca del río Huasco forma parte.

El mismo documento identifica como los principales focos de contaminación a:

- **La Planta de Pellets** (perteneciente a CAP Minería), que produce aglomerados de minerales de hierro. Localizada a 5 km al sudoeste del centro de la ciudad de Huasco. tiene una capacidad nominal de 3 millones de toneladas anuales. El residuo generado en la producción es uno de los principales daños en el medioambiente, el polvillo oscuro, que favorecido por los vientos procedentes del suroeste, cubre a la ciudad y su entorno inmediato. Estos efectos se manifiestan en el depósito de material en suspensión, que cubre calles y construcciones, principalmente en la cercanía de la línea férrea en donde este material (pellet de hierro y carbón) es transportado en vagones que no cuentan con suficiente protección que impida su dispersión, situación que se agudiza con ventiscas. Los efectos de estas emanaciones sobre la salud de la población no han sido evaluados sistemáticamente. La percepción de la población es que la producción olivícola ha bajado en considerables cantidades, básicamente esto ocurre porque el “polvillo” que vuela en el aire, se coloca en la superficie de la hoja, haciendo que ésta no pueda realizar con normalidad la fotosíntesis, y así de esta manera no puede crecer ni dar frutos.
- **La termoeléctrica Guacolda** (Empresa Eléctrica Guacolda S.A.): Es una compañía del sector eléctrico, generación que opera en el Sistema Interconectado Central (SIC). Cuenta actualmente con cuatro unidades de generación a carbón que totalizan una capacidad de 608 MW, lo que a la fecha representa en torno al 5% de la potencia instalada del SIC (12.114 MW). El 18 de agosto de 2010 se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la unidad 5 de Guacolda, esta unidad contará también con 152 MW de potencia de generación. La incidencia de este tipo de centrales sobre

el medio ambiente se produce por la emisión de residuos a la atmósfera (procedentes de la combustión del combustible) y por vía térmica, (calentamiento de las aguas de los ríos, por utilización de estas aguas para la refrigeración en circuito abierto). El Impacto Ambiental que produce la Termoeléctrica Guacolda es principalmente por el Petcoke que produce, este es un combustible compuesto por la mezcla de petróleo refinado con carbón. La combustión de petcoke produce una alta emisión de anhídrido sulfuroso y material particulado respirable fino (PM 10 y el PM 2,5), en los que se hallan el níquel (Ni), dióxido de azufre (SO₂), vanadio (V) y otros metales pesados.

- **Los trenes:** Más de 3 veces al día cruzan Huasco, transportando hierro pulverizado a la planta de Pellets. La planta produce 4 millones de toneladas del producto para altos hornos y reducción directa y 100 mil toneladas de pellets chips, según consigna su memoria anual.
- **La borra que se lanza al fondo marino:** Esta borra ha afectado a los pescadores, que representan el 28% de la fuerza laboral de la comuna. Antes de que se instalara la termoeléctrica, la zona era rica en machas, locos, lapas, jurel, merluza, erizos y almejas, y dichas especies ya no se encuentran.
- **Las aguas servidas:** La ciudad cuenta con dos colectores principales, uno en Conchería y otro en el extremo sur de Playa Grande. Hay un tercer colector de menor magnitud a través del cual se evacuan las aguas servidas de una población existente en el extremo sur de la ciudad.
- **La deficiencia en el manejo y tratamiento de los residuos sólidos:** Se vinculan, principalmente a botaderos y basurales clandestinos; inadecuada recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos y líquidos generados por la actividad portuaria.

El Decreto 40 de mayo de 2012, declaró zona latente por material particulado respirable MP10, como concentración anual, a la localidad de Huasco y su zona circundante¹⁸.

La Resolución Exenta 542 de julio de 2014, dió inicio al proceso de elaboración del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP10 para la localidad de Huasco y su zona circundante. El expediente que describe la formulación y estado de avance del Plan se encuentra disponible en la página web del Ministerio de Medio Ambiente¹⁹.

El mencionado expediente contiene gran cantidad de documentos y estudios, relacionados con el material particulado en la zona de Huasco, especialmente el MP10. Hay poca información respecto del material particulado sedimentable en particular.

La zona saturada por MP10 se representa en la siguiente figura:

¹⁸ Disponible en <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1040270&idParte=0>

¹⁹ Disponible en http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=926046

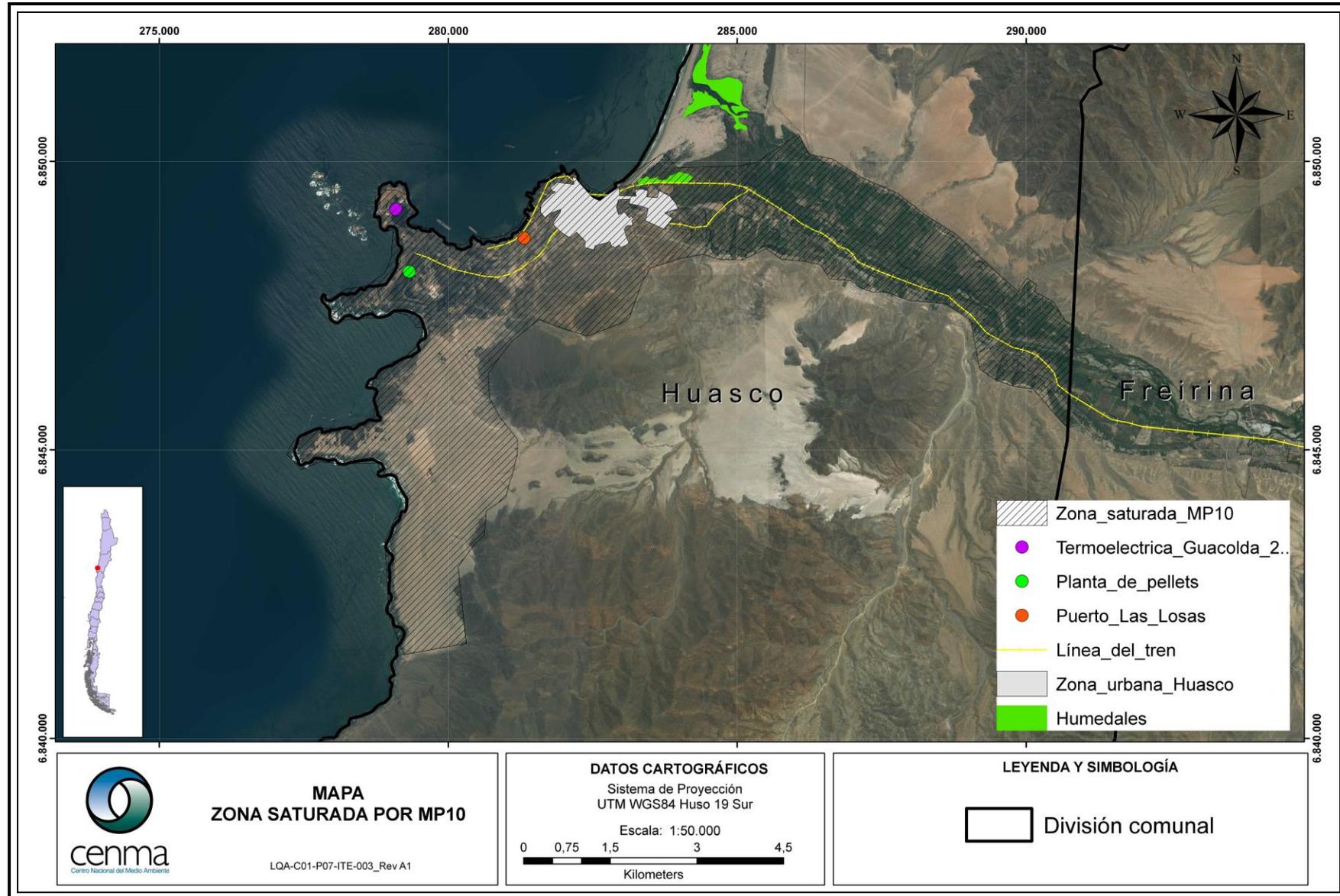


Ilustración 4: Representación esquemática de la zona saturada por MP10

Fuente: Elaboración propia.

A la fecha de este informe no se dispone de antecedentes respecto de si el SAG ha emprendido alguna acción relacionada con el cumplimiento de la Norma Secundaria de Material Particulado Sedimentable (MPS).

Según el VII Censo Nacional Agropecuario Forestal 2006 – 2007, del INE, la comuna de Huasco cuenta con 2.292 explotaciones censadas, equivalentes a una superficie de 1.713.702 ha²⁰, de las cuales 2.264 corresponden a explotaciones agropecuarias con tierra (1.711.239 ha) y 182 explotaciones sin tierra, 28 explotaciones son de carácter forestal, con una superficie de 1.464 ha).

Con respecto a los suelos de cultivos, estos se desglosan en:

- 5.981 ha con cultivos anuales y permanentes,
- 1.929 ha con forrajeras permanentes y de rotación y
- 4.747 ha en barbecho y descanso,
- 218 ha de suelos mejorados,
- 69.349 ha de suelos naturales,
- 30.638 ha de matorrales,
- 505 ha de infraestructura (construcciones, caminos, embalses)
- 1.597.088 ha de terrenos estériles y otros no aprovechables: arenas, pedregales, pantanos.

De un total de 1.826 informantes, con una superficie de riego de 8.326 ha, se observa que el 91,4% riega por gravitación (superficie regada 71,2%); seguido por 16,5% a través de microriego (superficie regada 28,0%) y el 0,33% lo hace a través de riego mecánico mayor (superficie regada 0,78%). Además, se observa que, en el caso del riego gravitacional, el 38,1% riega por tendido, el 56,2% por surco y el 7,56% según otro método tradicional. En el caso del riego mecánico mayor, el 0,27% riega por aspersión tradicional y el 0,05% riega por carrete o pivote. En el caso de riego por microriego, el 15,7% lo hace por goteo y cinta y el 1,37% por microaspersión y micronet.

Según el Reporte de Estadísticas Ambientales de Chile²¹, 2014, en la estación de aforo Río Huasco en Algodones, la cuenca abarca 9.813 km², con 90 km de longitud y un caudal medio anual (valor 2013) de 1,06 m³/seg.

Desde marzo de 2014 el Ministerio de Medio Ambiente impulsa la elaboración de Planes de Recuperación Ambiental y Social para Territorios Ambientalmente Vulnerables, enfocados en aquellas localidades que deben soportar una mayor carga ambiental, dentro de los cuales se encuentra la de Huasco, cuyo Consejo para la Recuperación Ambiental y Social (CRAS) identificó y priorizó soluciones para abordar el tema, en octubre de 2015²².

²⁰ El símbolo de la unidad de área conocida como hectárea, se escribe como ha, tanto en singular como en plural. Es una denominación aceptada por el Comité de Pesos y Medidas, según se indica en la página 35 de <http://www.cem.es/sites/default/files/siu8edes.pdf>

²¹ MEDIO AMBIENTE, INFORME ANUAL 2014. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_medio_ambiente/2014/informe-medio-ambiente2014.pdf

²² Información disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/consejo-de-recuperacion-ambiental-y-social-de-huasco-identifico-y-priorizo-soluciones-para-el-pras/>



3.2.8 Inventarios de emisiones atmosféricas en la comuna de Huasco.

El estudio realizado por CENMA²³ actualizó el Inventario de Emisiones de Material Particulado Respirable MP10 para la localidad de Huasco y su entorno. Este incorporó las fuentes industriales más importantes de la zona (Eléctrica Guacolda, CAP Minería y Endesa) además de fuentes de tipo urbano, como tránsito de vehículos, fuentes puntuales menores, y otras como áreas erosionables y el tránsito ferroviario. El estudio identificó otras fuentes, como canchas de carbón en el camino al sector industrial, caminos secundarios, y quemas permanentes en el vertedero municipal que no fueron cuantificados.

Se estimó que alrededor del 95% de las emisiones provenía de fuentes industriales y el resto se atribuye a fuentes fijas menores y fuentes móviles urbanas. Las emisiones de fuentes ubicadas en el interior y próximas al casco urbano de Huasco suman 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.

El modelo de dispersión de contaminantes indicó que los mayores valores se presentaron en zonas cercanas a la línea férrea y calles de mayor tránsito. El patrón espacial mostró que los niveles crecen hacia la zona NW de la ciudad. Si bien, la mayor parte de las emisiones industriales proviene de chimeneas (aproximadamente 90%), los resultados de simulación de dispersión muestran que estas tienen un aporte menor en el MP10 ambiental de Huasco. Los impactos más significativos provienen de fuentes fugitivas como pilas de combustibles y materiales en la zona industrial, erosión de zonas aledañas a la ciudad y del tránsito ferroviario y vehicular de Huasco.

3.2.9 Fuentes fijas, móviles y fugitivas de polvo negro en la comuna de Huasco. Identificación. Información cuantitativa disponible. Caracterización geográfica.

3.2.9.1 Fuentes fijas

La **Planta de Pellet** perteneciente a CAP Minería se encuentra ubicada a 5 km al suroeste del centro de la ciudad de Huasco y produce aglomerados de minerales de hierro. Adicionalmente produce concentrados magnéticos de alta ley denominado *pellet feed* y un subproducto de la peletización denominado *pellet chips*. El mineral de hierro preconcentrado con el que se alimentan los procesos de dicha Planta proviene principalmente desde las minas El Algarrobo y los Colorados, ambas ubicadas fuera de la comuna de Huasco. En la planta se realizan los procesos de molienda y concentración, además de un proceso químico de peletización que finaliza con el embarque en el puerto Guacolda II.

La **Central eléctrica Guacolda S.A.** perteneciente a AES Gener S.A. se encuentra ubicada a 6 km al suroeste de la ciudad de Huasco en la península de Guacolda, provee de energía al sector norte del Sistema Interconectado Central (SIC). Esta central opera con 4 unidades de operación y una quinta en marcha blanca. Para importar los diferentes tipos de carbón empleados la central cuenta con un muelle (Guacolda I) el cual se encuentra provisto en sus instalaciones de precipitadores electrostáticos como medida de control ambiental, los cuales serán reemplazados por filtros mangas.

²³ Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco, (2006) desarrollado por CENMA para la Ilustre Municipalidad de Huasco

La **Empresa Nacional de Electricidad** (ENDESA) cuenta con 3 unidades de vapor carbón que trabajan de manera esporádica, cuando las necesidades energéticas del país lo requieren.

3.2.9.1 Fuentes móviles

Las emisiones de fuentes móviles se ubican al interior y próximas al casco urbano de Huasco, siendo la principal el 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 ciudad²⁴.

En la figura a continuación se presenta la ubicación relativa de las fuentes fijas y móviles emisoras de polvo negro en la comuna de Huasco, de acuerdo con la información recopilada y analizada. Además se muestran humedales, zonas urbanas y de producción olivícola.

²⁴ Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco, (2006) desarrollado por CENMA para la Ilustre Municipalidad de Huasco

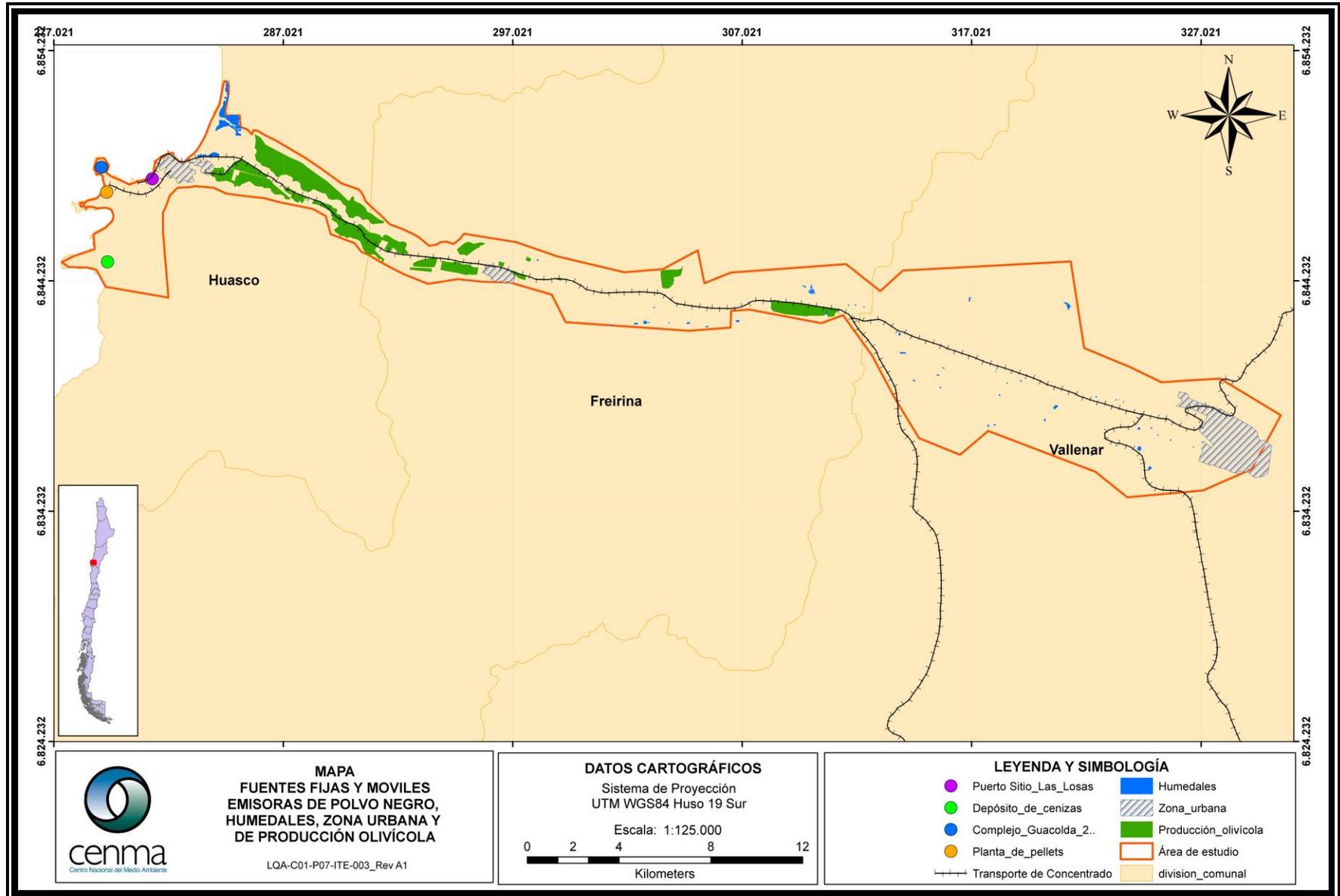


Ilustración 5: Ubicación de las fuentes emisoras de polvo negro en la comuna de Huasco según referencias.

Fuente: LQA CENMA en base a SEA, www.ide.cl

3.2.10 Relación del uso de combustibles con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.

La composición química del MP10 según el estudio de CENMA (2006), evidenció un aumento significativo de Zn, Ba, Co, Fe, V y Mn respecto a polvo natural. Esto podría relacionarse con los combustibles empleados en las actividades industriales realizadas en la comuna de Huasco.

El hierro está asociado fuertemente a los procesos relacionados con la producción de pellets de hierro en Huasco. El bario y el vanadio pueden asociarse a la quema de carbón y petcoke en centrales térmicas, respectivamente.

Los metales zinc y cobalto pueden 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.

La estación SIVICA, instalada a comienzos de 2014, presenta resultados en línea para medición de MP2,5, los que corresponden a valores bajos, con promedios mensuales que no superan los 20µg/m³.

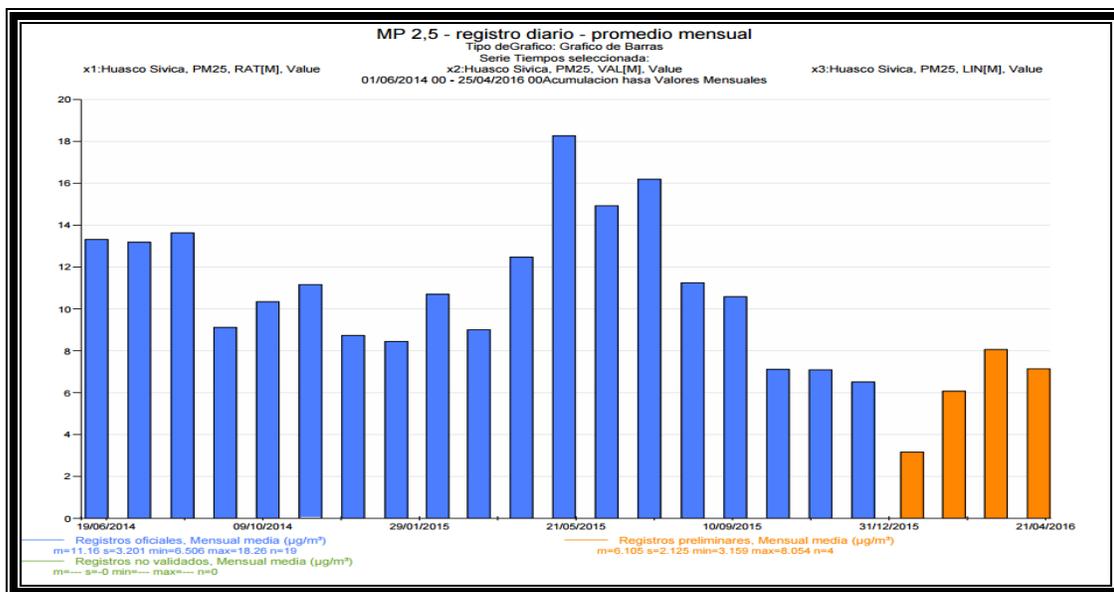


Ilustración 6: Promedio mensual de MP2,5 en la estación de la red SIVICA en la ciudad de Huasco.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/234>

3.2.11 Seguimiento de MPS y de Fe en el Valle del Huasco, según la NSCA vigente.

El Decreto Exento N° 4 de 1992, 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:

MPS: 150 mg/m²/día como concentración media aritmética mensual
 100 mg/m²/día como concentración media aritmética anual



Fe en MPS: 60 mg/m²/día como concentración media aritmética mensual
 30 mg/m²/día como concentración media aritmética anual

A continuación, se presentan algunas figuras disponibles en el Estudio de Impacto Ambiental “Uso de mezclas de carbón y petcoke en la Central Térmica Guacolda de EEGSA”, que ilustran valores entre los años 2000 y 2002, por debajo de los límites normativos.

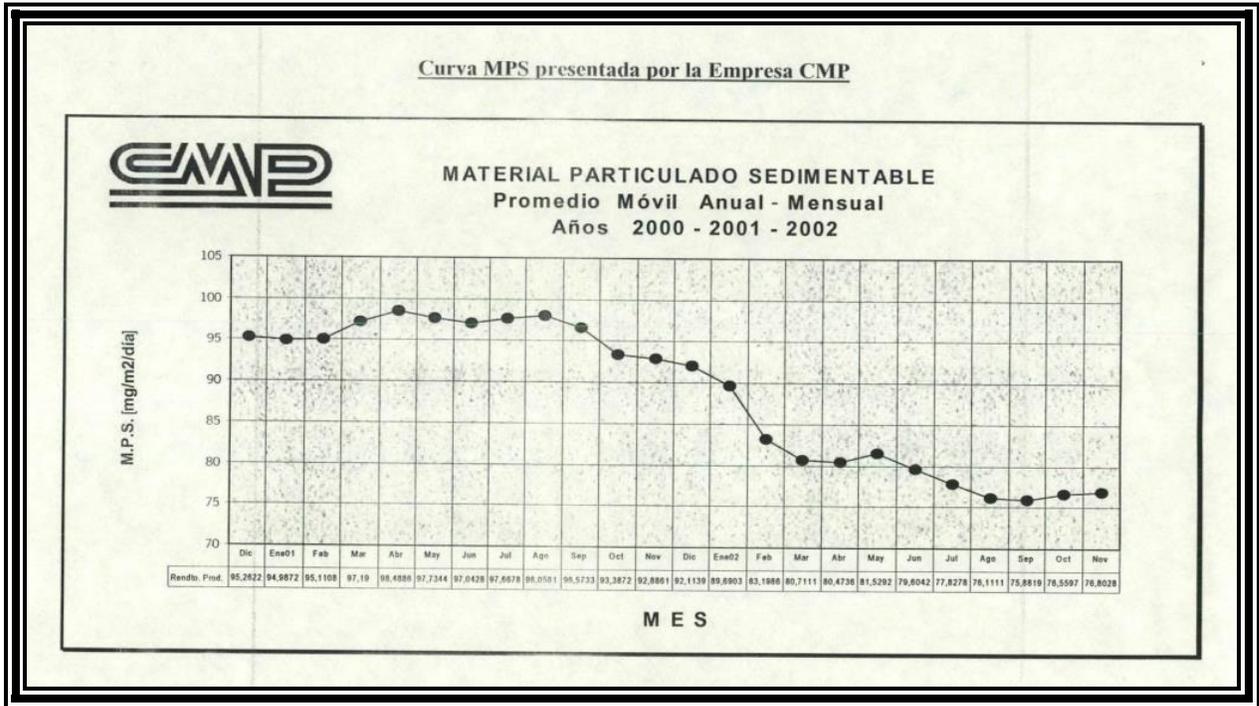


Ilustración 7: Valores históricos de MPS para los años 2000 a 2002.

Fuente: Información obtenida en: http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013071501/EIA_2120_DOC_8359356.pdf

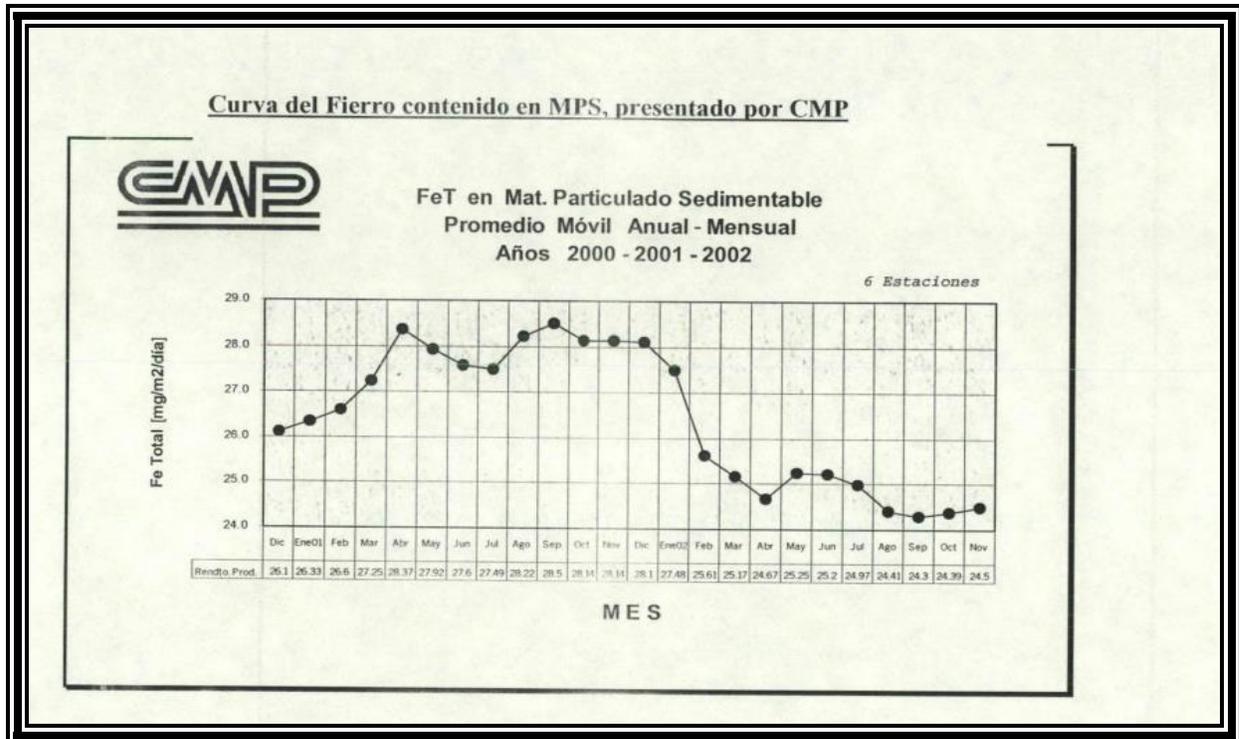


Ilustración 8: Valores históricos de Fe en MPS para los años 2000 a 2002.

Fuente: Información obtenida en: http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013071501/EIA_2120_DOC_8359356.pdf

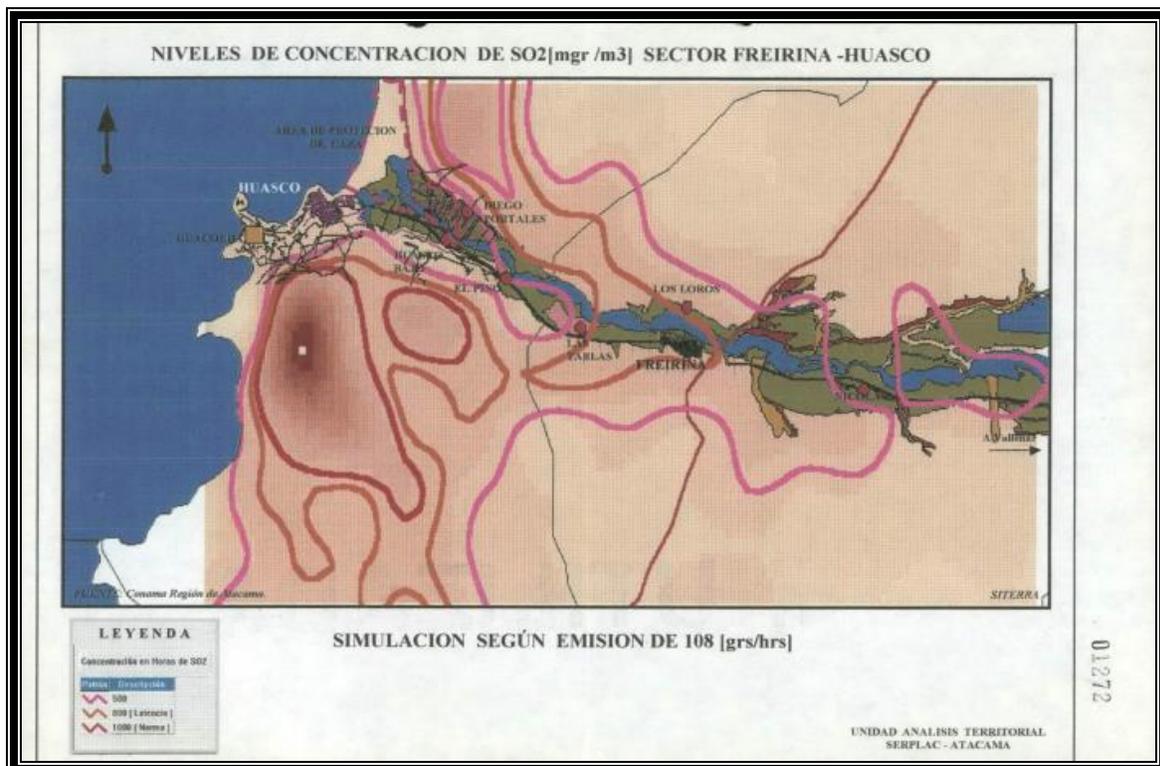


Ilustración 9: Simulación para las emisiones de SO₂ en el valle del Huasco.

Fuente: Información obtenida en: http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013071501/EIA_2120_DOC_8359356.pdf



El Informe Ambiental de CAP Minería²⁵ en 2002 indicaba que “los valores de sedimentación de material particulado (MPS) y de hierro en el material particulado, medidos en la Cuenca del Río Huasco durante el período 1998–2002, son 96,6 mg/m²/día y 28,7 mg/m²/día, respectivamente. Los valores del año 2002 son 76,5 mg/m²/día para el MPS total, lo que se encuentra un 23,5% por bajo el máximo permisible anual establecido por el DS N°04/92 del Ministerio de Agricultura; y 25,4 mg/m²/día para el hierro en el MPS, valor que se encuentra un 15% bajo el máximo permisible anual, sin considerar la Línea Base.

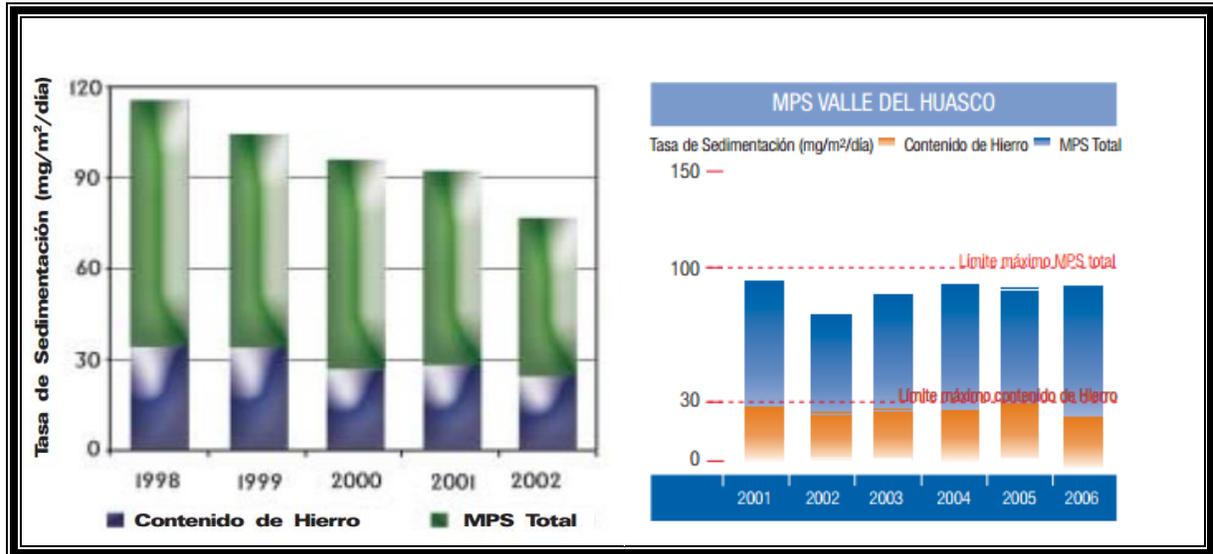


Ilustración 10: MPS en el valle del Huasco.

Fuente: http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2011/04/cap_mineria_informe_rse_2006.pdf

Para elaborar este informe, se dispuso de información del seguimiento de las normas secundarias para MPS vigentes según DS N°04/92 del Ministerio de Agricultura, entre los años 2009 y 2015, la que será analizada de conjunto con los datos recopilados desde diferentes documentos.

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

²⁵ Informe Ambiental CAP Minería (2002) Disponible en: http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2011/04/cap_mineria_informe_ambiental_2002.pdf



Ilustración 11: Ubicación relativa de los muestreadores de MPS para la red CMP fiscalizada por SAG en el Valle del Huasco.

Fuente: http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2011/04/cap_mineria_informe_rse_2006.pdf

En la figura a continuación, se presentan los contenidos promedio de MPS en el valle como un todo, entre los años 2009 y 2015. En general, las variaciones no son notables para todos los sectores muestreados.

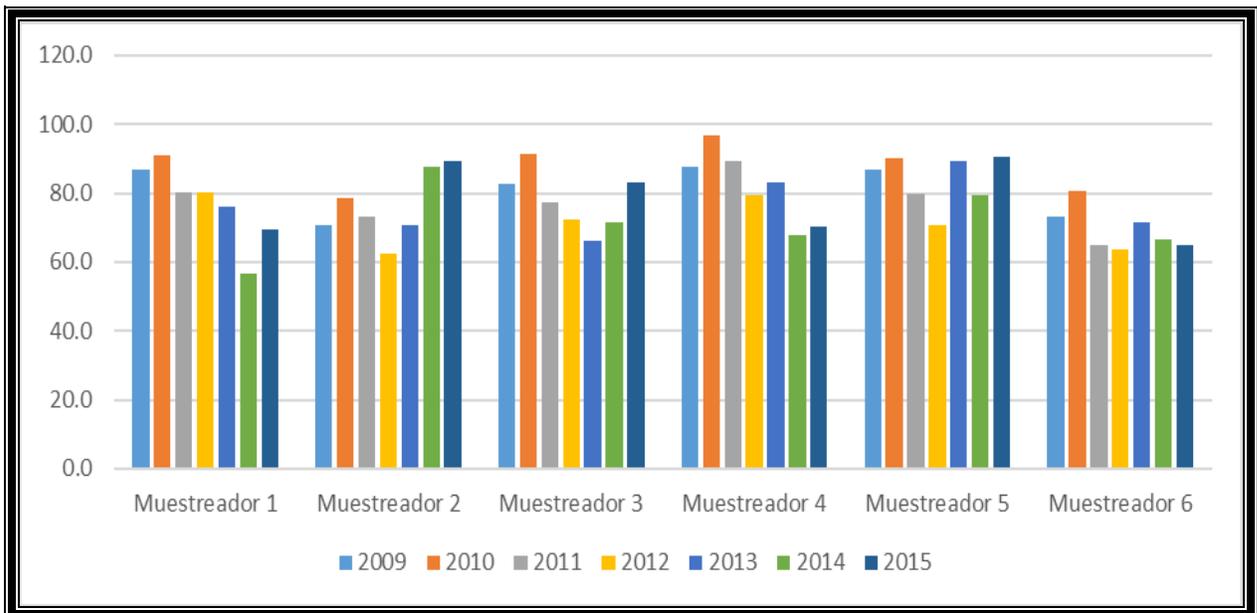


Ilustración 12: Variación de los valores promedio anual de MPS ($\text{mg}/\text{m}^3/\text{día}$) para los diferentes muestreadores operados por CAP Minería para el cumplimiento de la norma secundaria de MPS en el Valle del Huasco.

Fuente: Cap Minería



Se presentan a continuación, varias figuras que ilustran la variación de los valores mensuales de MPS (expresados en $\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$) para los distintos muestreadores ubicados en el Valle del Huasco, en el período Enero/2009 a Junio/2015.

Se observa que, para todos los sectores muestreados, los valores disminuyen entre los meses de abril y julio mientras que aumentan entre los meses de noviembre a enero. Según el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Guacolda y Vertedero de Cenizas, aprobado mediante Resolución 929 del 24 de mayo de 1995, desde 1987 se ha reportado que la precipitación en la parte baja del valle del Huasco sucede entre mayo y agosto, lo cual se corresponde con valores bajos de MPS porque la lluvia arrastra el material, limpiando el ambiente. Por otra parte, el mismo informe consigna que diciembre y enero son los meses más favorables para la dispersión de contaminantes porque en dichos meses se registran vientos con mayor intensidad de turbulencia, lo que, unido a las pocas precipitaciones, permiten que el material particulado sedimentable viaje hasta sectores más lejanos en el valle.

Esta información no ha podido ser contrastada con los niveles de producción de las fuentes emisoras de MPS.

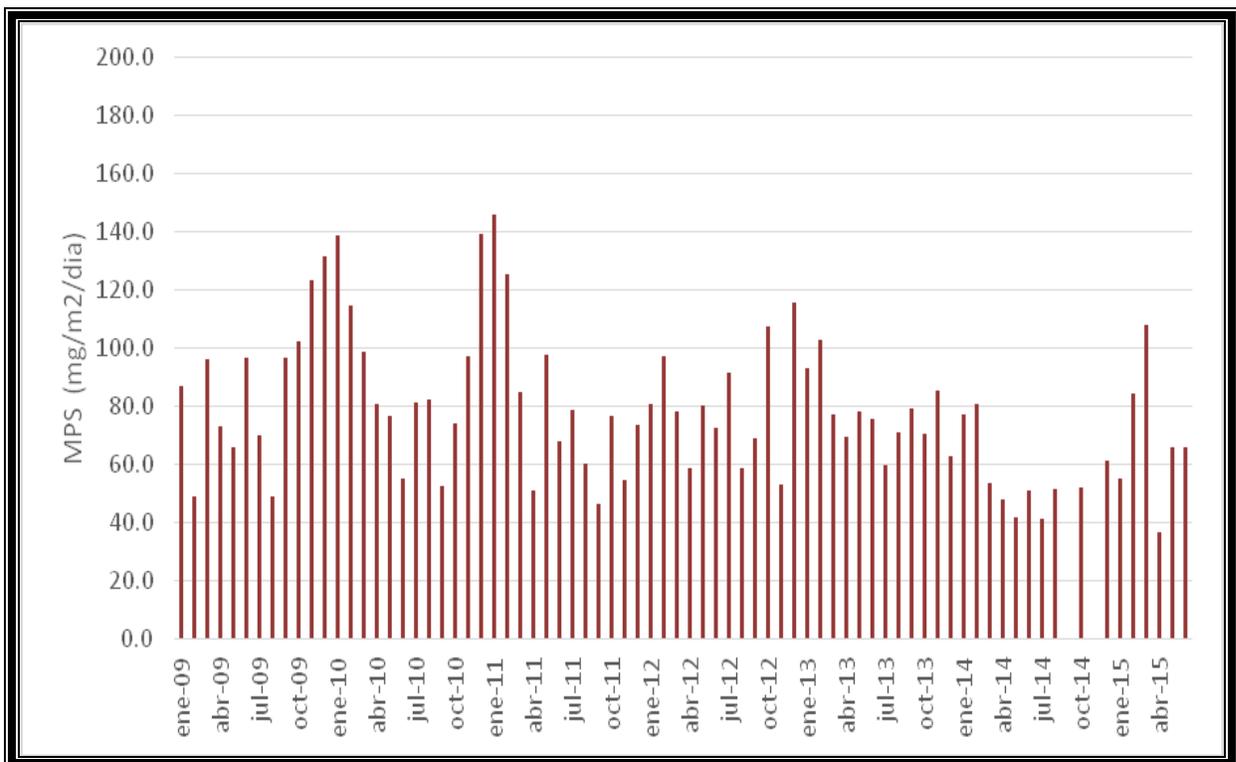


Ilustración 13: Valores mensuales de MPS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$). Muestreador 1. Período 2009-2015

Fuente: Elaboración propia en base a data histórica de monitoreo de MPS periodo 2009-2015

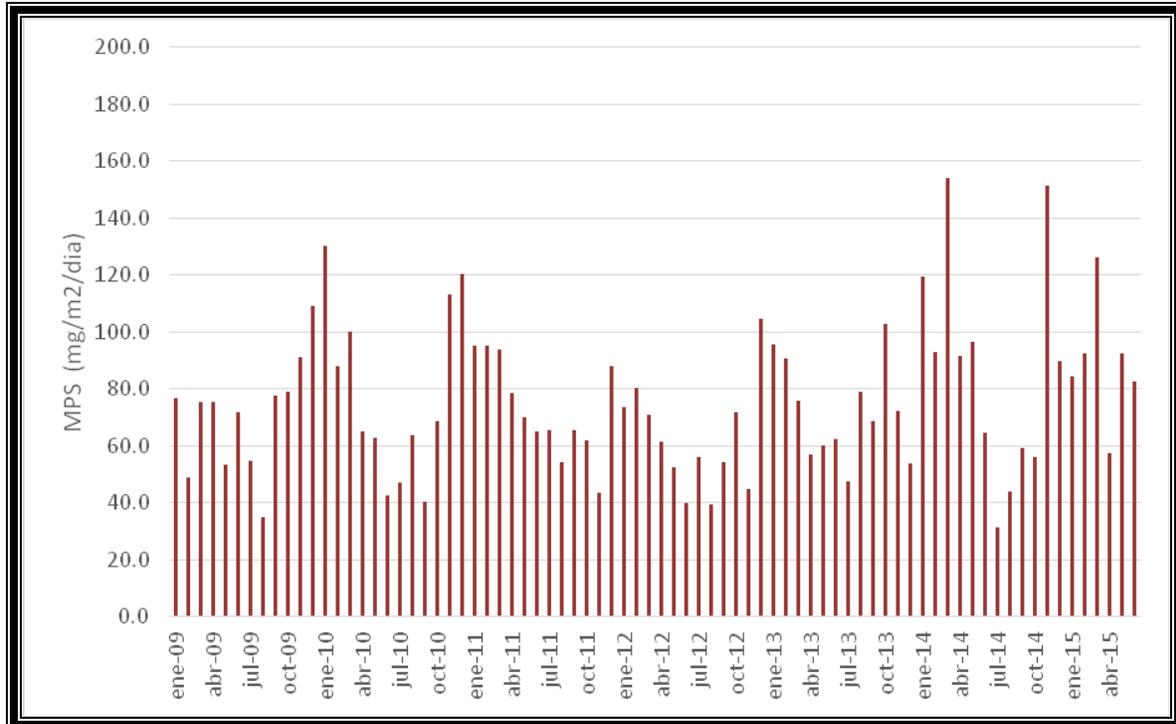


Ilustración 14: Valores mensuales de MPS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$). Muestreador 2. Período 2009-2015
 Fuente: Elaboración propia en base a data histórica de monitoreo de MPS periodo 2009-2015

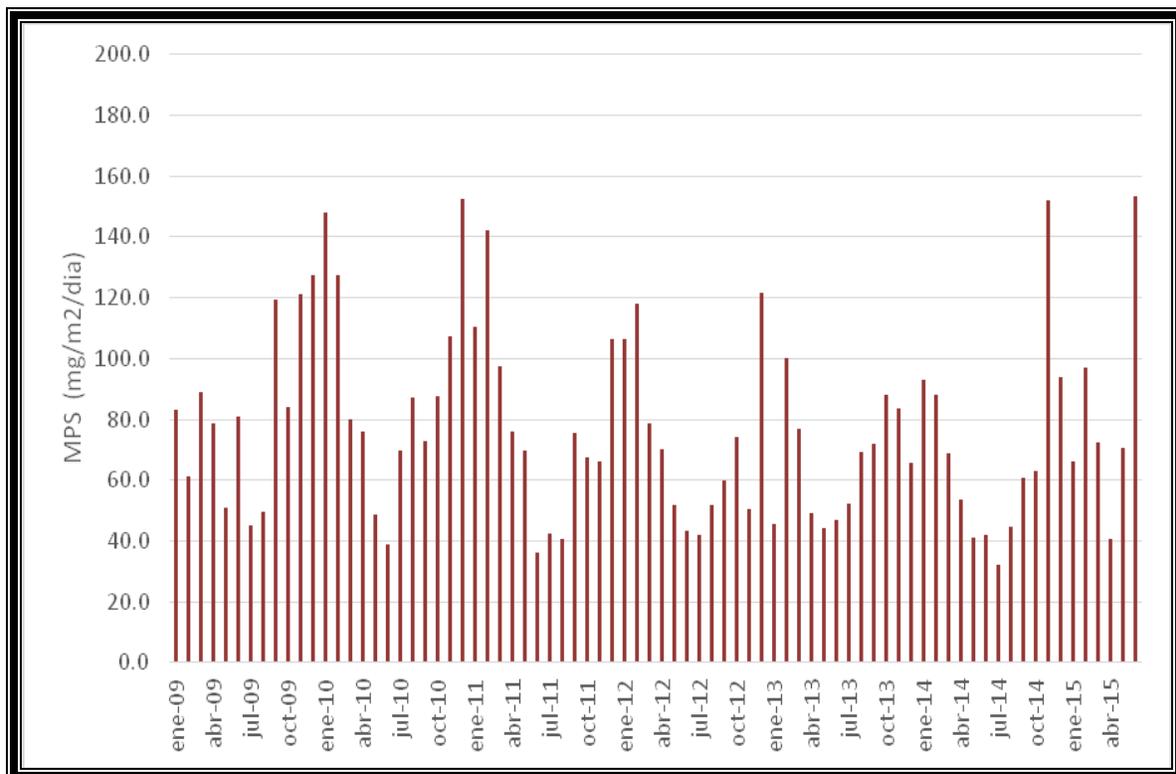


Ilustración 15: Valores mensuales de MPS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$). Muestreador 3. Período 2009-2015
 Fuente: Elaboración propia en base a data histórica de monitoreo de MPS periodo 2009-2015

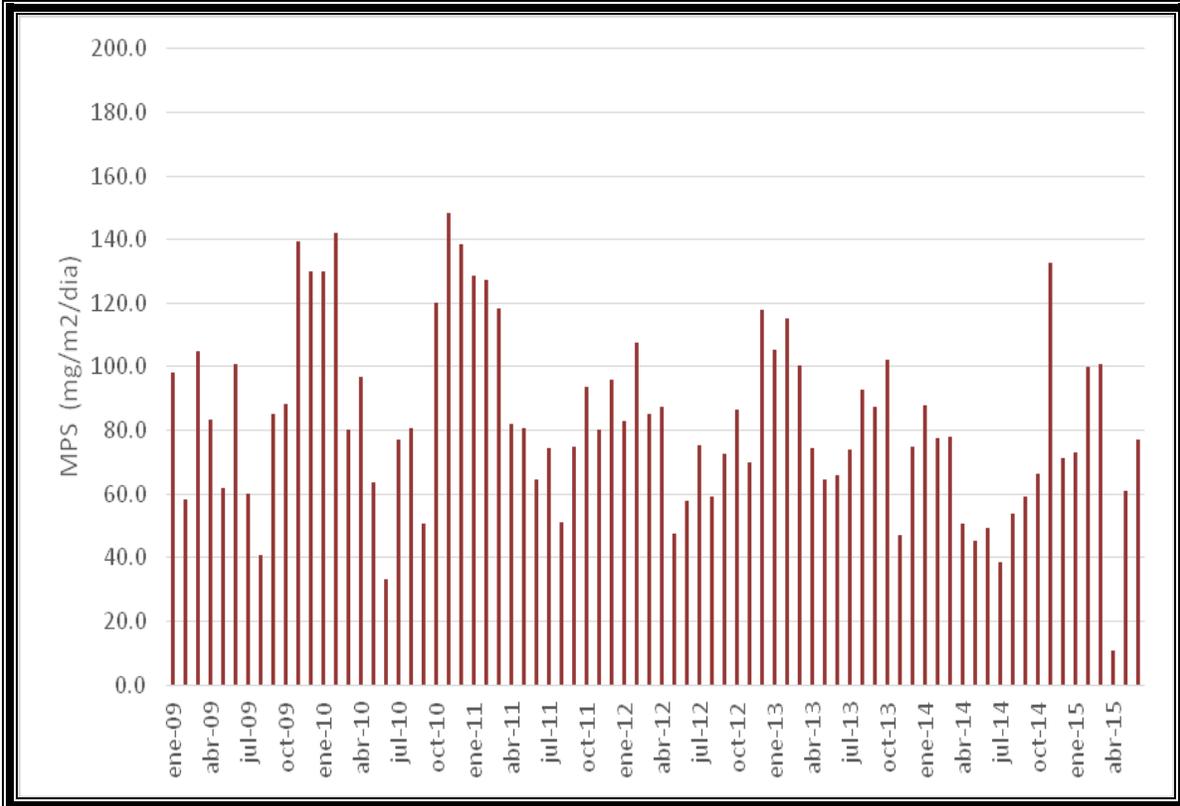


Ilustración 16: Valores mensuales de MPS (mg/m²/día). Muestreador 4. Período 2009-2015
 Fuente: Elaboración propia en base a data histórica de monitoreo de MPS periodo 2009-2015

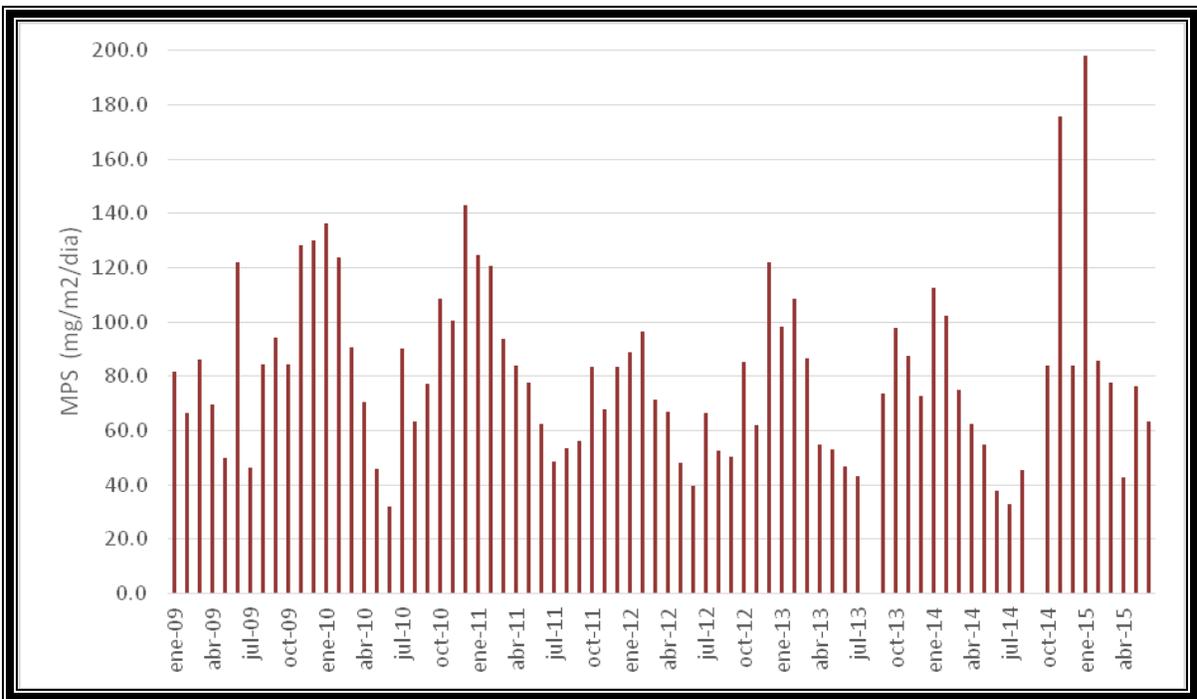


Ilustración 17: Valores mensuales de MPS (mg/m²/día). Muestreador 5. Período 2009-2015
 Fuente: Elaboración propia en base a data histórica de monitoreo de MPS periodo 2009-2015

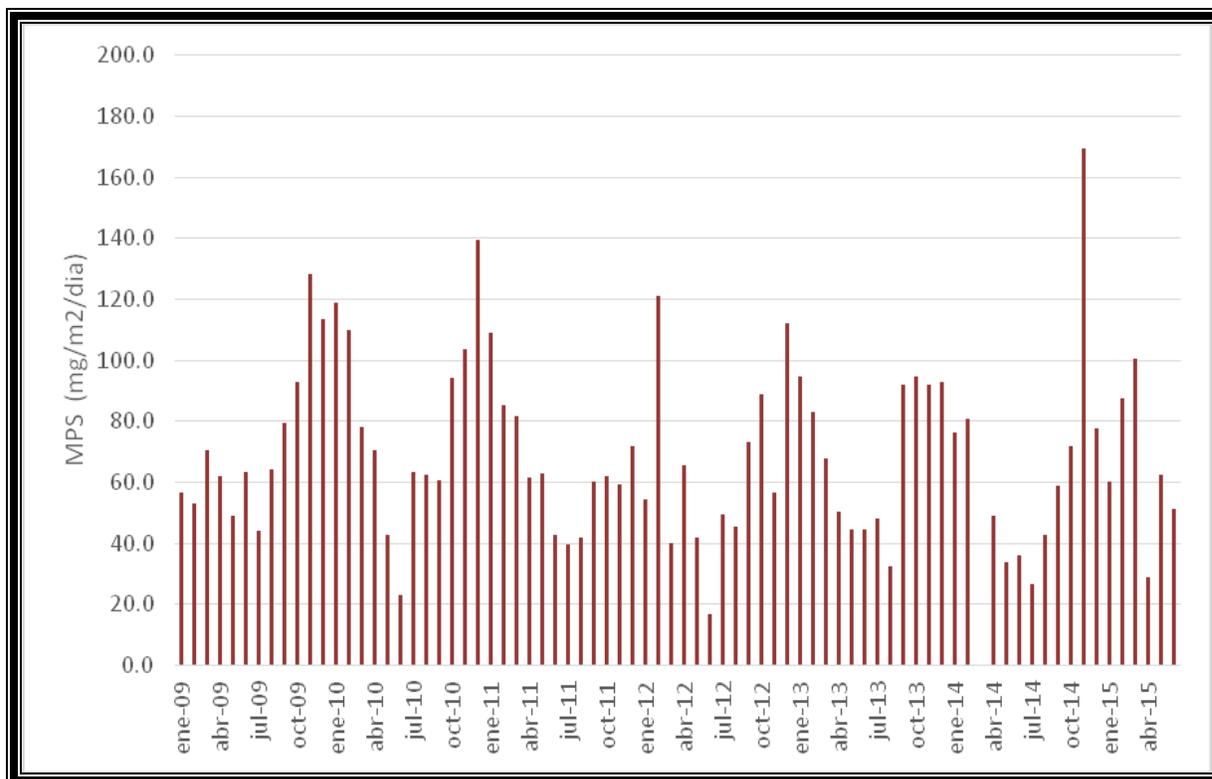


Ilustración 18: Valores mensuales de MPS (mg/m²/día). Muestreador 6. Período 2009-2015
Fuente: Elaboración propia en base a data histórica de monitoreo de MPS periodo 2009-2015

3.2.12 Contaminantes en polvo en distintos lugares de Chile. Resultados y metodologías de muestreo y análisis.

En el año 2011, mediante Ordinario N° 1448 la SEREMI de Salud de Valparaíso comunicó al Subsecretario de Educación el “informe de análisis de metales en polvo y suelo en colegios de Puchuncaví”. En dicho estudio, se tomaron muestras compuestas de polvo depositado superficialmente en las salas de clases y sectores de diferentes colegios, y también muestras de suelo, las que fueron analizadas por métodos estándares de análisis de metales en suelos y muestras sólidas. Se realizó análisis de riesgo y se concluyó que existe exposición a contaminantes cancerígenos y no cancerígenos en los diferentes establecimientos, que pertenecen todos a la comuna de Puchuncaví.

El estudio realizado por CENMA en el 2013²⁶ solicitado por la Subsecretaria de Medio Ambiente incluyó la evaluación de Material Sólido Sedimentable (MPS) en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Debido a que no existe una norma primaria para MPS a nivel nacional, a modo de referencia se utilizó la Norma secundaria de calidad de aire para material particulado sedimentable para la cuenca del Río Huasco.

La metodología aplicada para la obtención de muestras corresponde a la descrita en el DE N°4/1992 que "Establece Normas de Calidad de Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del río Huasco, III Región" y la Resolución N° 099 SAG III Región. Los planos de fabricación del colector MPS corresponden a los descritos en el Informe “Especificaciones

²⁶ CENMA 2013. “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

técnicas para implementación red de monitoreo material de polvo sedimentable en cuenca de Río Huasco”, realizado por el CIMM.

Los resultados obtenidos evidenciaron que en la mayoría de los lugares hay concentraciones mayores al valor de referencia mensual y al valor de referencia anual (150 mg/m²/día como concentración media aritmética mensual y 100 mg/m²/día como concentración media aritmética anual). Solamente las estaciones Valle Alegre e Interior Puchuncaví presentaron concentraciones de MPS inferiores a los valores de referencia, tanto mensual como anual.

3.2.13 Contaminantes en polvo en referencias internacionales. Resultados y metodologías de muestreo y análisis.

Se realizó una revisión bibliográfica en la base de datos Sciencedirect para diferentes combinaciones de palabras claves. Los resultados detallados en la tabla 4, indican que la cantidad de referencias prácticamente se duplicó entre 2005 (4394) y 2015 (9734).

Muchos de los estudios se dedican a evaluar la presencia de contaminantes orgánicos y especialmente el contenido de carbón en el polvo, solo el 50% de los estudios corresponde a evaluación de metales. Dentro de los metales estudiados en polvo, la determinación de los niveles de hierro corresponde al 59% de las referencias mientras que la medición de los niveles de vanadio solo asciende al 7%. Los metales más estudiados en el polvo son los de reconocida toxicidad como el As, Cd y Pb.

Respecto de los métodos de análisis para evaluar metales en polvo, estos resultados indican por una parte que existen varios métodos que han sido estudiados y aplicados en diferentes países. Dentro de ellos, los métodos espectroscópicos (AAS, ICP, FRX, espectrometría) son más comúnmente aplicados que los métodos electroquímicos, lo cual está relacionado especialmente con la disponibilidad de muestra, que usualmente se toma en pequeña cantidad y con la capacidad multianálisis de muchos métodos espectroscópicos. El método de absorción atómica (AAS) se reportó en el 11% de las referencias bibliográficas considerando que es un método de amplio uso y relativamente accesible en costos para muchos laboratorios. Por su parte, el método de fluorescencia de rayos X (FRX) también se reportó en el 11,5% de las referencias, lo que indica su capacidad para este tipo de estudio, donde su principal ventaja radica en el hecho de que es un método que no requiere destruir la muestra y esta condición constituye una alternativa que compensa su costo y su aparente falta de exactitud respecto de los métodos de absorción. El análisis por espectrometría de plasma inductivamente acoplado (ICP), fue reportado en el 9% de las referencias y corresponde a una situación intermedia respecto de costos, de disponibilidad pero con la dificultad de que se destruye la muestra de polvo. Aproximadamente el 58% de las referencias corresponden a estudios de modelación del comportamiento ambiental del polvo, que usualmente se incluye dentro de la evaluación de calidad de aire y donde la fracción fina del polvo resulta ser la más estudiada por su relación con la salud.

En resumen, hay mucha información disponible en la literatura internacional, puesto que muchos estudios han sido reportados con diferentes objetivos de investigación. No obstante, no es posible identificar entre ellos una manera única de abordar este proyecto.

Tabla 4: Resultados de la revisión bibliográfica de antecedentes en base de datos Scienedirect.

	COMBINACION DE PALABRAS CLAVES										
	Dust + analysis	Dust + metals	Dust + iron	Dust + vanadium	Dust + foliar	Dust +metals +modelling	Dust +metals +AAS	Dust +metals +ICP	Dust +metals +fluorescence	Dust +metals +spectrophotometry	Dust +metals +voltametry
Total de referencias	158816	79664	47000	5370	1775	46033	8745	7116	9180	2790	1381
2016	932	470	252	35	14	293	44	80	73	7	7
2015	9734	4289	2398	265	78	2900	405	758	638	116	88
2014	8829	3942	2139	262	87	2670	335	669	553	78	62
2013	7978	3644	2106	211	81	2365	311	571	497	91	74
2012	6947	3071	1692	148	67	1965	301	506	397	91	45
2011	6457	2752	1506	130	62	1767	261	453	376	70	53
2010	5607	2546	1377	135	49	1684	253	400	371	73	45
2009	5548	2552	1340	128	55	1632	267	384	338	66	54
2008	5361	2315	1270	119	61	1509	241	334	327	71	41
2007	5332	2461	1412	145	50	1567	302	377	364	63	59
2006	4783	2123	1165	116	45	1324	237	305	227	65	44
2005	4394	2134	1175	147	61	1306	234	266	247	80	33
2004	4269	1983	1149	113	48	1215	213	234	236	49	20
2003	4358	2088	1106	142	41	1314	194	211	215	70	41
2002	3740	1838	983	111	27	1074	200	171	237	47	34
2001	3177	1848	953	110	53	984	175	149	187	55	33
2000	3443	1751	1003	87	26	909	168	154	190	57	31
1999	3451	2218	1247	155	23	1252	244	147	195	107	35
1998	3796	2286	1135	151	40	1384	202	135	201	78	22
1997	4078	2439	1248	142	53	1447	225	110	216	82	31

Fuente: Elaboración propia.

3.2.14 Condiciones meteorológicas de la comuna de Huasco y su relación con la presencia de polvo negro.

Según el Anexo Medio Físico de la DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Cierre y Sellado Vertedero Comuna de Huasco²⁷, la provincia de Huasco se encuentra bajo la influencia de un bioclima mediterráneo, caracterizado por presentar un incremento y máximo estacional de precipitaciones durante el invierno en su sector más árido, con déficit hídrico durante más de la mitad del año. El tipo **bioclimático dominante es el mediterráneo desértico - oceánico** y la variabilidad está dada por cambios en el origen y montos de precipitaciones desde la costa hacia la cordillera y por la variación térmica que se produce en el mismo sentido.

Las precipitaciones aumentan conforme se asciende en el gradiente altitudinal en dirección a la cordillera andina. Ellas se originan en los frentes polares provenientes desde el sudoeste y la barrera climática de los Andes produce su acumulación en los sectores altos de la cordillera. Las temperaturas y la oscilación térmica disminuyen hacia el Este debido la combinación del efecto de la altitud y del incremento de la distancia al mar. La provincia de Huasco, en la zona media alta las precipitaciones varían entre 50 y 100 mm al año, estas se hacen presentes en periodo invernal, principalmente, en los meses de junio a agosto

En estudios realizados en la comuna de Huasco se observa que el régimen general de los vientos presenta dirección predominante desde el Sur-Oeste con velocidades que no sobrepasan los 8,8 m/s. Las velocidades medias en esta zona son menores a 3 m/s. Durante el ciclo diario se ha observado velocidades es grande, con predominancia de la fase diurna. Esta registra velocidades medias mayores a 4-5 m/s entre las horas 12-18 y en los meses cálidos (septiembre a marzo). Los flujos diurnos son del noroeste sur oeste, mientras que los nocturnos provienen del este.

En el Estudio de Calidad del Aire realizado por CENMA en la Comuna de Huasco²⁸, utilizando la información de la Red de monitoreo de la Central Termoeléctrica Guacolda, una estación meteorológica completa ubicada en la Central, dos ubicadas en el valle de Huasco, y una estación meteorológica completa de CAP Minería, ubicada también en el valle de Huasco, se elaboraron las siguientes rosas de dirección de viento predominante en enero y en julio de 2004.

²⁷ Aprobada por la Resolución Exenta N° 27 Copiapó, 30 de Enero de 2013, que Califica Ambientalmente el proyecto "Cierre y Sellado Vertedero Comuna de Huasco Vertedero Huasco"

²⁸ CENMA 2006, "Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco" para I. Municipalidad de Huasco

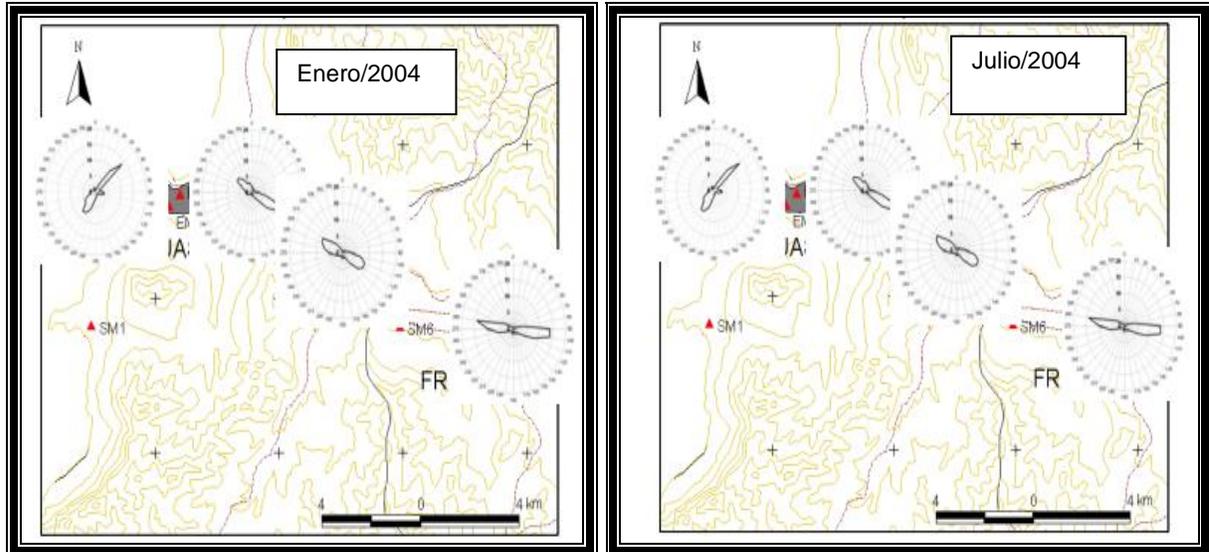


Ilustración 19: Direcciones de viento predominante en Huasco, enero y julio de 2004
 Fuente: CENMA 2006

De acuerdo con esto, los vientos en enero tienen un patrón dominante en la costa obedeciendo a la brisa mar-tierra en el día, lo que, combinado con el efecto producido por el anticiclón del Pacífico y el relieve de la costa, da como resultado un viento Suroeste. El régimen nocturno de vientos en la costa obedece a la brisa tierra-mar y a la orografía, dando como resultado un viento Noreste. Hacia el interior, los vientos térmicos (mar-tierra, y tierra mar), son modelados por el valle y el cajón del río Huasco. Los vientos resultantes son Noroeste a Oeste durante el día y Sureste a Este durante la noche.

En el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” (disponible en: <https://www.e-seia.cl/archivos/20090331.151058.pdf>) se aprecia la siguiente rosa de los vientos:

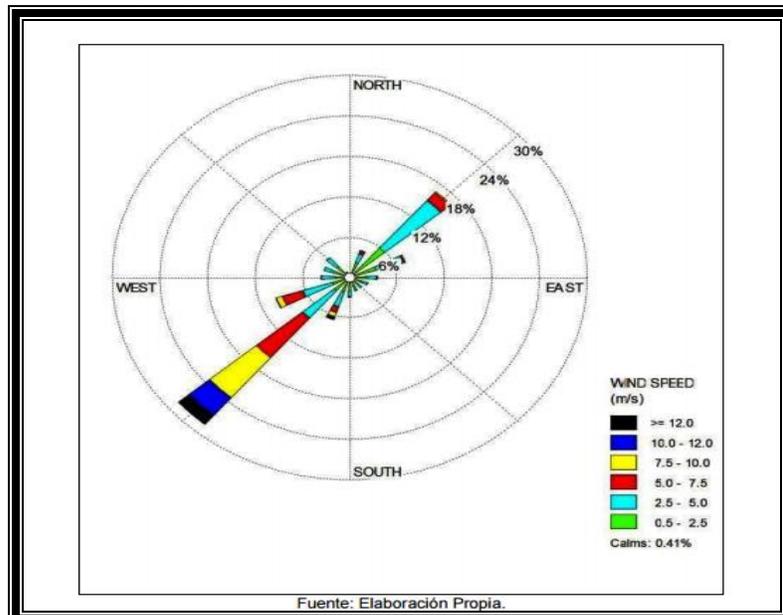


Ilustración 20: Rosa de los vientos para la ciudad de Huasco (Enero-Diciembre/2007).
 Fuente: Proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”. <https://www.e-seia.cl/archivos/20090331.151058.pdf>

Esto comprueba que los vientos locales son gobernados por la circulación propia del anticiclón, la geografía del terreno costero y el encajonamiento del valle hacia el interior por el Río Huasco.

Considerando las emisiones base y antropogénicas, éstas seguirían un desplazamiento que depende de la circulación local, siendo transportadas hacia el interior del valle durante el día, con vientos más intensos, mientras que por la noche circularían lentamente desde el interior hacia la costa.

A continuación, se presentan algunos datos obtenidos desde la estación CEHuasco-Vallenar, para los dos últimos años (Octubre/2013-Noviembre/2015). Se toma esta estación porque es la que tiene información disponible.

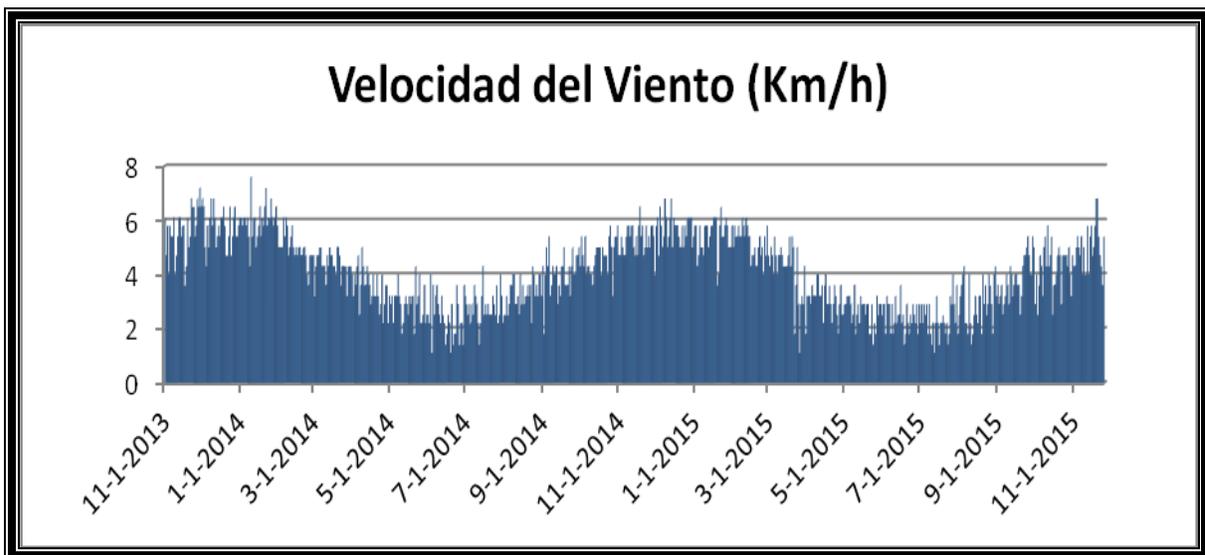


Ilustración 21: Velocidad del viento (km/h) en la estación CE Huasco-Vallenar
Fuente: <http://agromet.inia.cl/estaciones.php>

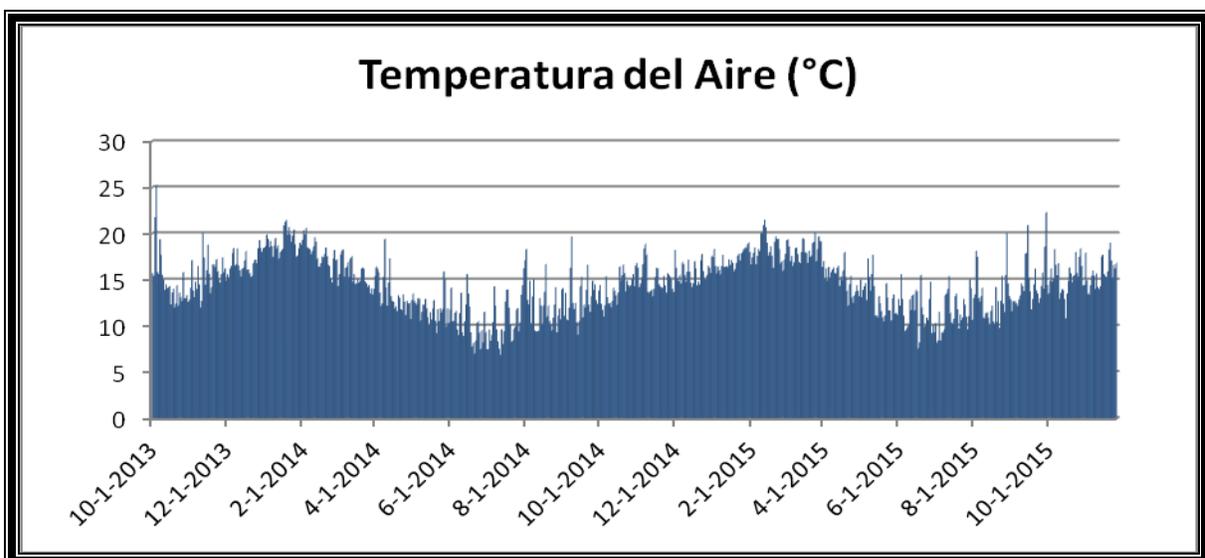


Ilustración 22: Temperatura del aire (°C) en la estación CE Huasco-Vallenar
Fuente: <http://agromet.inia.cl/estaciones.php>

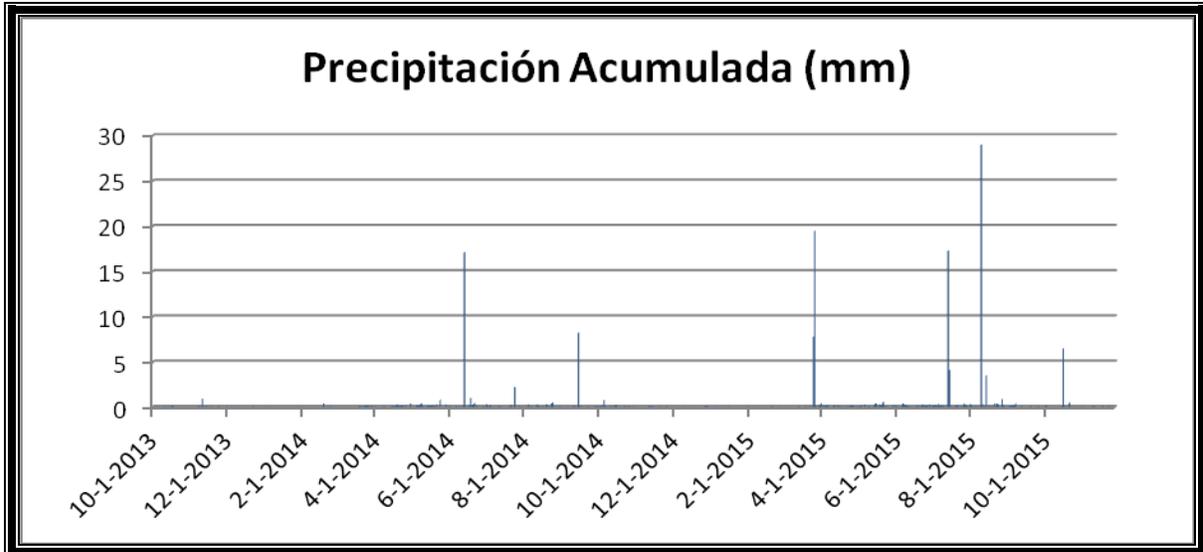


Ilustración 23: Precipitación acumulada (mm) en la estación CE Huasco-Vallenar.

Fuente: <http://agromet.inia.cl/estaciones.php>

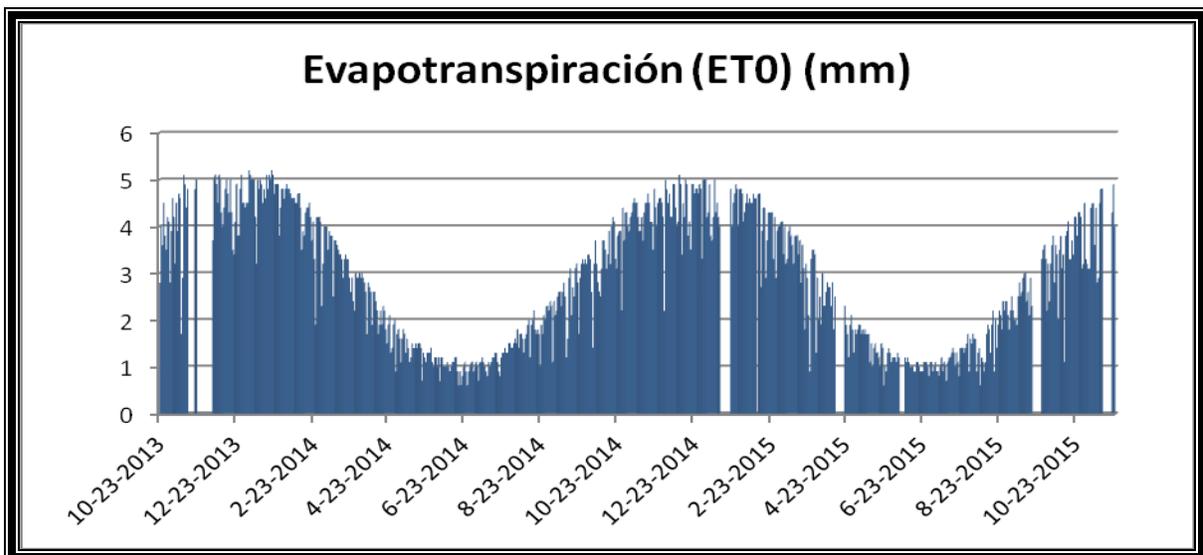


Ilustración 24: Evapotranspiración (mm) en la estación CE Huasco-Vallenar

Fuente: <http://agromet.inia.cl/estaciones.php>

Los datos históricos de promedios mensuales de dióxido de azufre (SO₂) en las estaciones de monitoreo emplazadas en el valle y en la ciudad de Huasco, presentan las siguientes distribuciones:

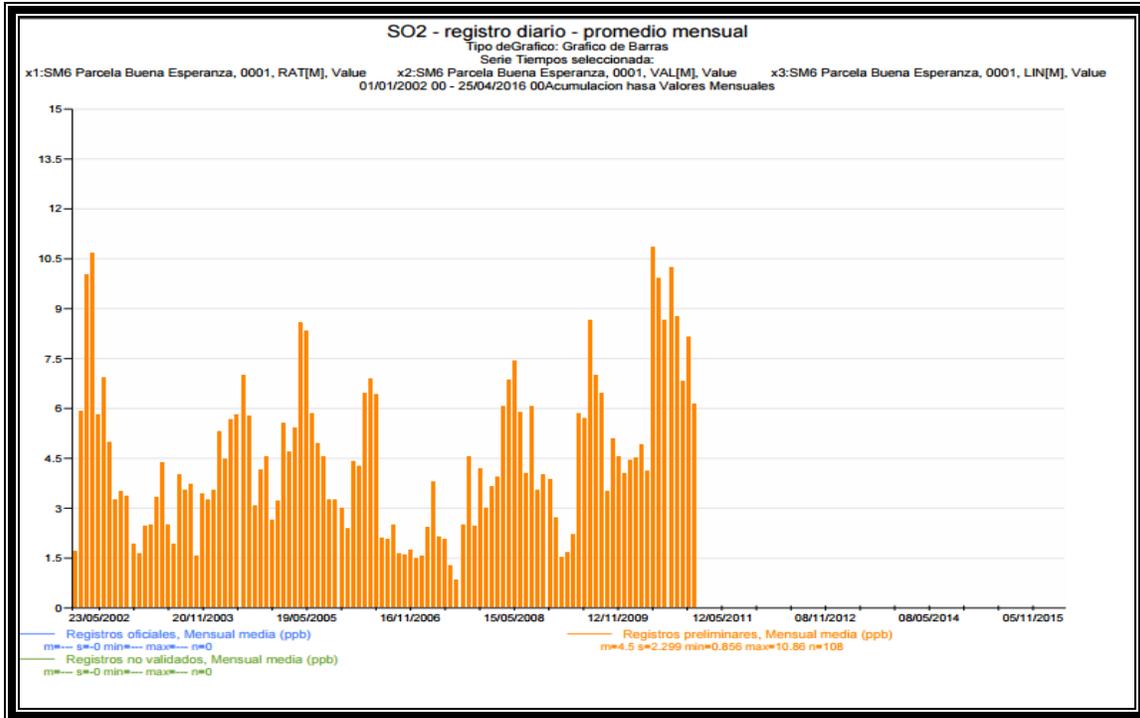


Ilustración 25: Estación SM6 Parcela Buena Esperanza. (292058 E, 6845539 N), comuna de Freirina. Registros SO₂ promedio mensual.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

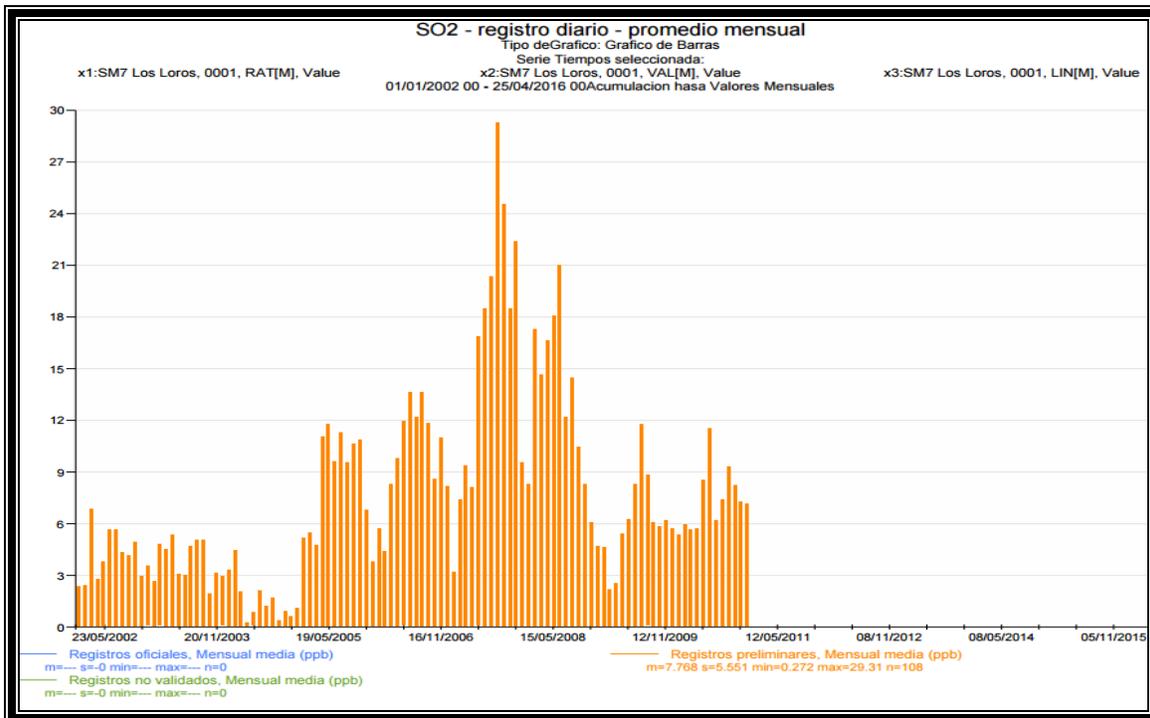


Ilustración 26: Estación SM7 Los Loros (295021 E, 6846218 N) comuna de Freirina. Registros SO₂ promedio mensual

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

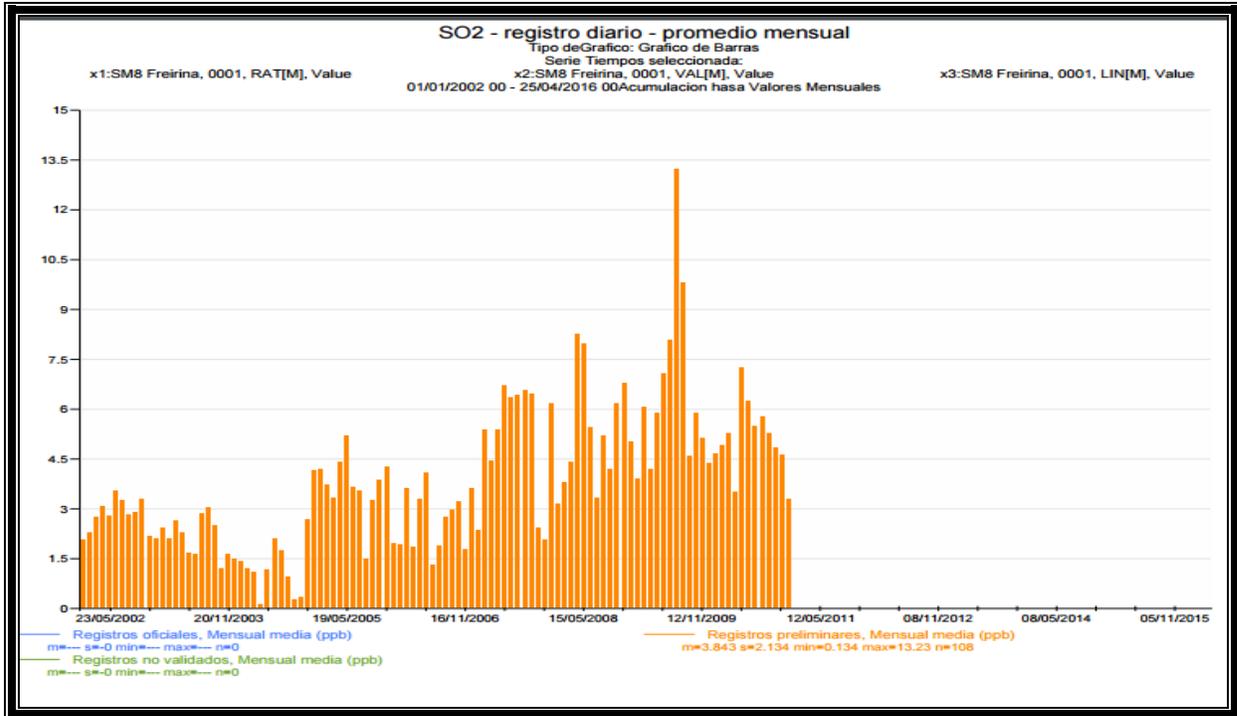


Ilustración 27: Estación SM8 Freirina. (296473 E, 6845185 N) comuna de Freirina. Registros SO₂ promedio mensual.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

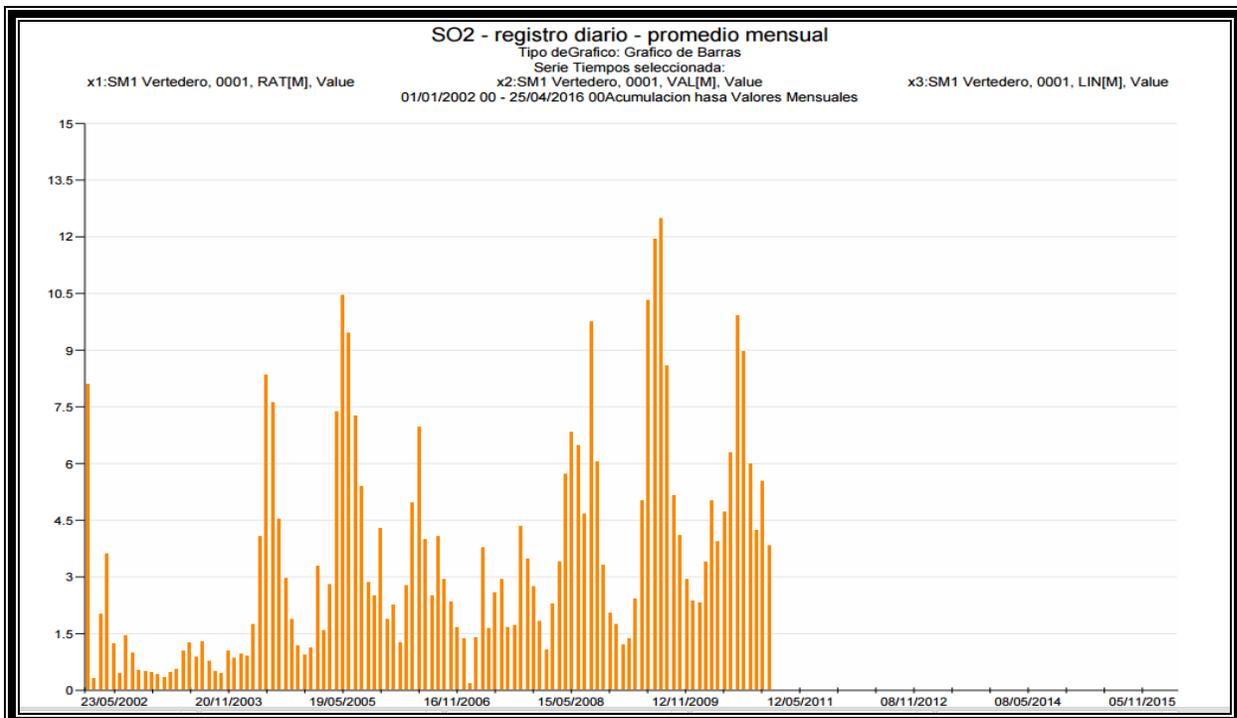


Ilustración 28: Estación SM1 Vertedero Huasco. (279550 E, 6845667 N) comuna de Huasco. Registros SO₂ promedio mensual.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

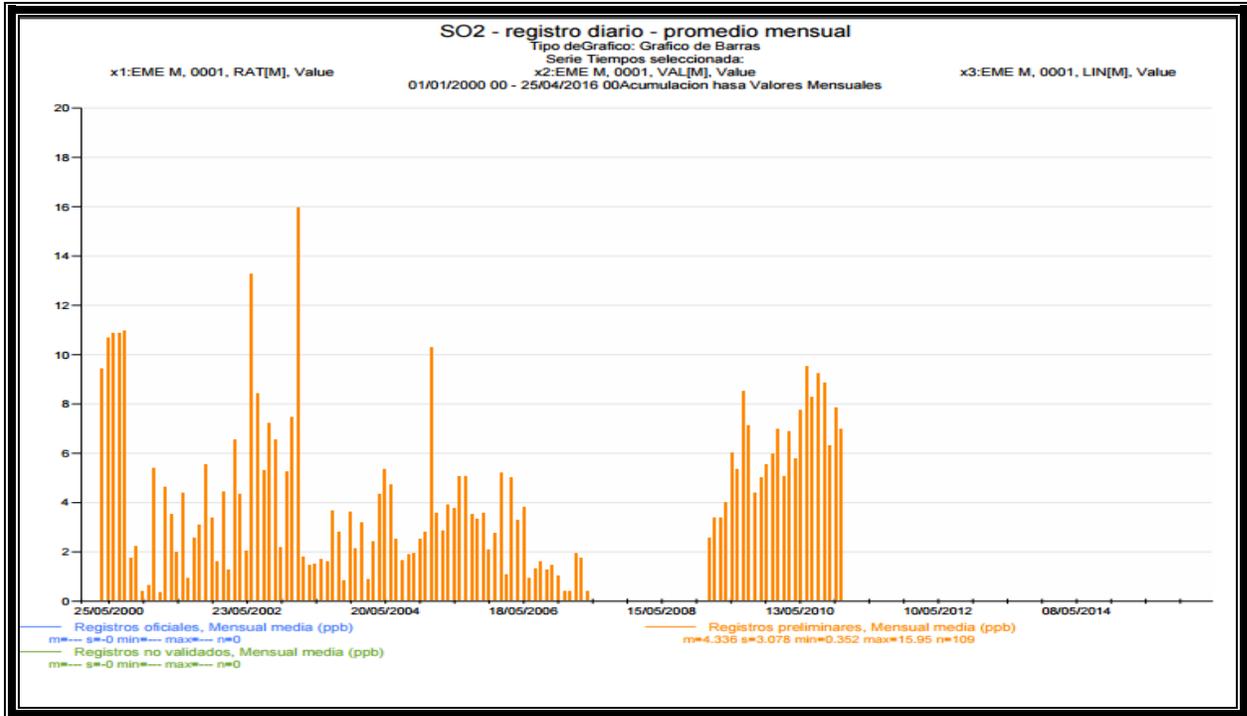


Ilustración 29: Estación EME M Huasco. (278931 E, 6849087 N) comuna de Huasco. Registros SO₂ promedio mensual.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

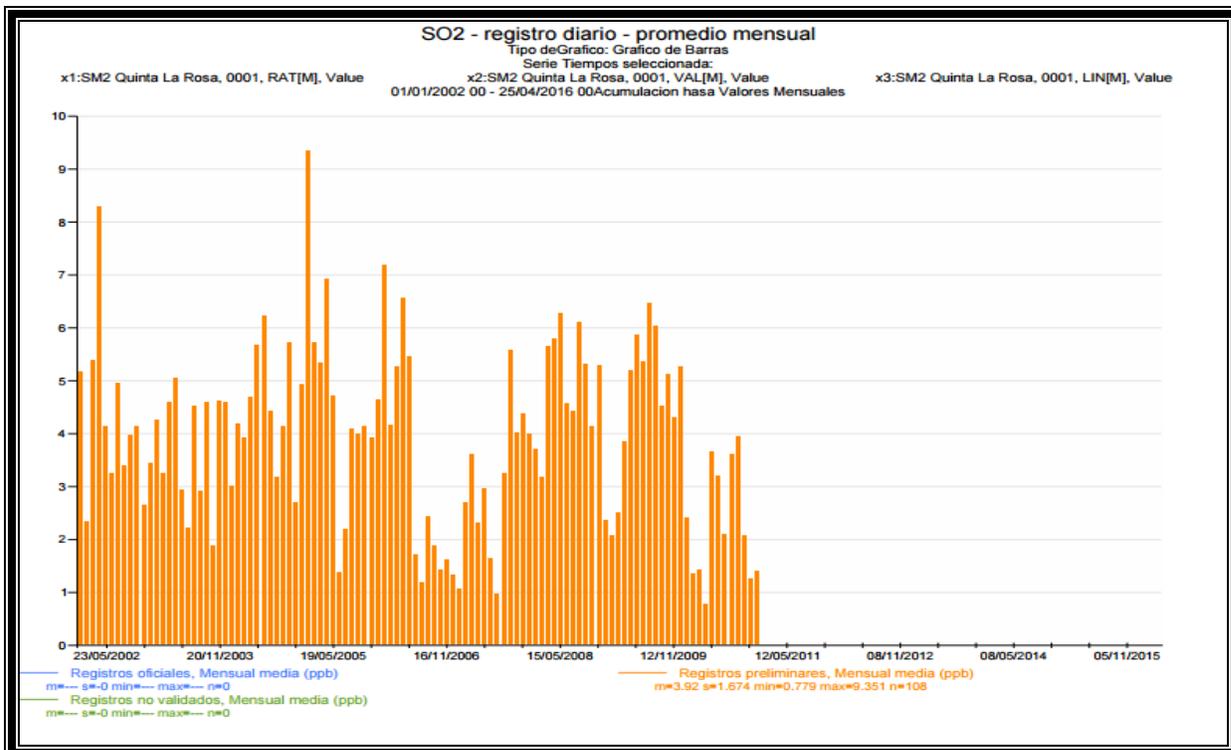


Ilustración 30: Estación SM2 Quinta La Rosa, Huasco. (286614 E, 6849717 N), comuna de Huasco. Registros SO₂ promedio mensual.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

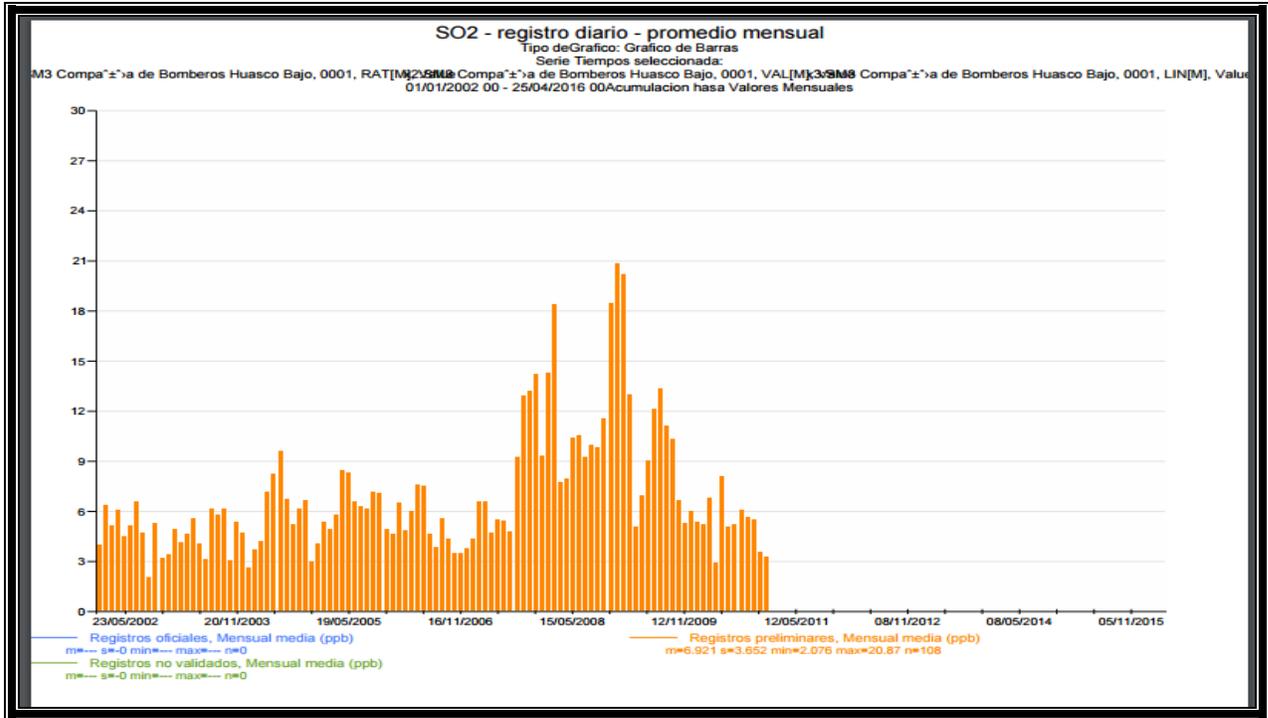


Ilustración 31: Estación SM3 Compañía de Bomberos, Huasco Bajo. (286948 E, 6848974 N) comuna de Huasco. Registros SO₂ promedio mensual.

Fuente: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

Lamentablemente, la información disponible en línea para SO₂ en las estaciones del valle de Huasco, contiene datos hasta 2010, por lo que no fue posible disponer de información actualizada. Sin embargo, llama la atención que los patrones de distribución del SO₂ son similares a los patrones descritos para los muestreadores de MPS y similares al patrón de velocidad de viento, en el sentido de distribuciones de tipo onda. Preliminarmente, esto supone que el viento es la principal vía de transporte de contaminantes emitidos a la atmósfera, tanto gases como polvo.

3.2.15 Características topográficas de la comuna de Huasco y su relación con la presencia de polvo negro.

La topografía del entorno costero de Huasco es relativamente compleja, presentando cerros de alturas cercanas a 150 msnm. Hacia el oriente de la localidad de Huasco se encuentra el valle formado por el Río Huasco con una orientación aproximada Sureste. La zona urbana de Huasco se encuentra sobre un relieve suave entre la Bahía de Guacolda y la Bahía de Huasco, bordeada por una cadena de colinas de alrededor de 100 m de altura. La superficie urbana cubre aproximadamente 1,5 Km² y se emplaza en cotas que van desde los 10 m hasta unos 60 msnm.

Estas condiciones son buenas para la dispersión de contaminantes, considerando los factores topográficos descritos y los vientos del suroeste asociados a la circulación del anticiclón del Pacífico.

Según la DIA Plan Regulador Comunal Huasco, Región de Atacama, presentado en diciembre de 2003, las unidades geomorfológicas de interés para este proyecto serían: planicies litorales, y llanos de sedimentación fluvial

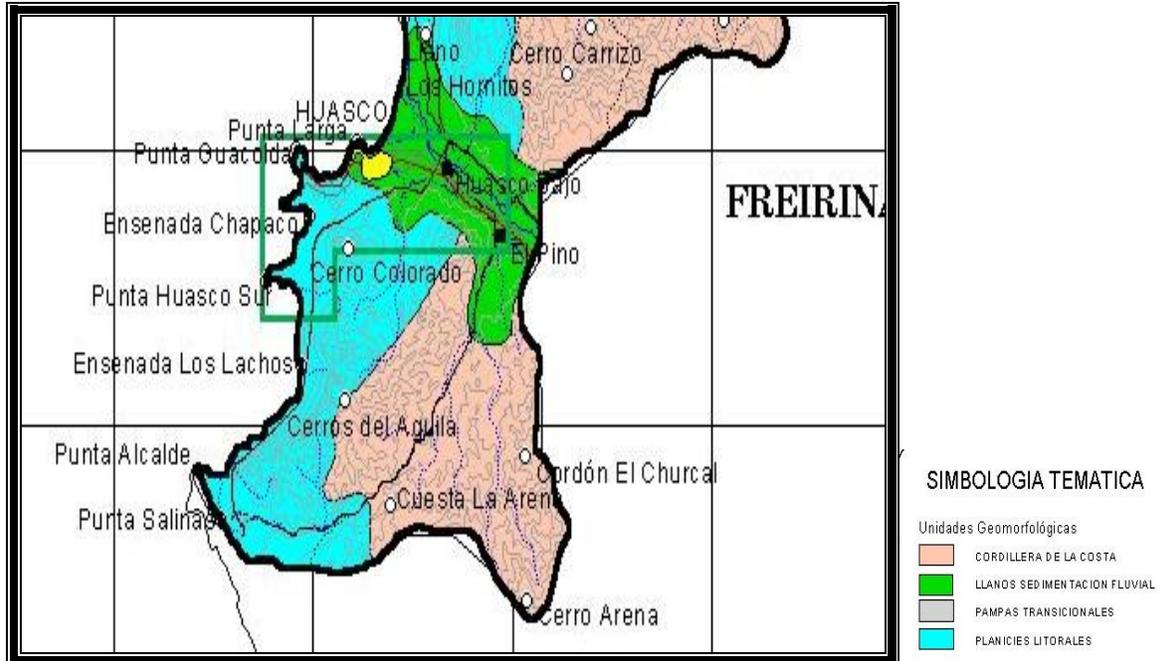


Ilustración 32: Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

Fuente: DIA Plan Regulador Comunal Huasco, Región de Atacama, presentado en diciembre de 2003

3.2.16 Características sociales y conflictos ambientales en la comuna de Huasco y su relación con la presencia de polvo negro.

Como se explicó anteriormente, desde marzo de 2014 se está trabajando en la elaboración de Planes de Recuperación Ambiental y Social (PRAS) para Territorios Ambientalmente Vulnerables, enfocados en aquellas localidades que deben soportar una mayor carga ambiental, dentro de los cuales se encuentra Huasco.

El Consejo para la Recuperación Ambiental y Social (CRAS) de Huasco identificó²⁹ 17 problemas ambientales centrales en la comuna. A saber:

1. La calidad del aire.
2. La emisión de gases y la lluvia ácida
3. El tratamiento de aguas servidas domésticas
4. El vertido de residuales con altas temperaturas a la bahía
5. El estado ecológico de la bahía
6. La recuperación de la biodiversidad marina
7. La recuperación de la pesca artesanal
8. La recuperación de la biodiversidad
9. La conservación de la flora y la fauna de la comuna
10. El aumento de la disponibilidad de agua para uso agrícola
11. Garantizar el agua para consumo humano
12. El manejo de los residuos industriales y domiciliarios
13. El aumento de las áreas verdes

²⁹ Notas tomadas en la reunión del CRAS efectuada el 11 de noviembre de 2015 en Huasco.

14. La mejora del entorno y del paisaje
15. Controlar los perros vagos
16. Disponer de buenas fuentes de trabajo
17. Disponer de servicios básicos de calidad a precios accesibles

De esta lista se identifica que el tema del polvo negro no aparece explícitamente como un problema ambiental, aunque se podría englobar en el concepto general vinculado a la calidad del aire. Por una parte, la calidad del aire y la emisión de gases aparecen como los primeros problemas, lo que llevaría a entender que el polvo negro es un aspecto dentro de dicha problemática.

3.2.17 Alcance de las revisiones.

En este proyecto se revisaron 37 antecedentes bibliográficos, de los cuales 29 aportan información útil para entender la distribución del polvo negro en la comuna de Huasco. Varios antecedentes se relacionan con información de material particulado tanto sedimentable (MPS) como fino (MP10/MP2,5) así como con la presencia de altas concentraciones de Fe y V en el material que procesa la planta de pellets de Huasco.

En la tabla a continuación se entrega un resumen de los principales resultados contenidos en los antecedentes revisados. El detalle de la revisión se presenta en formato de fichas estandarizadas, contenidas en el **Anexo 1**.

Tabla 5. Identificación de las fichas de antecedentes y sus conclusiones útiles para el presente estudio.

Ficha	Cita	¿Utilidad para el estudio?	Conclusiones útiles para el estudio
1	González, S.A.; Stotz, W., and Lancellotti, D., 2014. Effects of the discharge of iron ore tailings on subtidal rocky-bottom communities in northern Chile. <i>Journal of Coastal Research</i> , 30(3), 500–514. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.	SI	Aporte información sobre efectos de las descargas de los relaves de procesos mineros en las comunidades submarinas de la costa de Huasco.
2	Informe de la Comisión Especial Investigadora de la Situación Ambiental del Valle del Huasco por los trabajos de Instalación del Proyecto Pascua Lama. Valparaíso, Chile, 2014	NO	No proporciona antecedentes relacionados directamente con el polvo de la comuna de Huasco.
3	Osvaldo Urrutia Silva, “Jurisprudencia nacional, nuevos Tribunales Ambientales y derecho internacional del medio ambiente”. <i>Revista de Derecho XL</i> [pp. 475 - 507]. Valparaíso, Chile, 2013,	SI	Aporta antecedentes respecto de la aplicación directa de una norma internacional sobre un particular (CMP) con el objeto de prevenir, reducir o controlar la contaminación del medio marino proveniente de fuentes terrestres.
4	Bernhard Dold, “On-Land or Submarine Tailings Disposal? – Pros and Cons. 2015. <i>Sustainable Mining Research & Consultancy</i> ”, Chile.	NO	No proporciona antecedentes relevantes al estudio.
5	CENMA, Caracterización física y química del material particulado en Huasco. Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco. Febrero 2006	SI	Los antecedentes del estudio proporcionan información relevante respecto del material particulado MP10 y polvo de la comuna de Huasco, que permiten conocer su composición y asociación de los constituyentes a potenciales fuentes de emisión.
6	Vásquez J.A., Matsuhira, B., Vega, M.A., Pardo, L.M. and Veliz, D. (2000) “The effects of mining pollution on subtidal habitats of northern Chile”. <i>Int J. Environment and Pollution</i> , Vol. 13. Nos 1-3. 000-000.	SI	El estudio proporciona información respecto de los efectos de relaves de minerías de Fe y Cu dispuestos en el mar. Estos antecedentes no se relacionan directamente con el polvo de la comuna de Huasco por lo que su utilidad es solo referencial y permite realizar asociaciones de la distribución de las fuentes contaminantes.
7	Dold Bernhard. 2014 “Submarine Tailings Disposal (STD)-A Review”. <i>Minerals</i> , ISSN 2075-163X.	SI	Aporte información sobre efectos de las descargas de los relaves de proceso mineros en las comunidades submarinas de la costa de Huasco.
8	RCA N° 215. 2010. Proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets"	SI	Proporciona información relevante respecto de los puntos de descarga de relaves mineros al mar, tratamiento de riles, residuos sólidos domésticos, residuos industriales no peligrosos, y residuos industriales peligrosos para las distintas fases de proyecto.
9	Rosas German. “Desarrollo Social de la Ciudad-Región”. <i>Revista de Psicología de la Universidad de Chile</i> . Vol. X N°2.	SI	Proporciona una mirada social del conflicto ambiental provocado por las actividades industriales
10	Durán Hernán. 1990. “Impacto ambiental de la minería en Chile: Balance preliminar”. <i>Ambiente y Desarrollo</i> . Vol VI; 65-76.	NO	No aporta información específica respecto del polvo negro.
11	CAP Minería. 2015. “Disposición submarina de relaves. La experiencia de CAP Minería. Ensenada Chapaco	SI	Proporciona antecedentes respecto de la inocuidad de los relaves dispuestos en el mar.

Ficha	Cita	¿Utilidad para el estudio?	Conclusiones útiles para el estudio
	1978-2015 “		
12	CAP. 2008. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LOS INDICADORES GRI AMBIENTALES	SI	El documento proporciona información referencial de los volúmenes de residuos, materias primas y materiales empleados por CMP durante los años 2008 y 2009 e informa de manera general algunos de los impactos ambientales provocados.
13	R. Imhof, M. Battersby, F. Parra, S. Sanchez-Pino. The Successful Application of Pneumatic Flotation Technology for the Removal of Silica by Reverse Flotation at the Iron Ore Pellet Plant of Compañía Minera Huasco, Chile. Brisbane, QLD, 6-9 June 2005	SI	Ratifica el valor de 68% de Fe en el mineral utilizado en la Planta de Pellets de Huasco
14	LILIAN RUIZ PINTO. Sociedad civil, Sistema de Gestión Ambiental y Empresariado Energético en un territorio socio-ambientalmente complejo. Una aproximación a la problemática de Huasco. Tesis para optar al título profesional de Socióloga. 2009. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Sociales. Departamento de Sociología	SI	El estudio es un análisis socioeconómico y ambiental de la zona de Huasco, se analizan las posturas de la comunidad respecto a la relación con la autoridad y las empresas en el valle. Estudio no aporta información específica respecto a polvo negro en Huasco. Se revelan los conflictos respecto de los temas ambientales. Se ratifica la percepción de la comunidad de que pertenecen a una zona contaminada.
15	Bravo M., Gallardo MA., Núñez P., Thiel M., Vásquez N (2008) Primer Muestreo Nacional de la Basura. Informe No publicado. Universidad Católica del Norte. Coquimbo. Chile 33 pp	NO	Encontró 0,3 unidades de basura por m ² en Playa Grande de Huasco, entre las más limpias del país.
16	Informe Proyecto FIC 2013. “Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica, II temporada, y prospección de las condiciones edáficas sobre el rubro olivícola, sector costero valle del Huasco” DICTUC 2013	SI	Corresponde a estudio del efecto producido por el material particulado en las plantaciones de olivos, realizaron distintos análisis para determinar el nivel de hierro presente en las hojas. El estudio muestra las mediciones de MPS de manera referencial y se postula que la forma de medir MPS del SAG en Huasco no es representativa y propone de acuerdo a la literatura un mejor método de muestreo realizando mediciones a distintas alturas. Se indica que el valor de Fe en el MPS ha disminuido ligeramente con el tiempo. Entrega valores de mediciones de MP2,5 para el verano de 2013. Entrega valores de composición del MP2,5. 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. Respecto a los elementos Ca, Fe, Mg y Al, tiene un comportamiento que, aunque no se puede asociar a la distancia respecto del complejo industrial, se puede observar, en forma consistente, que el huerto H6, sin manejos de lavado de plantas y a orillas de la línea del tren, presenta niveles consistentemente elevados de Ca, Fe y Mg, que son los elementos que componen en mayor proporción el MP emitido por la Compañía Minera del

Ficha	Cita	¿Utilidad para el estudio?	Conclusiones útiles para el estudio
			Pacífico en la producción y transporte de pellets. Los resultados indican que a lo largo del valle no existe una diferencia significativa entre huertos, lo que se podría explicar dado que, por una parte, el MP que se emite en la industria de las termoeléctricas en el puerto de Huasco es un material de menos tamaño y por lo tanto, tendría un alcance mayor y estaría cubriendo toda la zona del valle desde Vallenar a Huasco. Adicionalmente existe un aporte importante de MP a lo largo de todo el valle. El fierrillo (polvo negro) presenta una influencia en el pH, pero no generaría pérdidas en la calidad física o química, aunque sí impacta en la calidad sanitaria, sobre todo cuando las salmueras de fermentación, luego son reutilizadas para los envasados, por lo que el polvillo en suspensión podría quedar en el envase y llegar de esta forma a los consumidores.
17	Carolina Andrea Uribe Zazzali 2014 “El impacto social del proceso judicial contra la instalación de la termoeléctrica Castilla en la comunidad de Totoral” 2014	NO	El documento presenta un análisis de impacto social respecto a los conflictos de la comunidad con la termoeléctrica Castilla. El documento no aporta información respecto al polvo negro en Huasco, solo el análisis del conflicto de la comunidad.
18	REPÚBLICA DE CHILE COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE LA III REGIÓN DE ATACAMA, “Informe técnico final de la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto “Mejoramiento tecnológico para la producción de concentrados de minerales de hierro”, Compañía Minera del Pacífico. RCA N°35 del 11 abril 2001.	NO	El documento no entrega datos, ni metodologías de estudio respecto al polvo negro en el valle del Huasco. Se declara que la modificación tecnológica a implementar no generará emisiones atmosféricas. Documento acotado, respecto a información para el estudio.
19	REPÚBLICA DE CHILE COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE LA III REGIÓN DE ATACAMA, “RCA Minera Los Colorados”, Copiapó 28 de octubre de 2010	NO	El estudio se refiere a la Resolución de Calificación Ambiental de proyecto de ampliación para Minera Los Colorados Resolución Exenta N° 246 , se presentan medidas de mitigación y de gestión referenciales. El documento no aporta información respecto a monitoreo de calidad de aire, ni datos referentes a MPS. Las consultas realizadas por la autoridad son contestadas favorablemente.
20	Estudio impacto ambiental “EIA 952 Línea base medio físico” Ciudad De Huasco. RCA N° 40 de 28-07-1999	SI	El estudio entrega el resultado de mediciones de MPS realizadas el año 1997, presentadas en el estudio de impacto ambiental, nos entrega solo resultados, no explica metodología ni entrega datos de coordenadas de estaciones.
21	Estudio impacto ambiental “EIA 952 Línea base zona de riesgo” Ciudad De Huasco. . RCA N° 40 de 28-07-1999	NO	El documento entrega una matriz de impacto ambiental a nivel general, no entrega detalles sobre el polvo negro en Huasco, no es un gran aporte para este estudio.
22	Puerto las Losas. “Anexo 1 Estimación de emisiones y análisis de calidad del aire” DIA recepción y embarque de graneles minerales. Región de Atacama Chile. Diciembre 2014	SI	El estudio muestra el primer resultado entregado en la DIA, el cual fue cuestionado y posteriormente completado en otro anexo. El estudio aporta valores estimativos y referenciales, además de aportarnos coordenadas de medición de distintas estaciones utilizadas como puntos representativos.
23	Puerto Las Losas. “Anexo 5 Estimación de emisiones y análisis de calidad del aire” DIA recepción y embarque de graneles minerales. Región de Atacama Chile.	SI	El estudio aporta el resultado de las mediciones realizadas de MP10, MP2,5 y MPS y una modelación de contaminantes por medio del programa CALPUFF. Entrega además las coordenadas geográficas de las estaciones de MPS

Ficha	Cita	¿Utilidad para el estudio?	Conclusiones útiles para el estudio
	Agosto 2014		utilizadas para el monitoreo.
24	Puerto Las Losas “Anexo 2-3 Estimación de emisiones y análisis de calidad del aire”. Atacama Chile 2013	SI	El documento muestra el cálculo y la modelación atmosférica de las emisiones del proyecto en su etapa de construcción y operación, el estudio aporta datos de la literatura con las cuales se basaron los modelos predictivos.
25	Informe Proyecto FIC 2013. DICTUC 2013	SI	El documento proporciona información respecto a un monitoreo de neblina acida realizado el periodo 2012 – 2013, demostrando el efecto negativo que tiene en el desarrollo de las flores y su polinización, nos describe el método y análisis en el laboratorio en un ambiente controlado. Este estudio prueba la dispersión que tiene el material particulado por todo el valle
26	Natalia Castro Aravena, 2015. Manifestación e impacto capitalista en economías locales. Mundo Olivarero en la localidad rural de Huasco Bajo, III región de Atacama. Tesis para optar al grado de Licenciado en Antropología Social. Tesis para optar al título de Antropólogo. Universidad Academia de Humanismo Cristiano.	SI	Se presentan fotos del polvo negro en las hojas de los olivos. Se describe detalladamente el sector de Huasco Bajo en sus aspectos productivos, económicos y sociales. Se describe la evolución de los conflictos sociales por la presencia de las termoeléctricas, de la planta de Pellets y también por la escasez de agua, con las afectaciones productivas correspondientes. Se presentan datos de la producción de olivas en el sector. Se alude a la percepción de contaminación de la zona, histórica, que no se refleja en los estudios como ellos esperan.
27	L. Valderrama, J. Chamorro, B. Zazzali, A. Rodríguez, A. Díaz ESTUDIOS DE REACTIVOS PARA LA FLOTACIÓN DE SILICATOS CONTENIDOS EN CONCENTRADOS DE HIERRO Revista de la Facultad de Ingeniería UDA 28 (2012) 27-34	SI	Se indica que el material de alimentación de la Planta de Pellets tiene 67,97% de Fe y 0,30% de V. Esto equivale a 679.700 y 300 mg/kg respectivamente.
28	Puerto Las Losas. "Declaración de Impacto Ambiental recepción y embarque de graneles minerales". Región de Atacama. GAC Octubre-2013	SI	El estudio detalla las emisiones proyectadas en la ampliación del puerto, las que fueron declaradas en la DIA del proyecto. En el documento no se entregan resultados de mediciones ni se establece una caracterización de contaminantes. Datos sólo teóricos.
29	Informe Proyecto FIC 2013. DICTUC 2013. Capítulo 2	SI	Este estudio aporta información importante respecto a los efectos que produce el material particulado en la actividad agrícola de la zona y cómo este retrasa la fotosíntesis en los olivos. A través de un estudio en ambiente controlado, se determinó el efecto negativo que produce el polvo negro en las plantas de olivos, pero agregando además otros factores como la salinidad del suelo. Se presentan fotos de hojas de olivo cubiertas por polvo negro de hierro, al que llaman como “fierrillo”.
30	Informe Proyecto FIC 2013. DICTUC 2013. Capítulo 3.	SI	El estudio describe la evaluación de la condición edáfica de la zona en la que se producen los olivos del valle de Huasco, a partir de información georeferenciada de las unidades de suelos y sus características presentes en el valle desde Vallenar a Freirina, identificando las diferentes unidades de suelo descritas y un estudio acabado de las diferentes condiciones físico-químicas donde se

Ficha	Cita	¿Utilidad para el estudio?	Conclusiones útiles para el estudio
			desarrollan las plantas y sus limitantes agronómicas. Entrega resultados en varias calicatas que indican, entre otras condiciones, altas concentraciones de Cu, Fe, Mn y B en el suelo. Suelos salinos. Entrega los mapas de series de suelo para la zona de estudio. Este capítulo no describe el polvo negro ni el material particulado. Vincula el rendimiento agrícola con las prácticas agronómicas y, en segundo lugar, con la eventual exposición a la contaminación ambiental.
31	Compañía Minera del Pacífico. “Especificaciones técnicas para implementación de red de monitoreo material particulado sedimentable en cuenca Río Huasco”. Proyecto P-914 Informe final. CIMM Junio 1992	SI	El informe es útil para el estudio, ya que propone y describe un completo procedimiento para un monitoreo de MPS, con datos técnicos de equipos, referencias bibliográficas para cálculos, pautas para la determinación de puntos de muestreo, documentación para el manejo de datos.
32	Municipalidad de Huasco - Universidad de La Serena “Memoria Plan Regulador comunal de Huasco” Escuela de Arquitectura Universidad de La Serena. 2009.	SI	El documento describe vagamente el problema del polvo negro en Huasco, atribuyéndolo a la planta de Pellet que existe en el puerto. El documento describe completamente la zona de Huasco, sus usos de suelos, actividades en el sector, datos geográficos, meteorología, urbanismo, económicos, entre otros.
33	D.S. N°. 4 de 1992, del Ministerio de Agricultura. (D.O. 26.05.1992) Establece normas de calidad del aire para Material particulado sedimentable en la Cuenca del río Huasco III región	SI	La norma entrega los valores máximos permitidos para material particulado sedimentado y explica el modo y el tiempo de monitoreo para que el mismo sea representativo
34	CONAMA. “Informe Técnico Declaración Zona latente por MP-10 en Huasco III Región”. Copiapó Septiembre 2010.	SI	Este documento entrega los datos de las mediciones de MP-10, con las cuales se decretó la zona latente en el Huasco, además de aportar a la caracterización geográfica de la zona y antecedentes normativos.
35	Norma 1040270. Decreto 40. DECLARA ZONA LATENTE POR MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10, COMO CONCENTRACIÓN ANUAL, A LA LOCALIDAD DE HUASCO Y SU ZONA CIRCUNDANTE. Santiago, 15 de noviembre de 2011.	SI	Este informe aporta la referencia de que el sector de estudio fue declarado como zona latente de PM10.
36	CENMA. “Informe Polvo y Suelo, Huasco, muestras tomadas 2 de abril 2014”. Santiago 2014.	SI	El informe entrega datos de un muestreo realizado en 2014, los cuales sirven de referencia y para realizar una comparativa con resultados futuros. El informe aporta además una descripción de los efectos de algunos contaminantes, que en altas concentraciones pueden ser dañinos para la salud de las personas, entre ellos el vanadio.
37	Alessandra Fortuna Neves. (2005). “Vanadio no material particulado atmosférico na regio de resurgencia de Cabo Frio –RJ.”. Niterói.	SI	Los antecedentes del estudio nos proporcionan ejemplos para una caracterización de material particulado, entregando información bibliográfica que muestra el aumento de las concentraciones de Vanadio en la atmosfera debido a una condición natural y no a una intervención antropogénica.

Fuente: LQA CENMA

3.2.18 Conclusiones parciales de los antecedentes disponibles.

Los antecedentes revisados, permiten concluir lo siguiente:

- La compañía CAP Minería ha trabajado en la ciudad de Huasco durante más de 30 años.
- La compañía CAP Minería en su Planta de Pellets procesa y transporta un material sólido que contiene aproximadamente 67,97% de Fe y 0,30% de V. Esto equivale a 679.700 y 300 mg/kg respectivamente.
- El V es un metal que presenta toxicidad para las personas en altas concentraciones.
- La presencia de polvo negro en hojas de olivos en el valle del Huasco (descrito reiteradamente como fierrillo) ha sido documentada en estudios realizados en la zona.
- Referencialmente, el polvo negro llega hasta la localidad de Vallenar.
- La zona de estudio ha sido declarada latente por norma anual de MP10.
- Numerosos estudios y modelaciones dan cuenta de que el material particulado fino puede llegar al interior del valle del Huasco.
- Numerosos estudios dan cuenta de los conflictos ambientales y sociales que se presentan en la comuna de Huasco, especialmente en la ciudad y en el valle.
- Las personas perciben que viven en una zona contaminada.
- El estudio realizado en 2012-2013 por el DICTUC en el valle del Huasco (descrito en las Fichas 25, 29 y 30), considera que la medición de MPS que se efectúa en el valle no es metodológicamente correcta y que debiera tomarse muestra a mayor altura de la que se hace ahora.



OBJETIVO 2: CARACTERIZACIÓN DEL POLVO NEGRO PRESENTE EN LA COMUNA DE HUASCO EN BASE A INFORMACIÓN EXISTENTE Y REALIZACIÓN DE MUESTREOS.

3.3 Campañas de muestreo.

Se realizaron cuatro campañas de toma de muestra. Para cada una de ellas se elaboró un Plan de Muestreo que describe las actividades a realizar en terreno (**Anexo 2**).

Todas las muestras fueron transportadas e ingresadas al trabajo del Laboratorio de Química Ambiental siguiendo los protocolos estandarizados habituales utilizados para estos fines. En la tabla a continuación se presenta la cantidad de muestras obtenidas por cada una de las matrices ambientales.

Los valores individuales de cada uno de los análisis se entregan en los Informes de Laboratorio (**Anexo 3**).

Tabla 6. Cantidad de muestras obtenidas por campaña para cada matriz ambiental.

Matriz ambiental	Cantidad de muestras					Total de muestras	Muestras comprometidas	Porcentaje de cumplimiento
	Campaña 1 Octubre/ 2015	Campaña 2 Noviembre/ 2015	Campaña 3 Diciembre/ 2015	Campaña 4 Enero/ 2016	Campaña 5 Febrero/ 2016			
Suelo superficial	23	21	2	-	5	51	50	100%
Sedimento	3	-	21	-	-	24	20	120%
Agua superficial	6	2	34	-	-	42	40	105%
Biota	10	1	-	19	-	30	30	100%
Polvo depositado	16	13	-	20	-	49	50	98%
Material Particulado Sedimentable (MPS)	-	-	15	15	15	45	45	100%
Suelo background	-	-	-	-	41	41	15	273%

Fuente: LQA CENMA

3.4 Material Particulado Sedimentable (MPS)

3.4.1 Instalación de muestreadores para coleccionar muestras de MPS.

Entre los días 27 y 28 de 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°4/1992 que "Establece Normas de Calidad de Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del río Huasco, III Región" y la Resolución N° 099 SAG III Región. Los planos de fabricación del colector MPS corresponden a los descritos en el Informe "Especificaciones técnicas para implementación red de monitoreo material de polvo sedimentable en cuenca de Río Huasco", realizado por el CIMM. Los equipos fueron instalados por personal de CENMA, con entrenamiento en esta actividad, cubriendo la zona urbana y rural de la comuna de Huasco, así como las comunas aledañas de Freirina y Vallenar. Todos los equipos se mantuvieron funcionando hasta el 25 de febrero de 2016.

Cada uno de los muestreadores consiste en un contenedor de acero inoxidable de 50 cm diámetro, es decir un área de deposición de aprox. 0,2 m². El colector se monta en una estructura de acero, tipo trípode, a una altura de 1,5m. La estructura cuenta con una armazón contra pájaros. El contenedor de acero tiene un fondo cónico que termina en una perforación que permite recolectar el polvo sedimentable en una botella plástica, mediante el arrastre o limpieza con agua destilada de las paredes del contenedor.

CENMA utiliza 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 para este ensayo (ILQAA-0001, ILQAA-002 y PLM-CA-012_Rev1). Según se describe en la Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), los contenedores que van insertos en los colectores, son de plástico inerte, con capacidad de 2,5L y fueron rotulados con un único número identificador. La obtención de las muestras de MPS se realizó en tres campañas, cuya información operativa se entrega a continuación:

Tabla 7: Información operativa resumida de las campañas de MPS.

N° Campaña	Fecha instalación muestreadores MPS	Fecha recolección muestra MPS	Mes muestreado
1	27-28 Noviembre/2015	28-29 Diciembre/2015	Diciembre-2015
2	28-29 Diciembre/2015	25-26 Enero/2016	Enero-2016
3	25-26 Enero/2016	23-25 Febrero/2016	Febrero-2016

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan los detalles de los sectores donde se instalaron los diferentes equipos.

Tabla 8: Ubicación de los muestreadores de MPS instalados para la ejecución de este proyecto.

N°	Punto de instalación	Coordenada UTM WGS 84 Huso 19 sur		Sector	Contacto	Observaciones del sector
		Este	Norte			
MPS-1	Dirección Miramar 525. Huasco	281694	6849230	Huasco Ciudad	Sr. Miguel Marambio	
MPS-2	Escuela Básica Mireya Zuleta Astudillo	282446	6849304	Huasco Centro	Marta Victoria Ruz Pérez. Directora General. Mail: direccionmizua@gmail.com Fono (051)2531001. cell 68356877. Dirección Calle meastranza esq. Craig	Escuela Básica Mireya Zuleta Astudillo
MPS-3	Estación Sívica	282765,96	6848692,3	Huasco Urbano	Eva Barraza Honores. Cel: 903700219, Luiz Barraza cel: 83021994	
MPS-4	Estación N° 4 del SAG	286148,37	6848650,19	Huasco Bajo	Robinson González (payantume@gmail.com. Sector Bellavista. Cell 93271887	Estación segura. Se gestionó con el dueño
MPS-5	Hacienda Olivos Centenarios	286290,07	6849488,67	Huasco Bajo	Sra. Daisy Rojas cel: 68671149	Lugar seguro Parcela Los Guindos, callejón La Cachina casa con letrero
MPS-6	Estación N° 6 del SAG	287891,34	6848762,9	La Arena	Viviana Ramos cel: 72156549, 51-2531495	Estación segura, ya se gestionó con la Sra Viviana.
MPS-7	Olivícola Quinta Miramar	288515,07	6847542,57	El Pino	Manuel Gonzalez Aguirre 98160166, 51-2539045	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	Benjamín González cel: 85909402	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	Juan Cisterna hija Doralisa Cisterna	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	Maria Eugenia Silva, Cel 512612488 mail: megodoy.silva@gmail.com	Muy cerca de la línea del tren y carretera, se gestionó con la directora la instalación del muestreador.
MPS-11	Freirina	296433	6844832	Freirina	Guastavo Gutierrez, mail guesroca@gmail.com, Dirección Condell 315, Freirina	
MPS-12	Los Guindos	297348,08	6844463,37	Los Guindos	Sebastian Callejas cel: 85952029 (dueño casa	Casa blanca grande segura. Se se conversó con el dueño y estaría de

N°	Punto de instalación	Coordenada UTM WGS 84 Huso 19 sur		Sector	Contacto	Observaciones del sector
		Este	Norte			
					blanca)	acuerdo.
MPS-13	Fundo Totorá Lote 1-A	309426,75	6843345,75	Freirina	Sra. Edith Sotomayor cel: 95197060	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	Pedro Sotomayor mail: pedro.sotomayor@uda.cl	Paseo Peatonal cercano a carretera que va de Vallenar a Huasco
MPS-15	Sector Rinconada Las Pavónas	324920,07	6839089,82	Vallenar	Yamil Espinoza León, Cell 66214840	

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta la ubicación relativa de cada muestreador respecto de algunos de los puntos de interés en la zona, para los objetivos del proyecto:

Tabla 9: Distancia y posición relativa de los diferentes muestreadores respecto de puntos de interés para el proyecto: la línea del tren, carreteras, la costa, el río Huasco, Península Chapaco, Península Guacolda, depósito temporal de carbón al lado de la carretera.

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

Fuente: Elaboración propia.



En el **Anexo 4** se presentan las fotos con los equipos instalados y de sus entornos respectivos, junto con mapas referenciales de ubicación. En la Ilustración 33 se presenta la distribución espacial de las equipos para determinar el MPS.

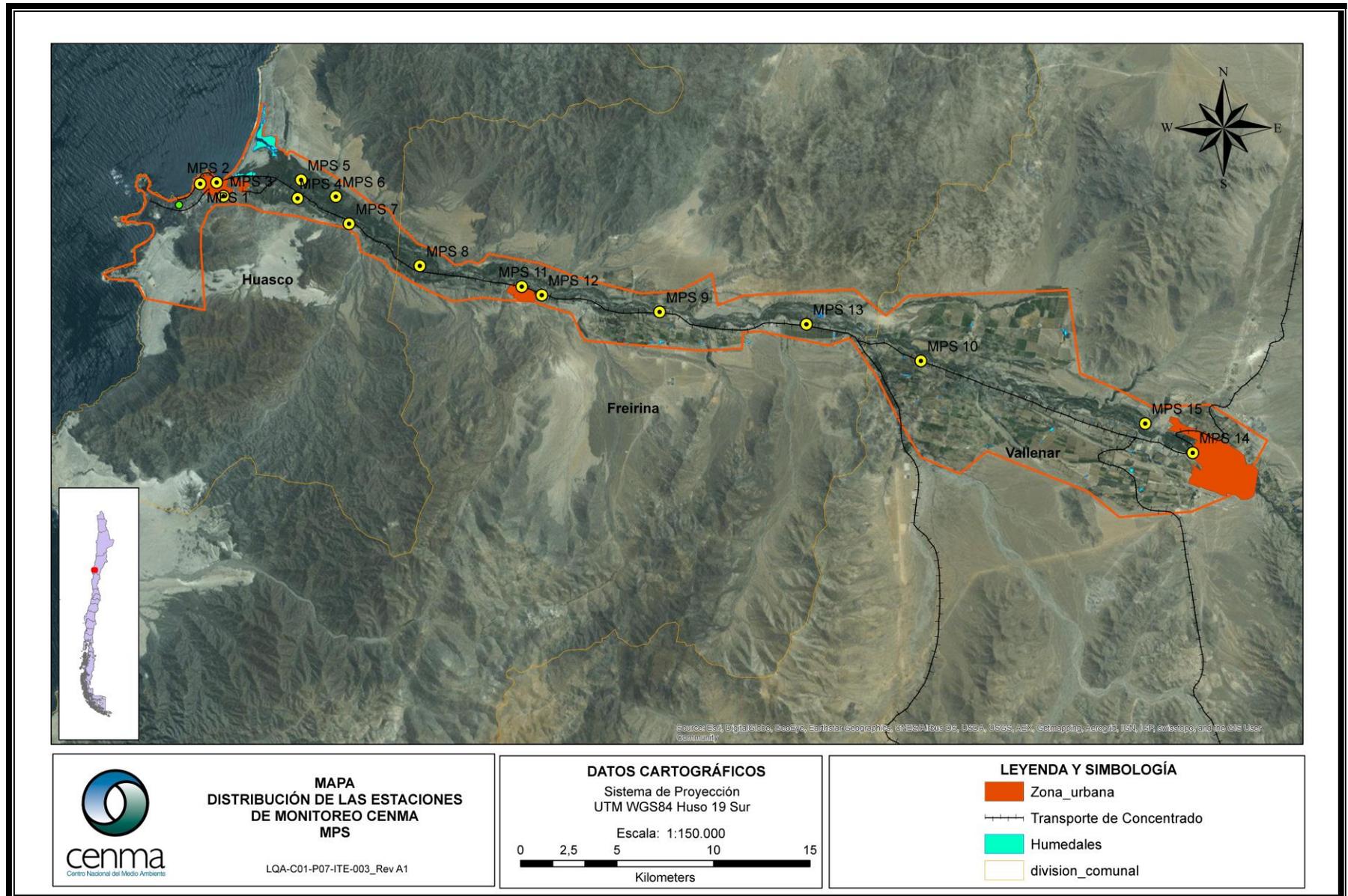


Ilustración 33: Mapa con la ubicación de todos los muestreadores de MPS instalados por CENMA para este estudio, desde Huasco hasta Vallenar.
Fuente: LQA CENMA

3.4.2 Material Particulado Sedimentable (MPS) en la zona de estudio.

En la tabla a continuación se presentan los resultados de la cantidad de material particulado sedimentable (MPS) en los muestreadores ubicados en la zona de estudio.

En el Punto 2 (Escuela Básica Mirella Zuleta - Huasco), la muestra correspondiente al mes de diciembre/2015 fue contaminada, encontrándose en la misma una gran cantidad de tierra, lápices, basura, lo que presumiblemente se debe a que los niños usaron el colector como blanco para juegos, dañando la muestra.

Para el resto de los lugares, se obtuvieron muestras en buen estado, que fueron analizadas sin complicaciones adicionales. Desde el punto de vista cualitativo, varias de las muestras presentaron aspecto aceitoso y dificultades para la filtración, lo que puede vincularse con la presencia de carbón en el polvo negro.

Tabla 10: Concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) insoluble, soluble y total en los 15 puntos donde se instalaron equipos para colectar 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 Sívica - 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

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 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
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 Totora - 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

Fuente: LQA CENMA

El Decreto Exento N° 4 de 1992³⁰ (Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del Río Huasco), establece como norma secundaria de Material particulado sedimentable 150 mg/m²/día como concentración media aritmética mensual, la

³⁰ Disponible en http://www.leychile.cl/Navegar/index_html?idNorma=95904



que se calcula promediando los resultados obtenidos en todos los muestreadores ubicados en la zona de estudio. De este modo, se calcularon los valores promedio de MPS insoluble en toda la cuenca, para los meses de diciembre/2015, enero/2016 y febrero/2016.

Tabla 11: 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 Sivica - 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

Los promedios obtenidos (65,6; 111,6 y 107,2 mg/m²/día) no superaron el valor promedio mensual de 150 mg/m²/día establecido en el Decreto Exento N° 4 de 1992 del Ministerio de Agricultura. No obstante, algunos muestreadores presentaron valores superiores a este límite, lo cual parece deberse a situaciones específicas que requieren investigaciones más detalladas.

En la siguiente figura se presentan todos los resultados de MPS insoluble [mg/(día· m²)]. En la mayoría de los lugares no es posible identificar un patrón específico, excepto en el Punto identificado como MPS-1 donde se evidencia un aumento desde el mes de diciembre/2015 hasta el mes de febrero/2016.

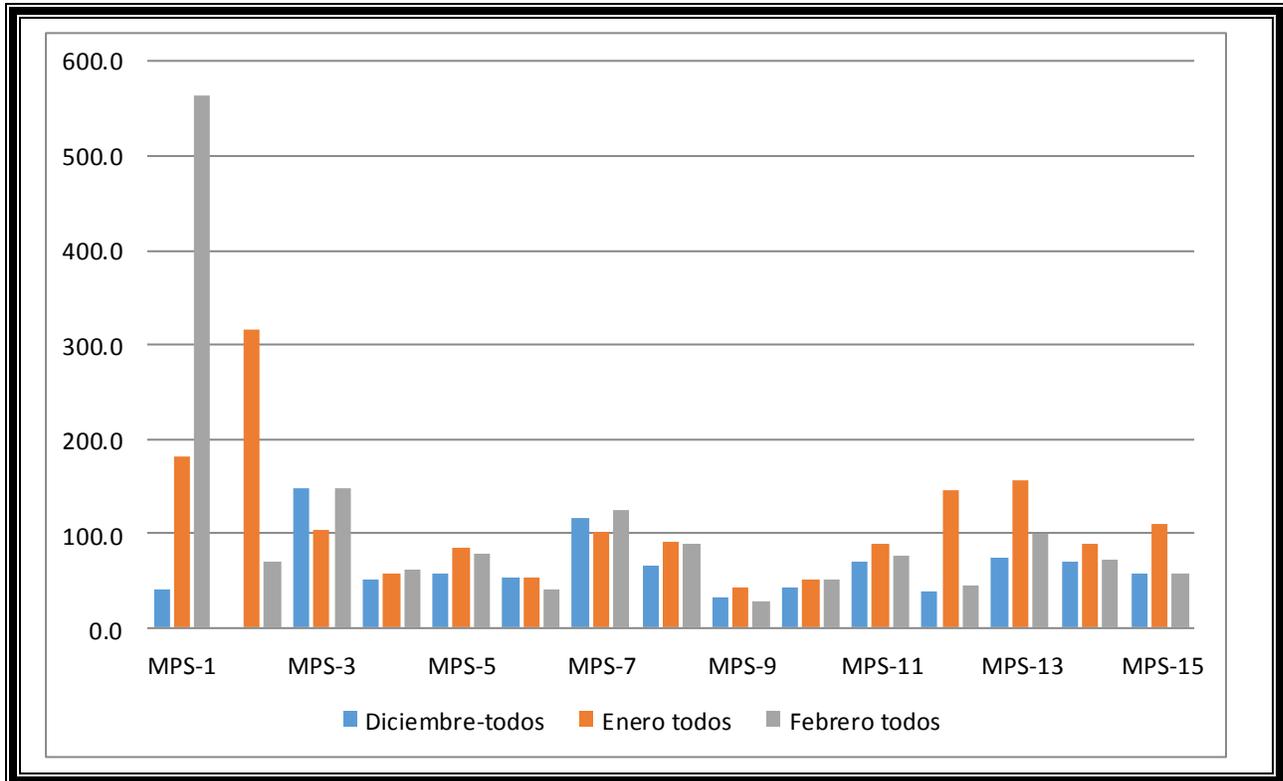


Ilustración 34: Resultados de MPS insoluble [mg/(día· m²)], en los 15 puntos de muestreo contenidos en este estudio.

Fuente: LQA CENMA

3.4.3 Metales pesados en Material Particulado Sedimentable (MPS)

En el **Anexo 5** se presentan los resultados de concentración de metales en la fracción insoluble y en la fracción soluble del MPS, para todas las muestras de este estudio.

En las siguientes ilustraciones se puede apreciar la distribución espacial de los metales pesados (Cd, Fe, Mn, Cr, Cu, Pb, V y Ni) presentes en la fracción insoluble de las muestras de MPS, para cada una de las tres campañas de muestreo realizadas en el presente estudio.

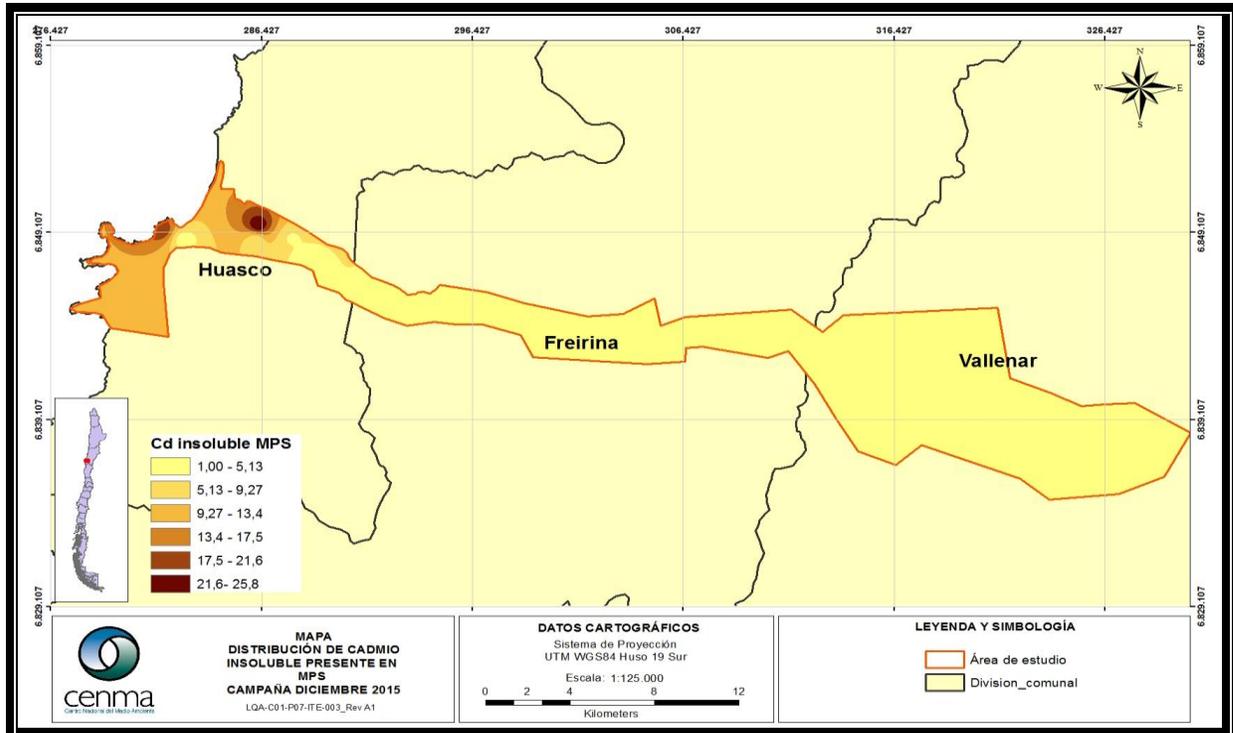


Ilustración 35: Distribución de Cd (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

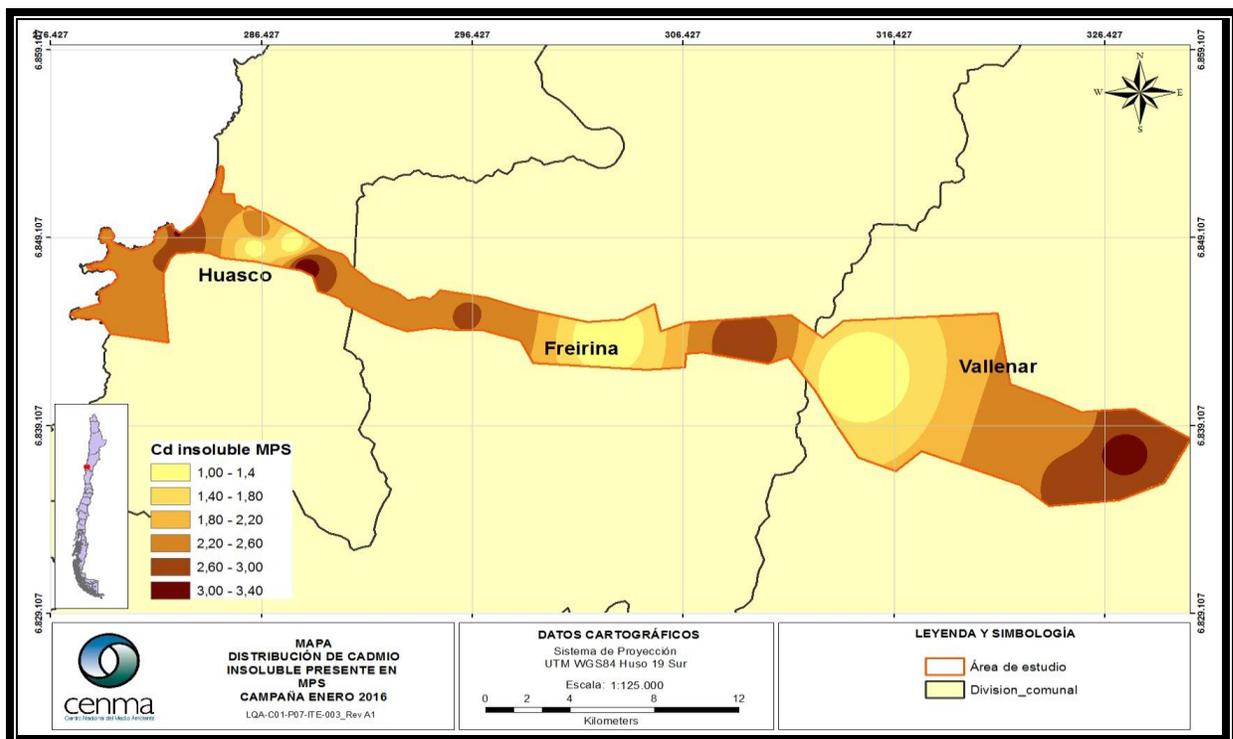


Ilustración 36: Distribución de Cd (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

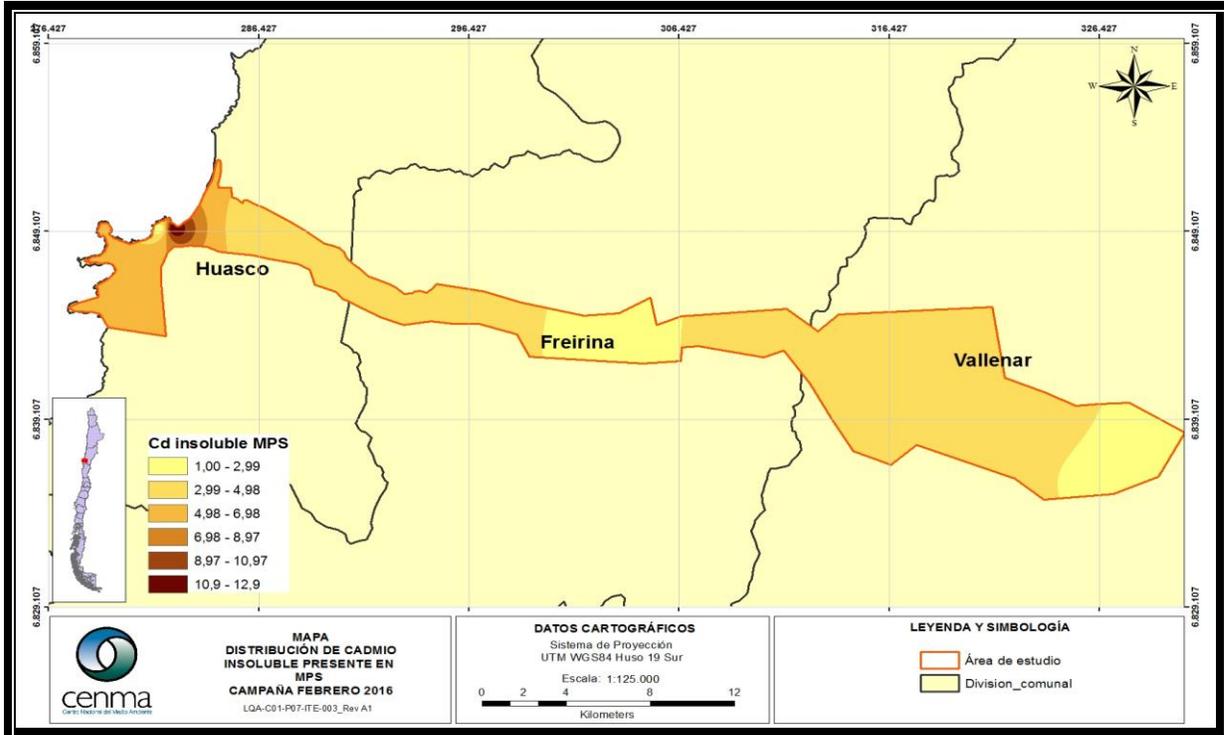


Ilustración 37: Distribución de Cd (mg/kg) en MPS para febrero 2016.
 Fuente: LQA CENMA

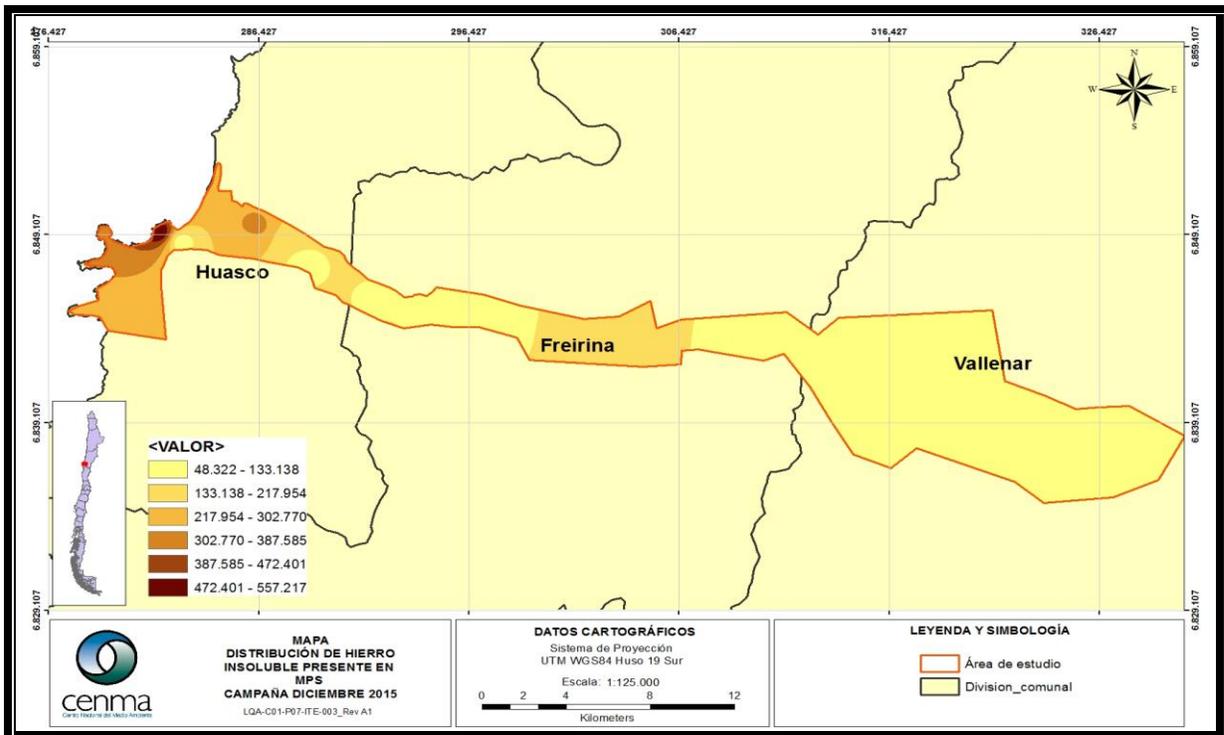


Ilustración 38: Distribución de Fe (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

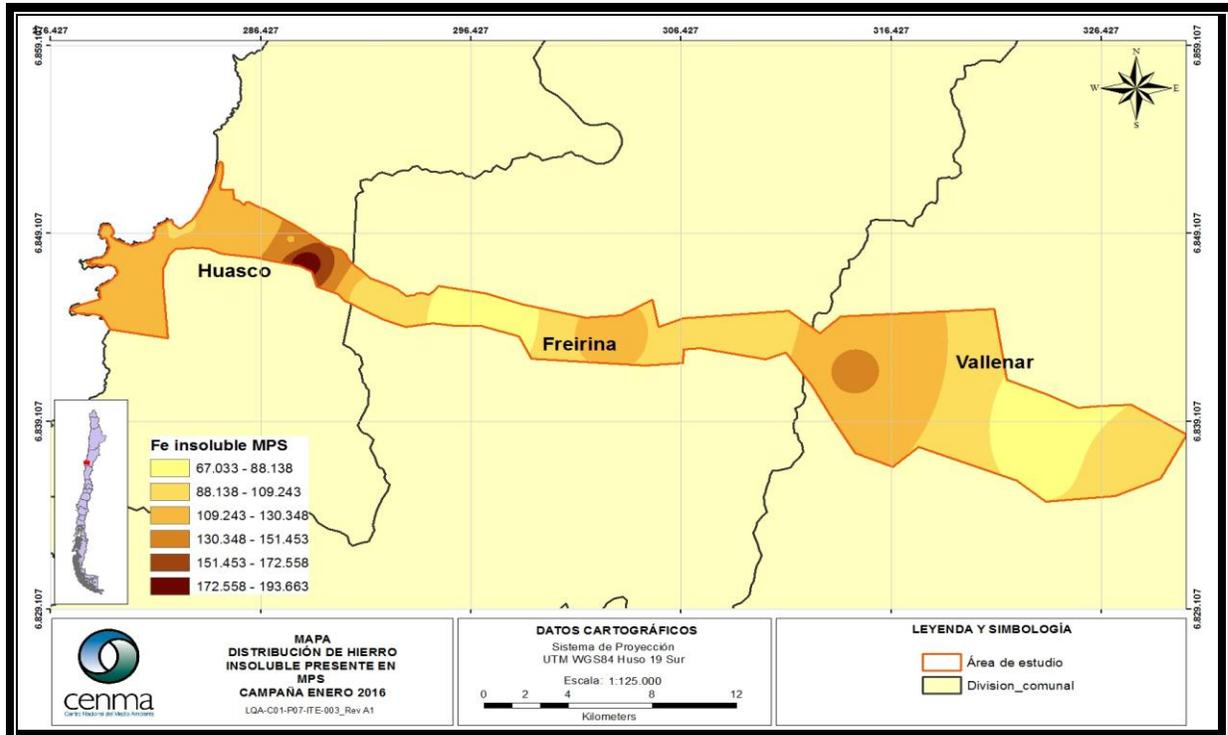


Ilustración 39: Distribución de Fe (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

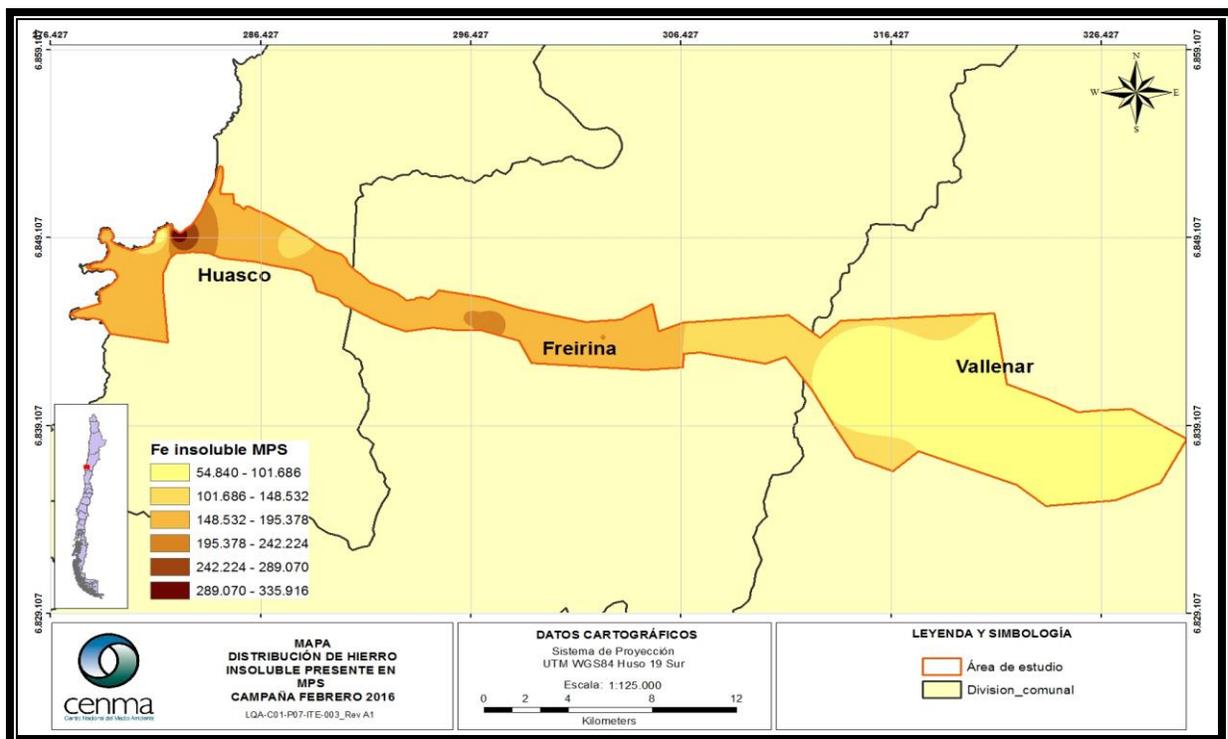


Ilustración 40: Distribución de Fe (mg/kg) en MPS para febrero 2016
 Fuente: LQA CENMA

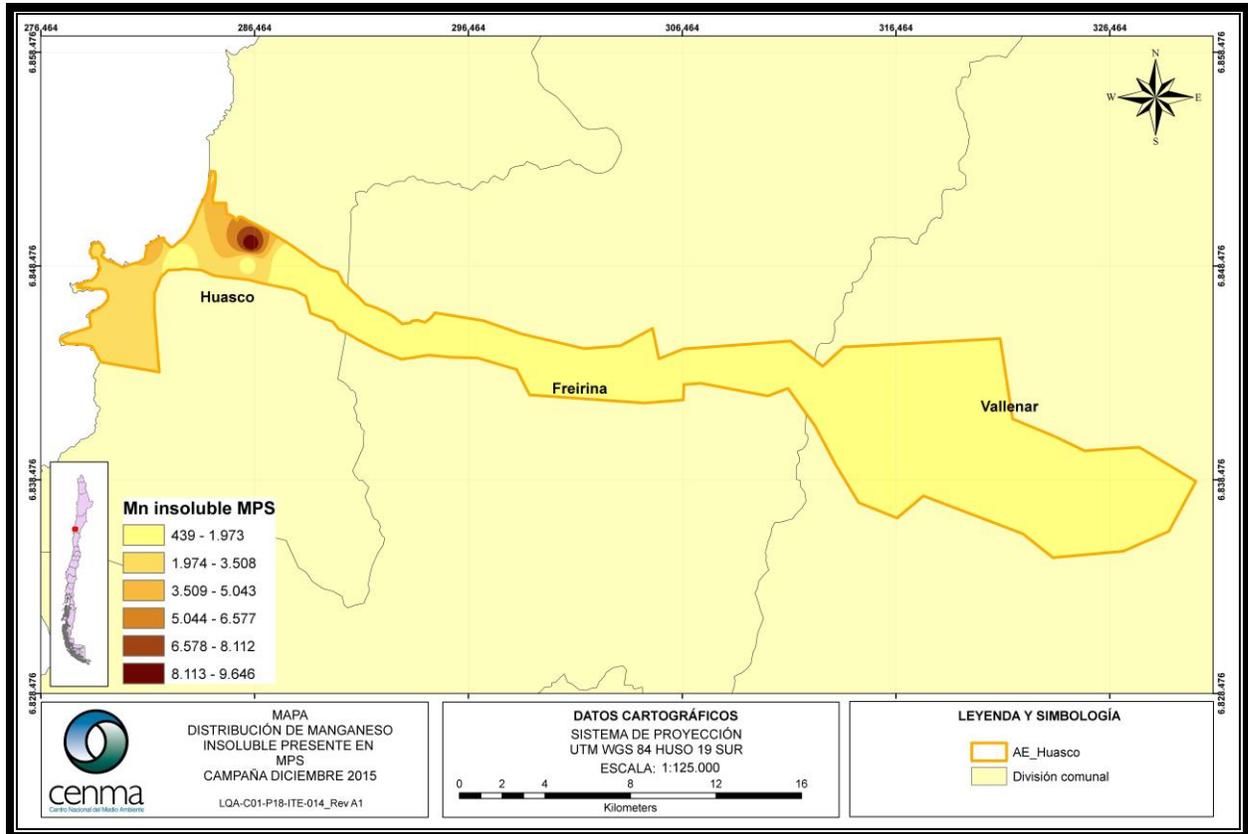


Ilustración 41: Distribución de Mn (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

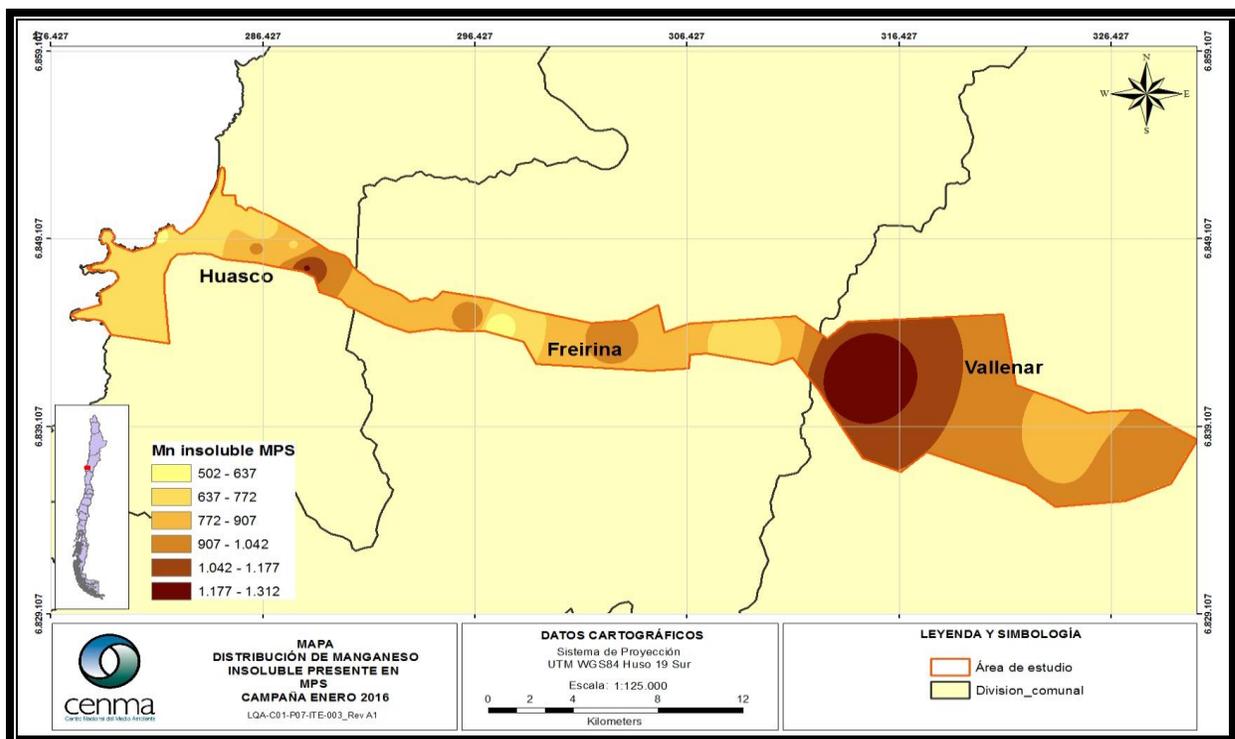


Ilustración 42: Distribución de Mn (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

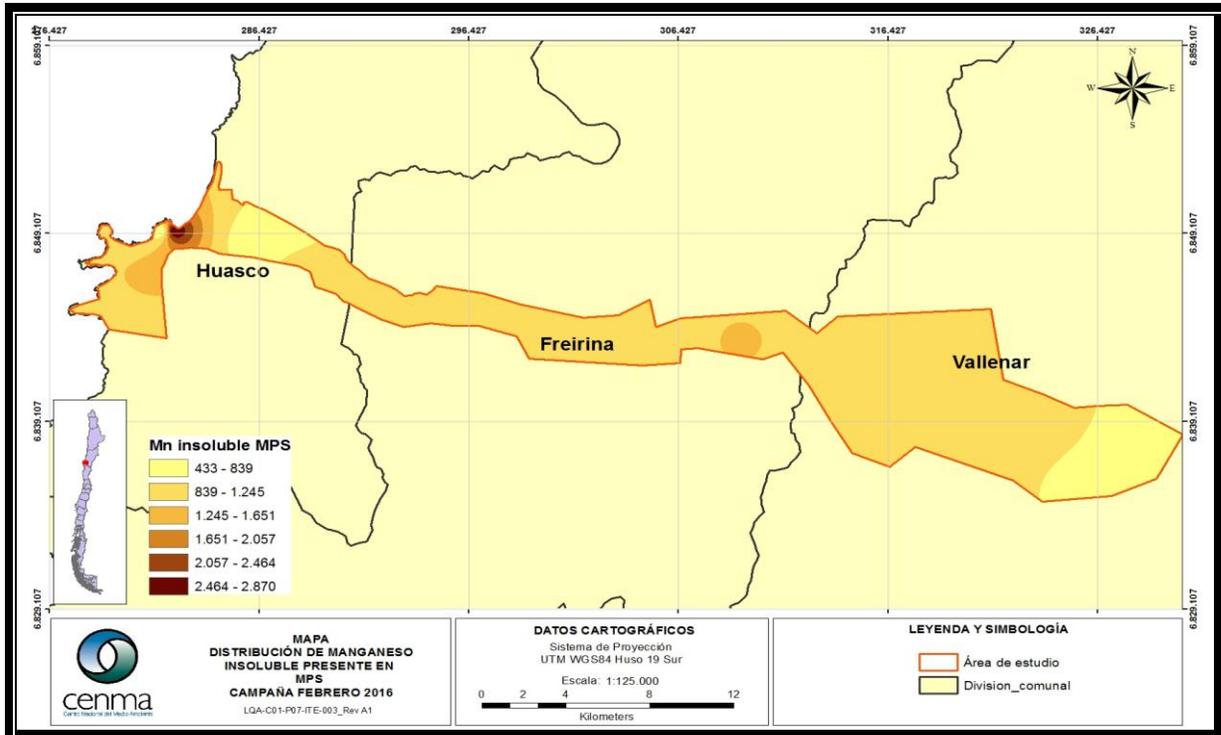


Ilustración 43: Distribución de Mn (mg/kg) en MPS para febrero 2016
 Fuente: LQA CENMA

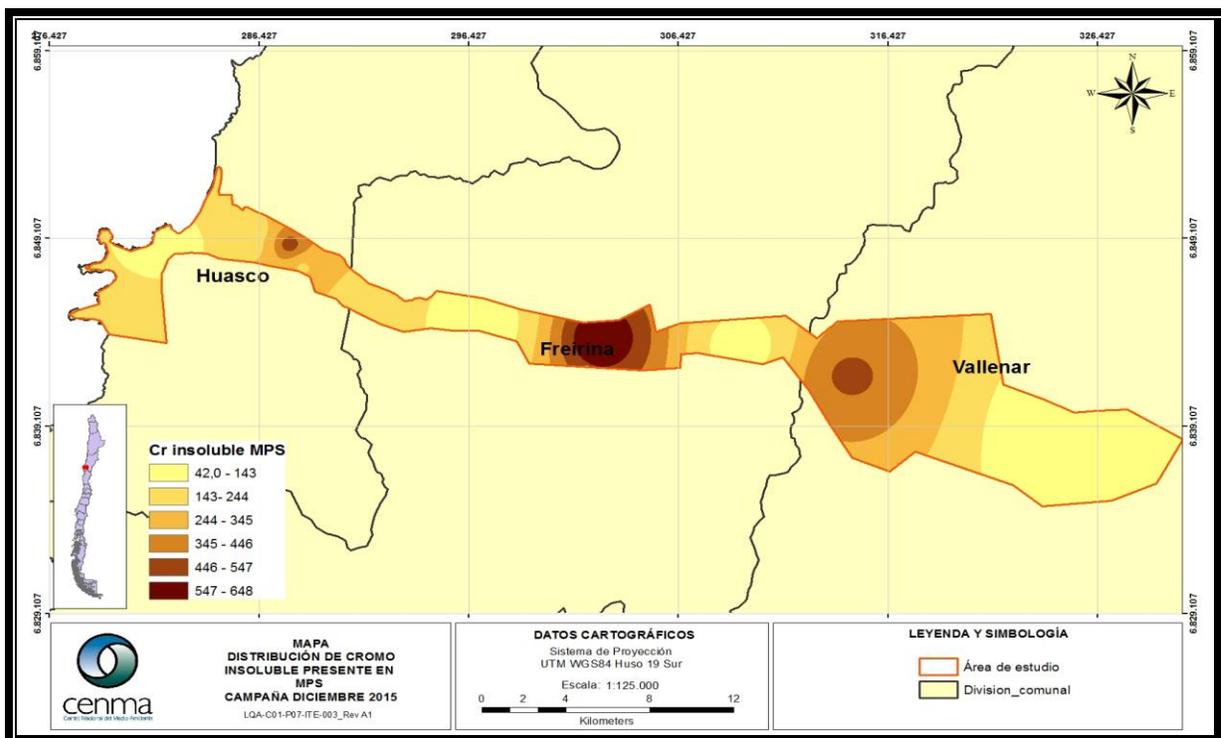


Ilustración 44: Distribución de Cr (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

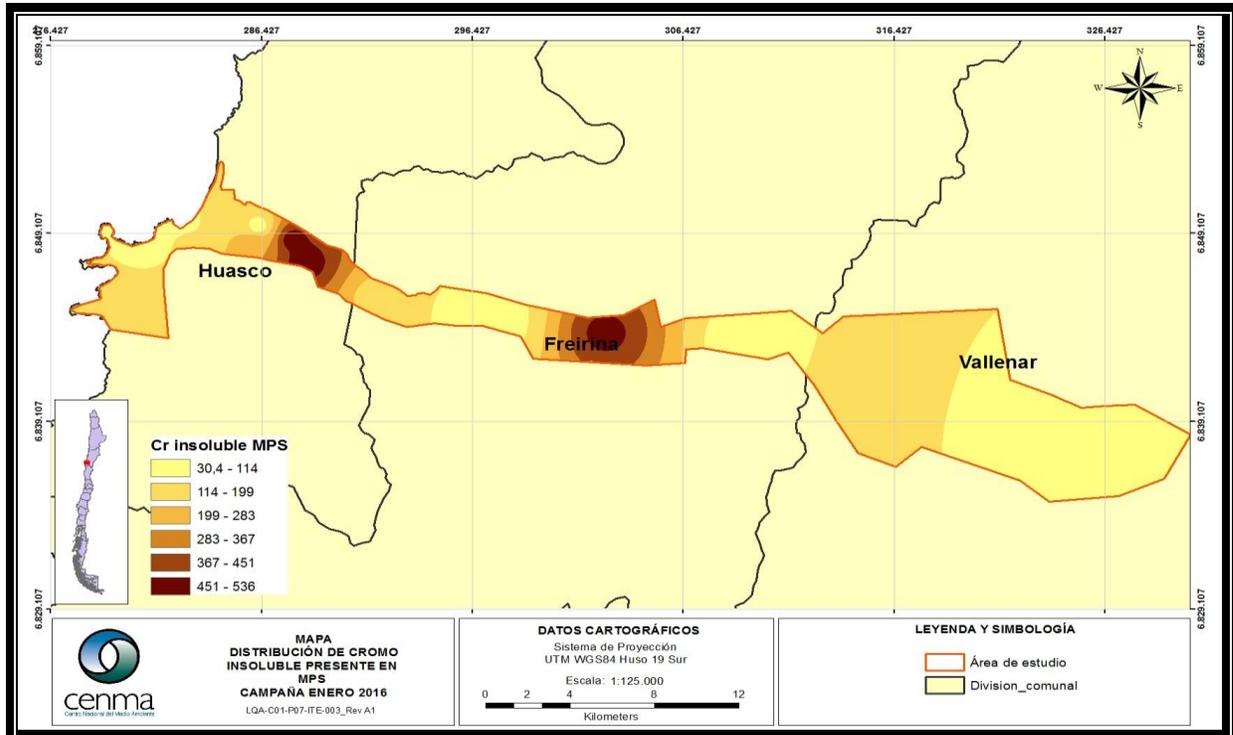


Ilustración 45: Distribución de Cr (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

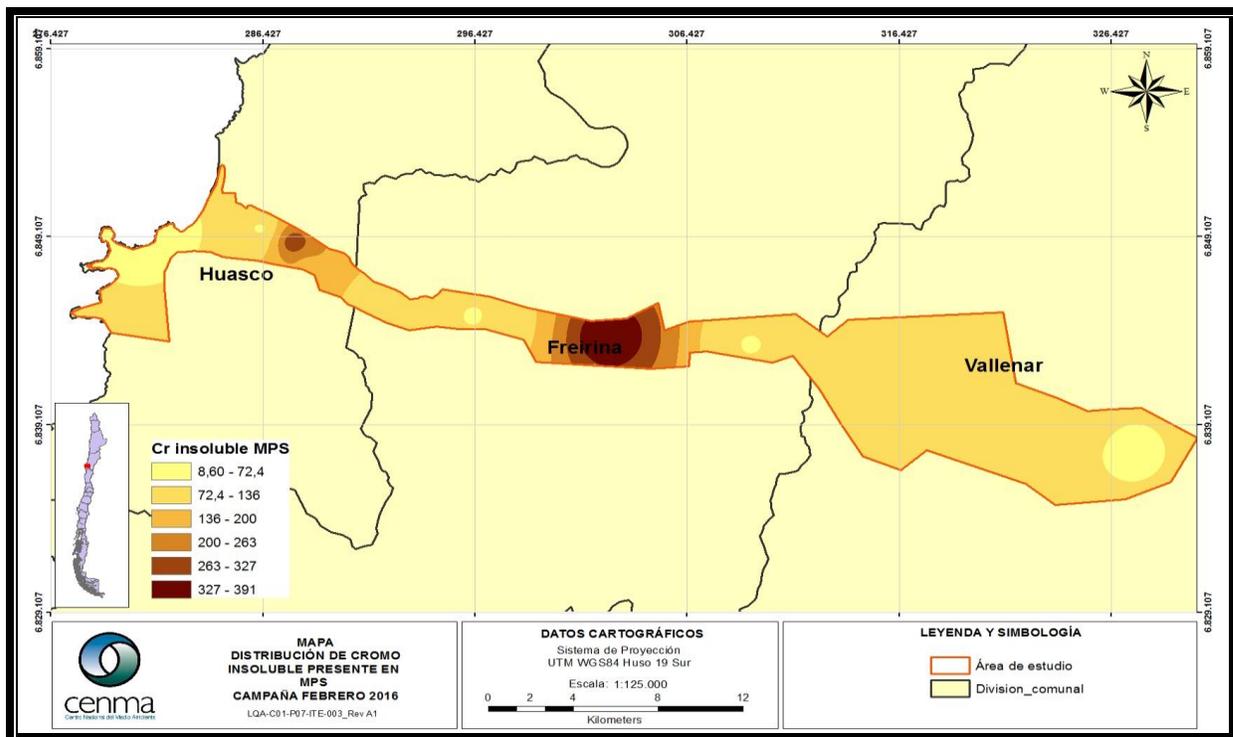


Ilustración 46: Distribución de Cr (mg/kg) en MPS para febrero 2016
 Fuente: LQA CENMA

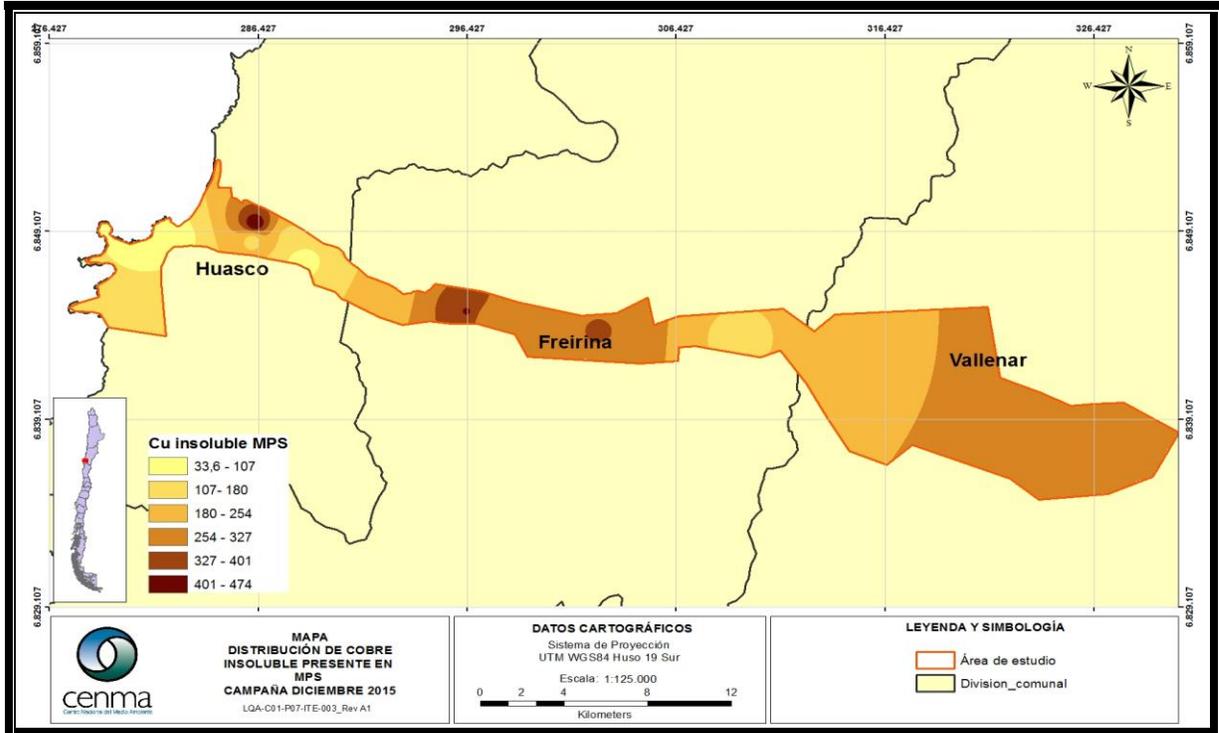


Ilustración 47: Distribución de Cu (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

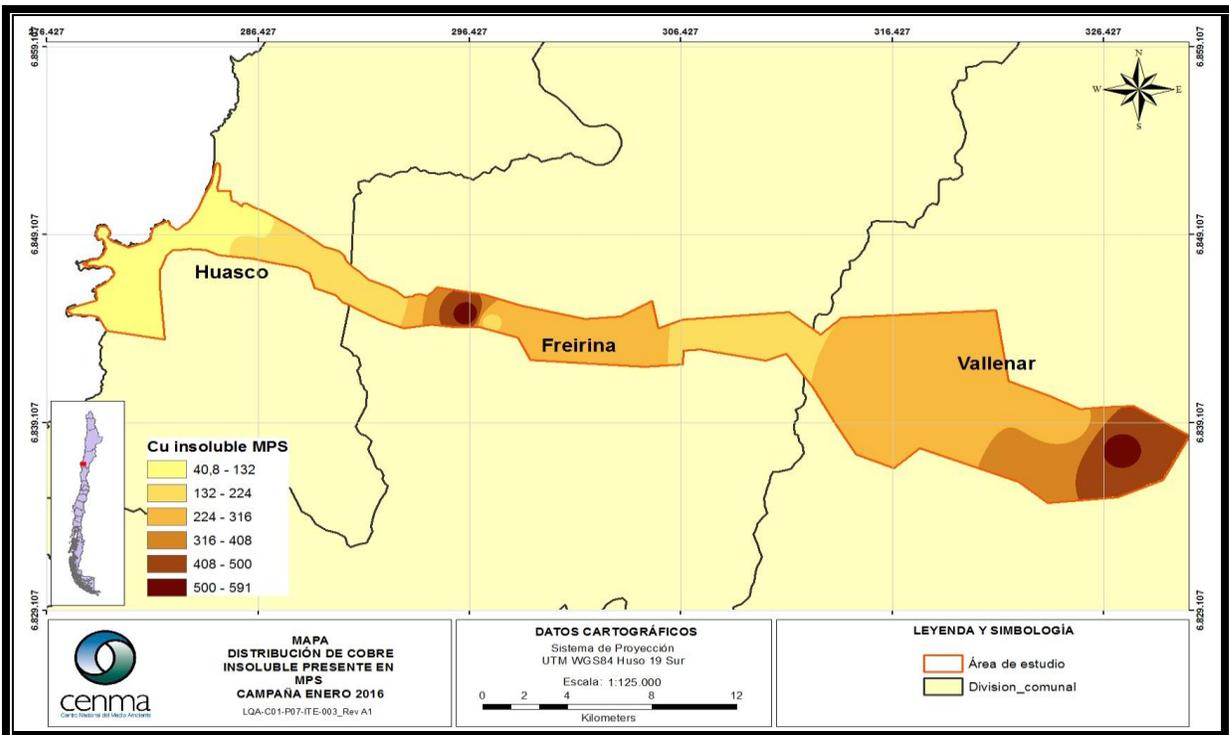


Ilustración 48: Distribución de Cu (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

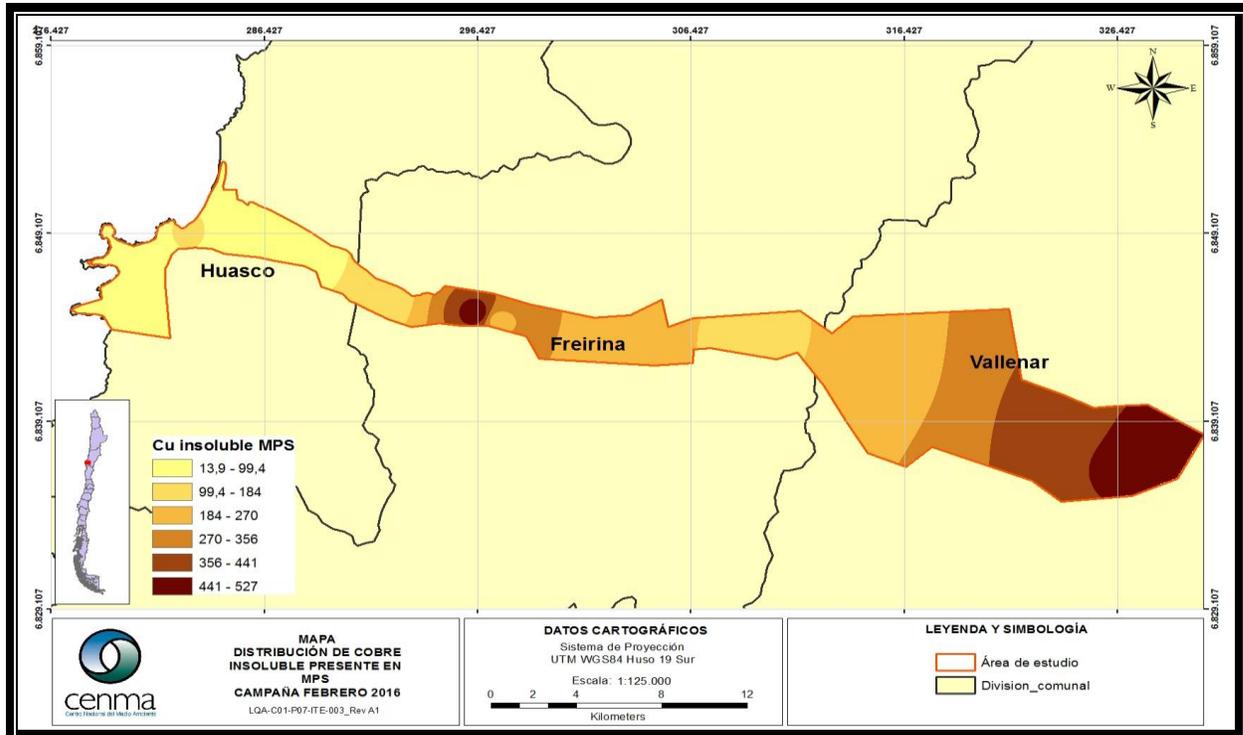


Ilustración 49: Distribución de Cu (mg/kg) en MPS para febrero 2016
 Fuente: LQA CENMA

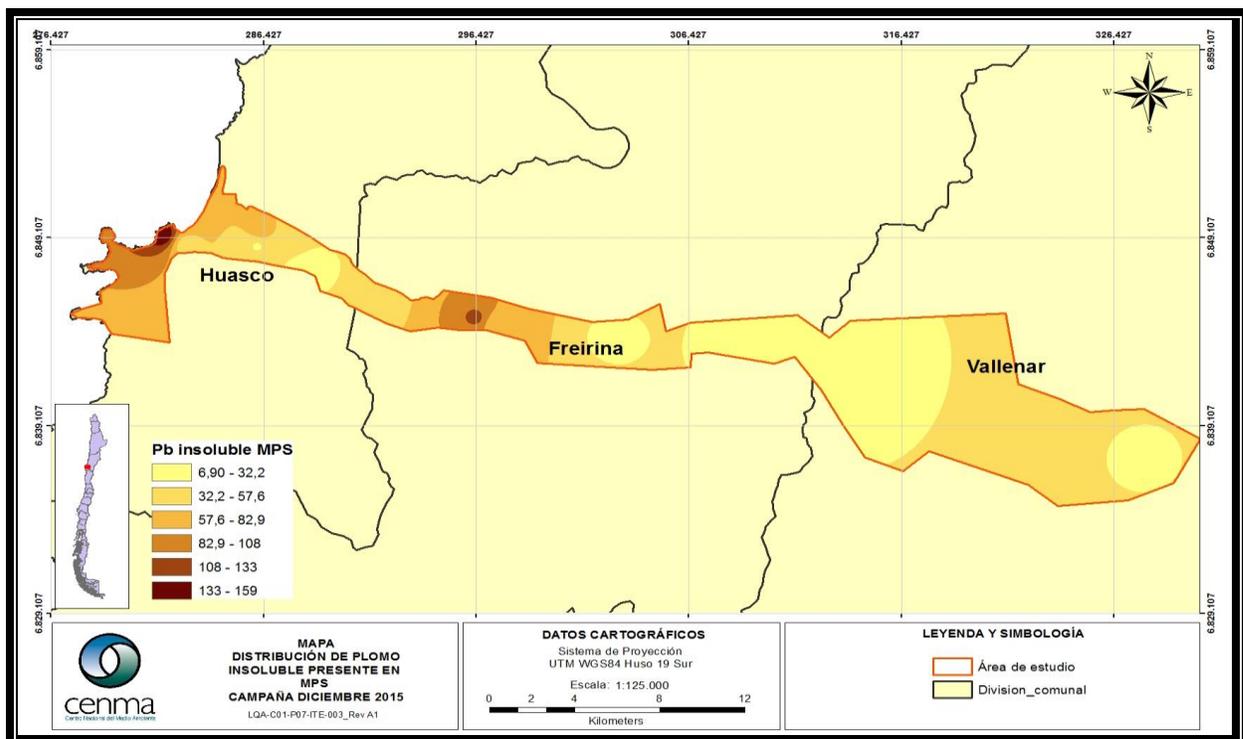


Ilustración 50: Distribución de Pb (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

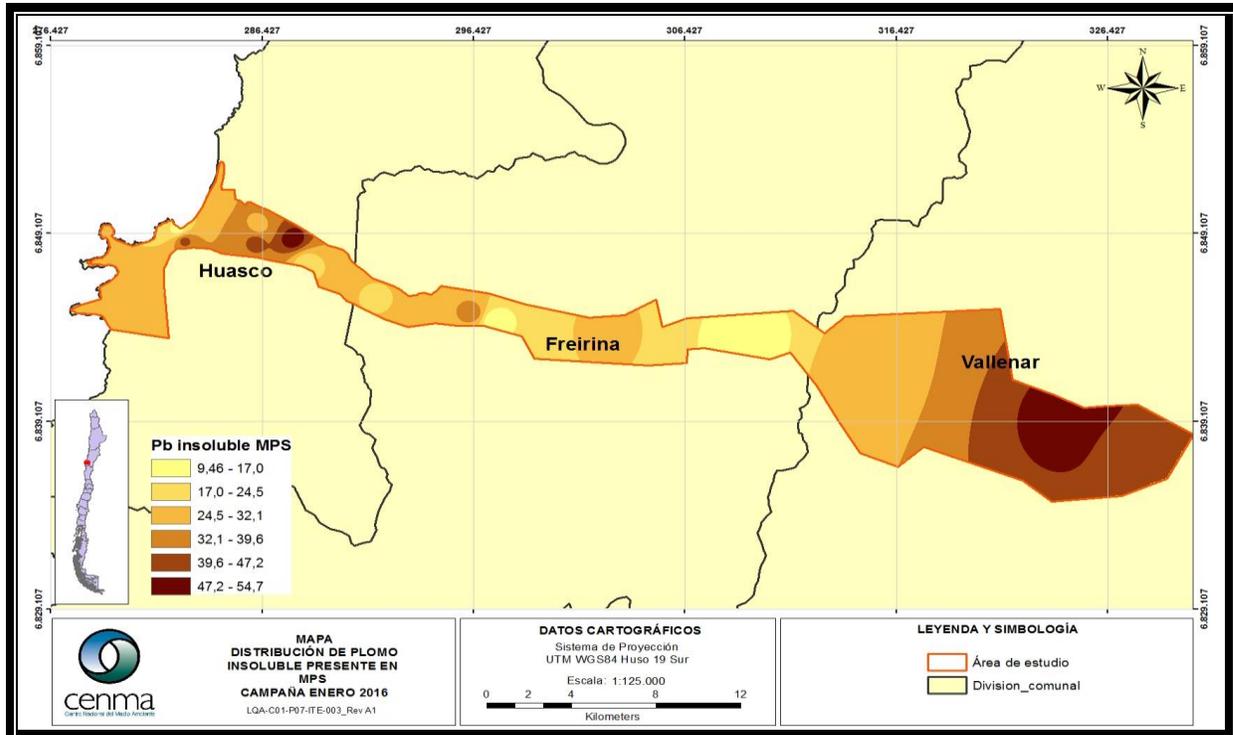


Ilustración 51: Distribución de Pb (mg/kg) en MPS para enero/2016
 Fuente: LQA CENMA

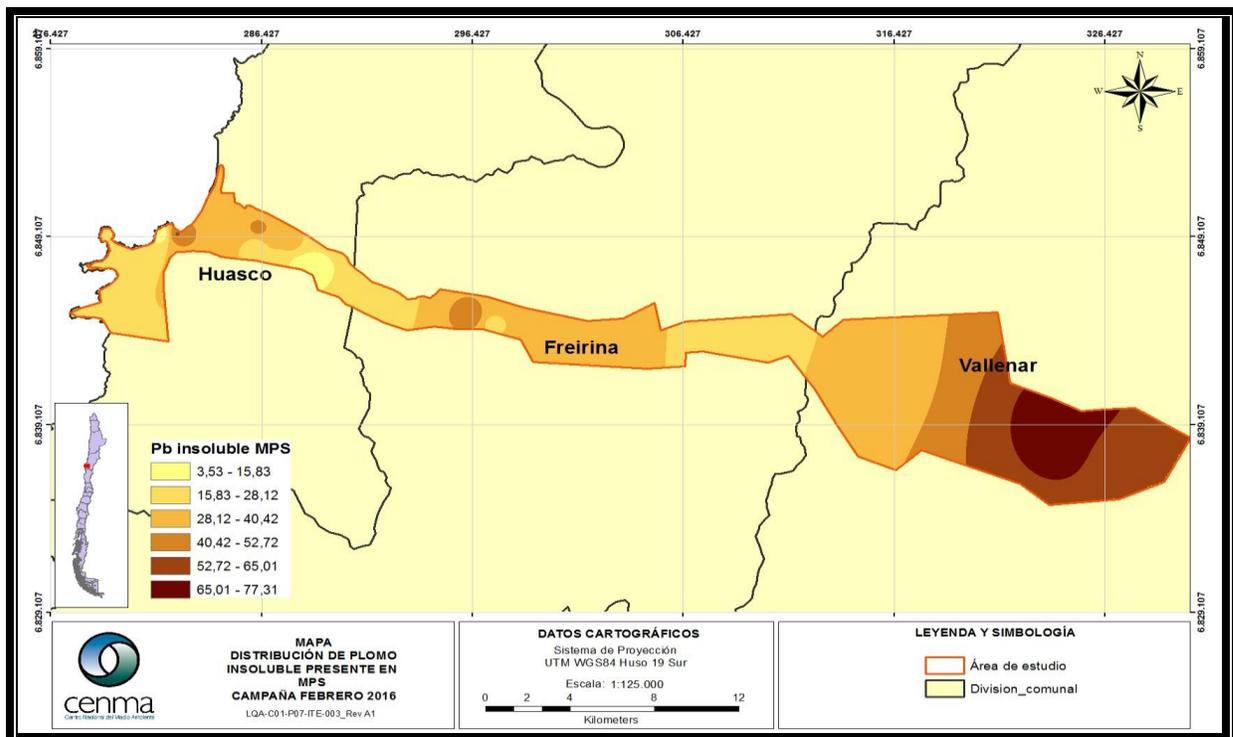


Ilustración 52: Distribución de Pb (mg/kg) en MPS para febrero 2016
 Fuente: LQA CENMA

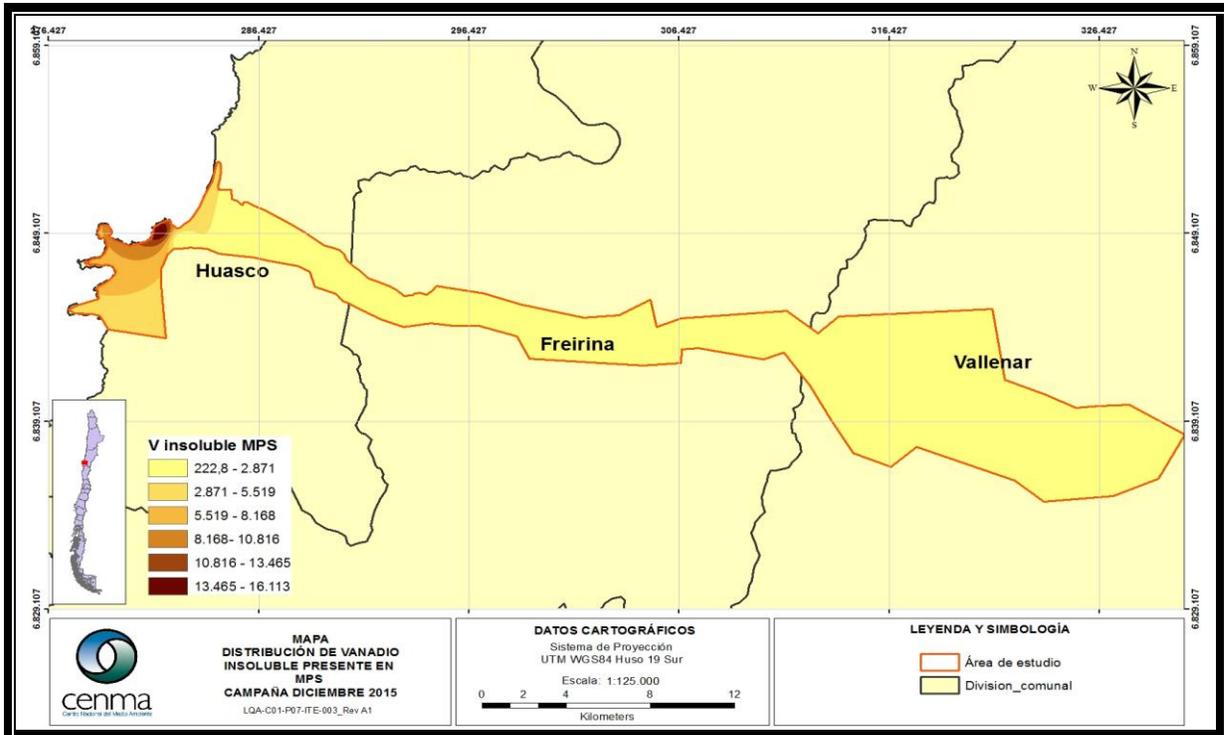


Ilustración 53: Distribución de V (mg/kg) en MPS para diciembre 2015
 Fuente: LQA CENMA

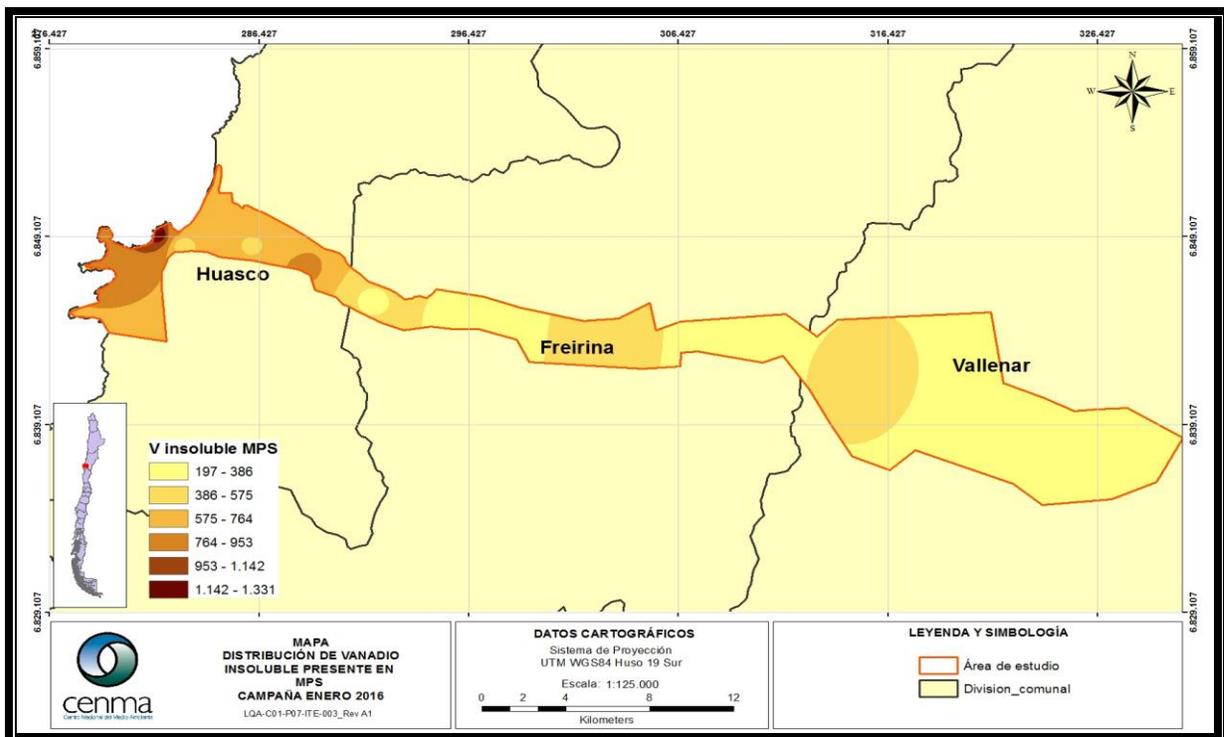


Ilustración 54: Distribución de V (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

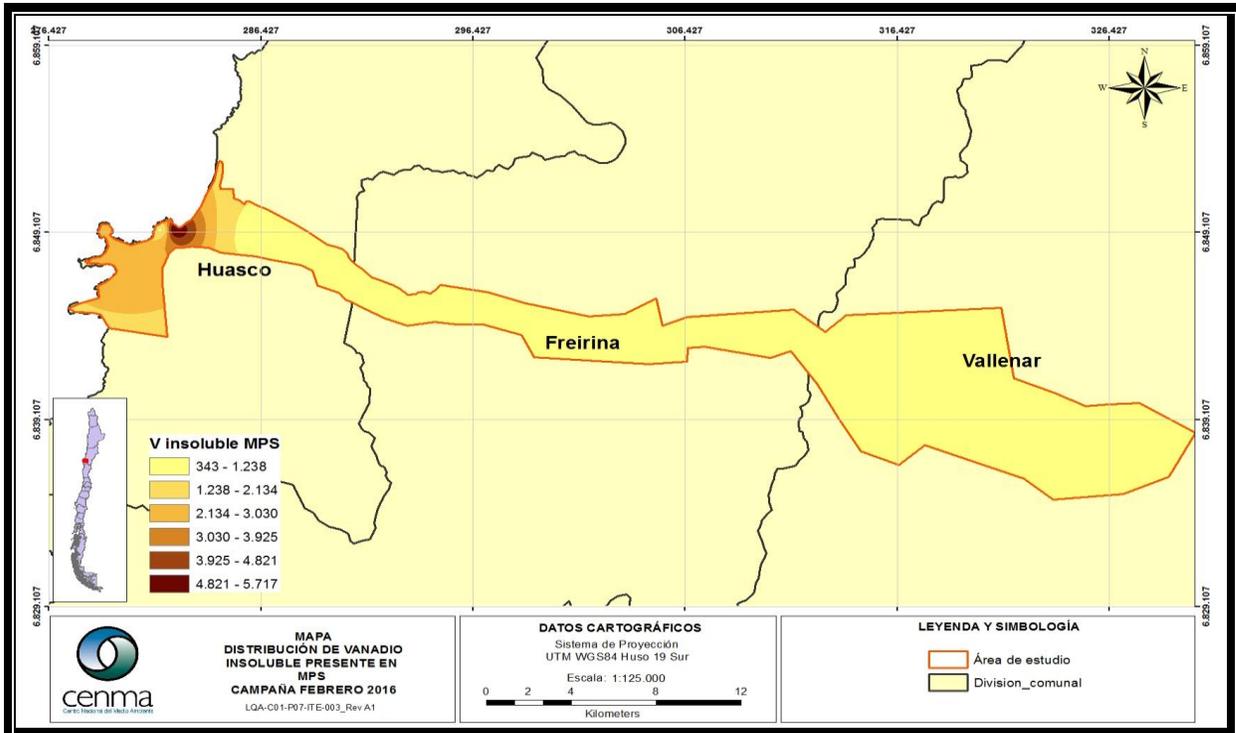


Ilustración 55: Distribución de V (mg/kg) en MPS para febrero 2016
 Fuente: LQA CENMA

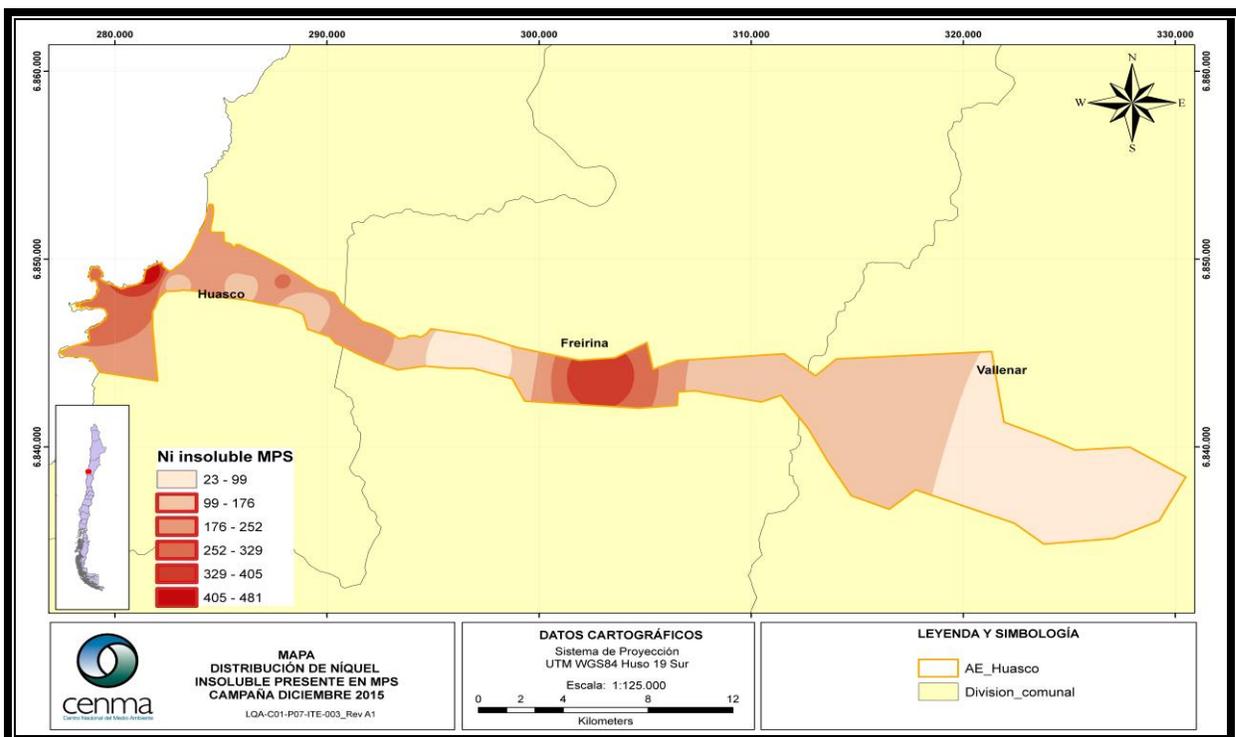


Ilustración 56: Distribución de Ni (mg/kg) en MPS para diciembre 2015.
 Fuente: LQA CENMA

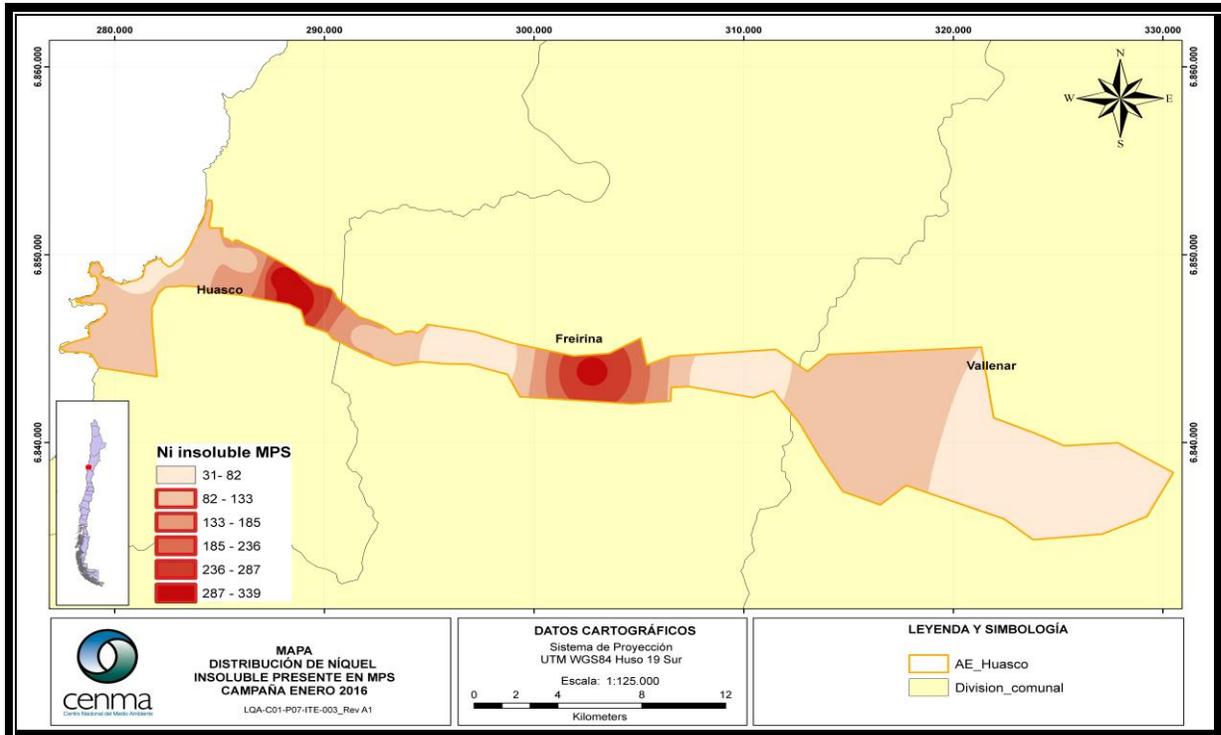


Ilustración 57: Distribución de Ni (mg/kg) en MPS para enero 2016
 Fuente: LQA CENMA

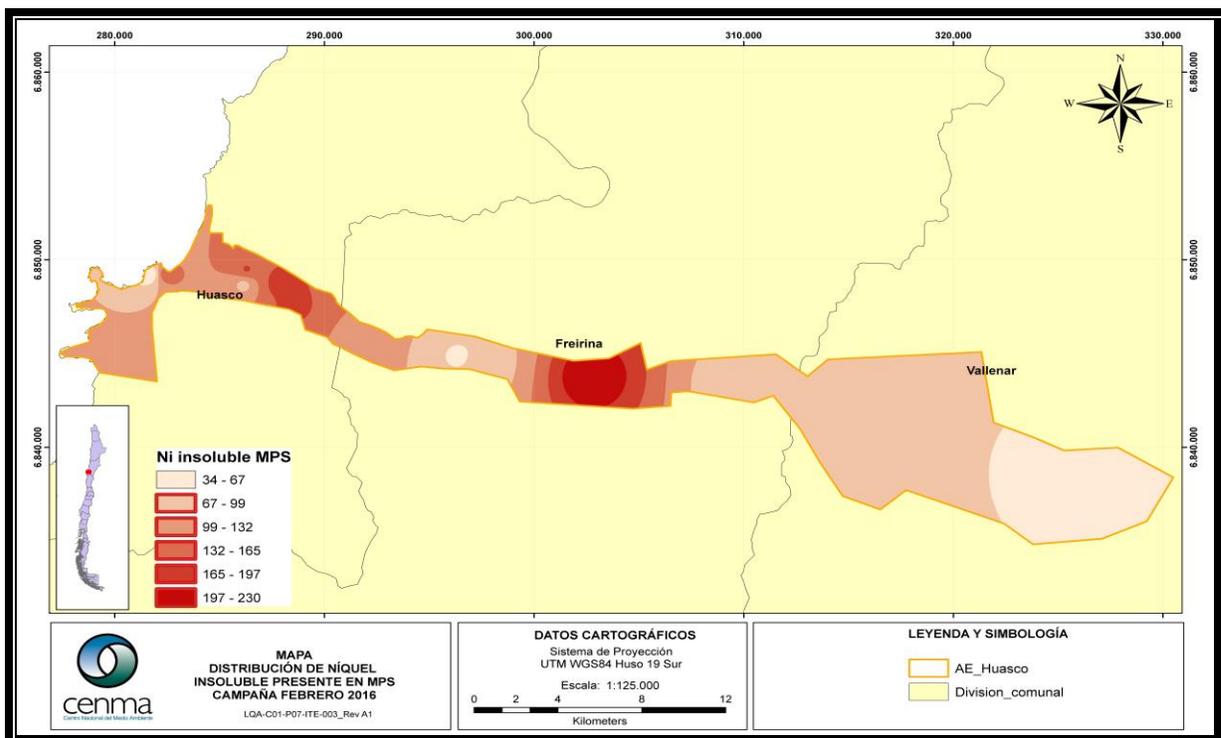


Ilustración 58: Distribución de Ni (mg/kg) en MPS para febrero 2016.
 Fuente: LQA CENMA



3.5 Polvo negro depositado.

En este estudio, se tomaron muestras de polvo depositado en diferentes puntos a lo largo de la zona de 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.

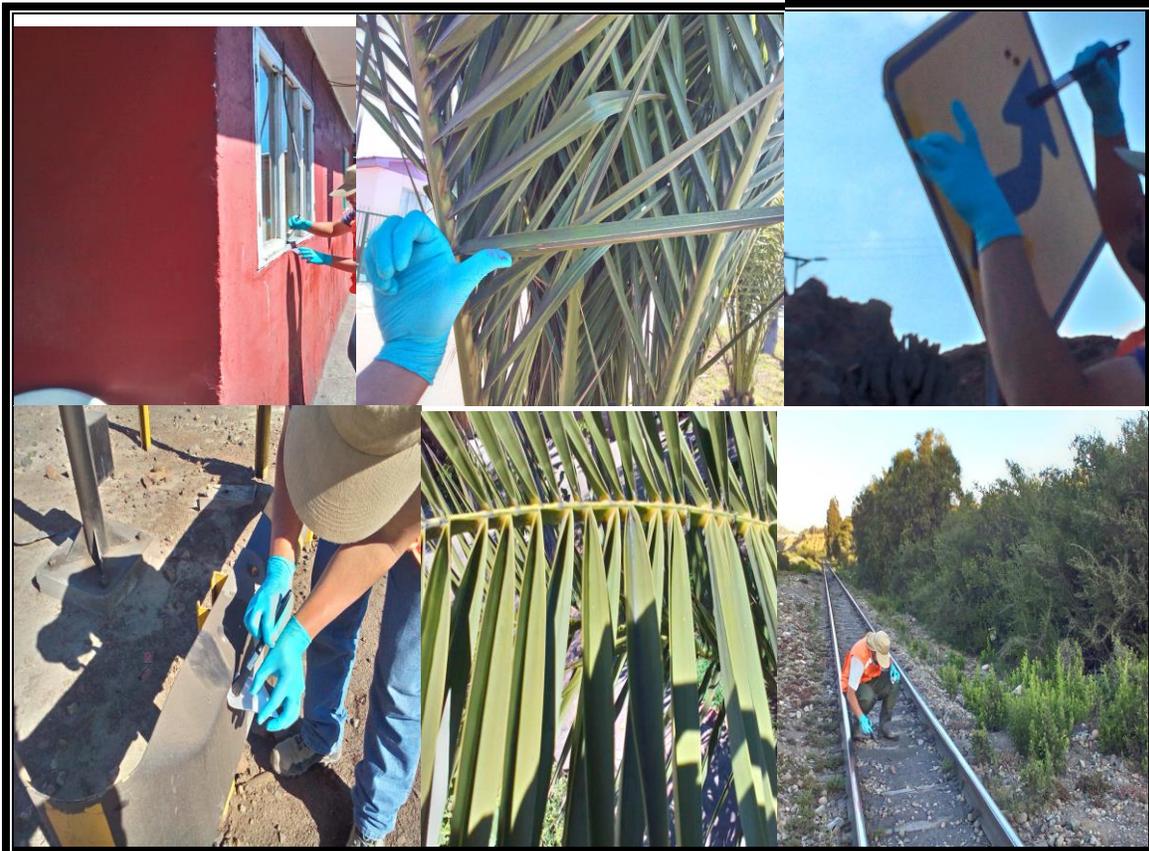


Ilustración 59: Fotos que ilustran la toma de muestras de polvo, en las casas, en la vegetación, en señalética y en la línea del tren.

Fuente: LQA CENMA

En la siguiente figura se presenta la ubicación de los puntos de muestreo de polvo depositado.

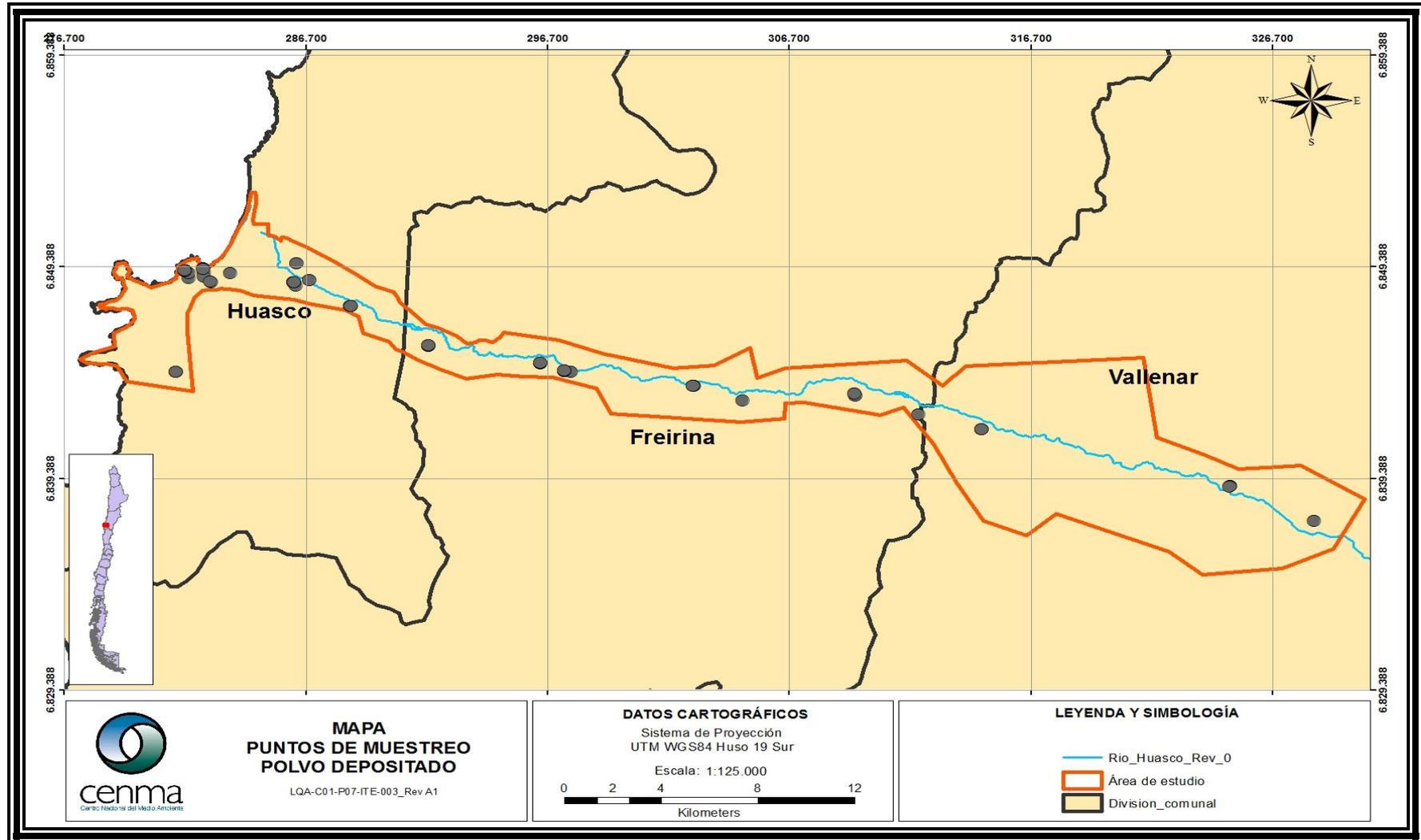


Ilustración 60: Ubicación de los puntos de muestreo de polvo depositado.

Fuente: LQA CENMA

En la tabla a continuación se presentan los resultados para las concentraciones de metales (mg/kg) en las muestras de polvo depositado.

Tabla 12: Concentración de metales en 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

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 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	Via ferrea
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
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

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 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-lllegando 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-lllegando a Vallenar

Fuente: LQA CENMA

Las mayores concentraciones de metales en el polvo depositado corresponden a Fe, Mn, V, Zn.

A continuación se presenta la distribución espacial de algunos metales en polvo depositado.

Se observa que los patrones de distribución para Cd, Fe, V son muy semejantes entre sí, con sectores de altas concentraciones en la ciudad de Huasco, en un sector del valle (Freirina) y también en la zona del límite comunal entre Freirina y Vallenar. Esta distribución refleja el movimiento del tren que transporta el mineral para CAP Minerals, que es rico en Fe y V.

Otros metales como Pb, Mn y Cu presentan sus mayores concentraciones desde Freirina hacia Vallenar, más que en la ciudad de Huasco, lo que indica su vinculación con otras fuentes, ya sean naturales o antropogénicas.

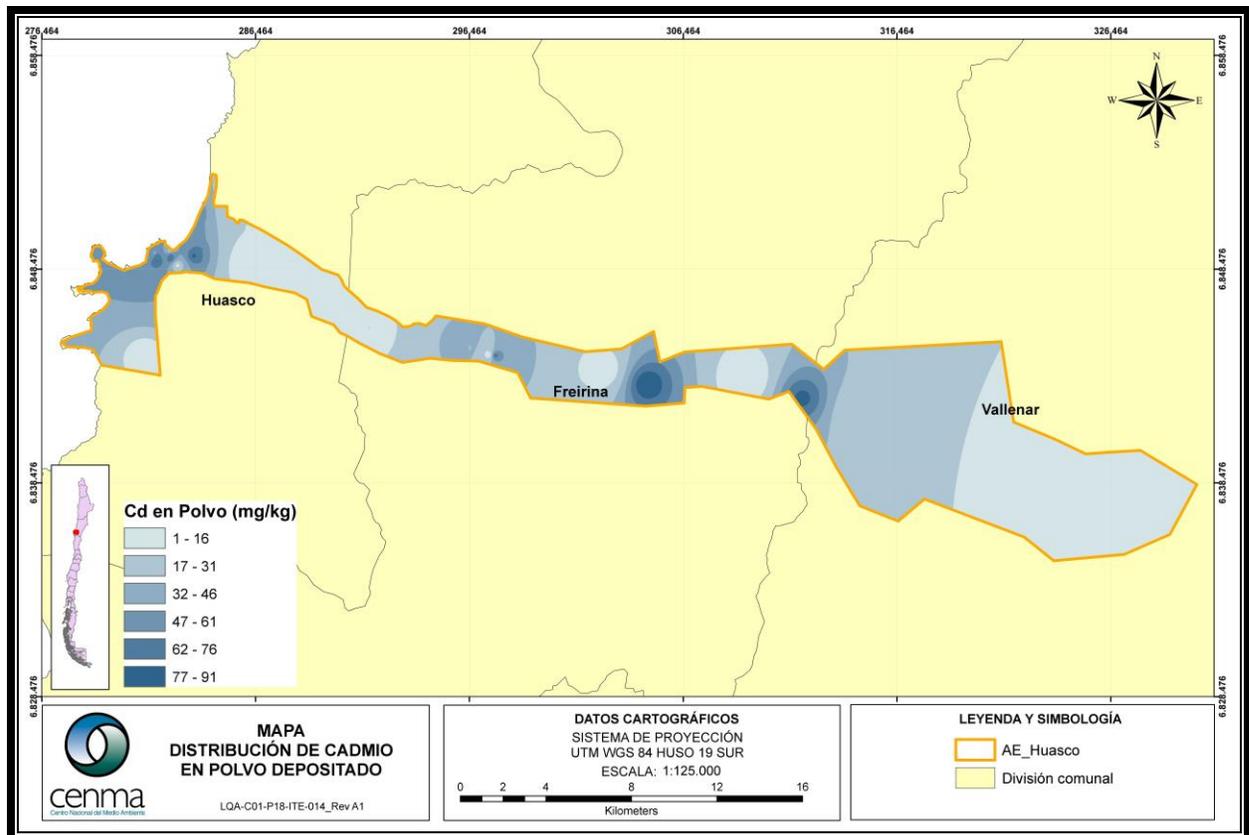


Ilustración 61: Concentración de Cd (mg/kg) en polvo depositado.

Fuente: LQA CENMA

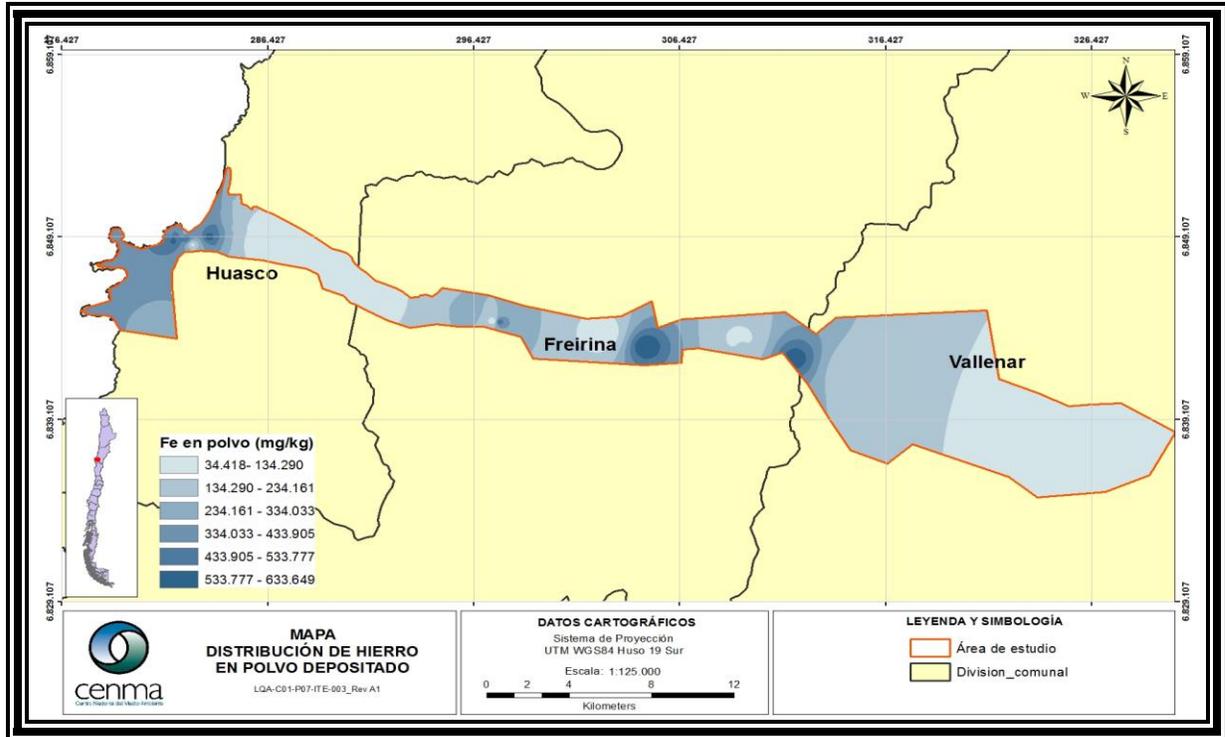


Ilustración 62: Concentración de Fe (mg/kg) en polvo depositado.
Fuente: LQA CENMA

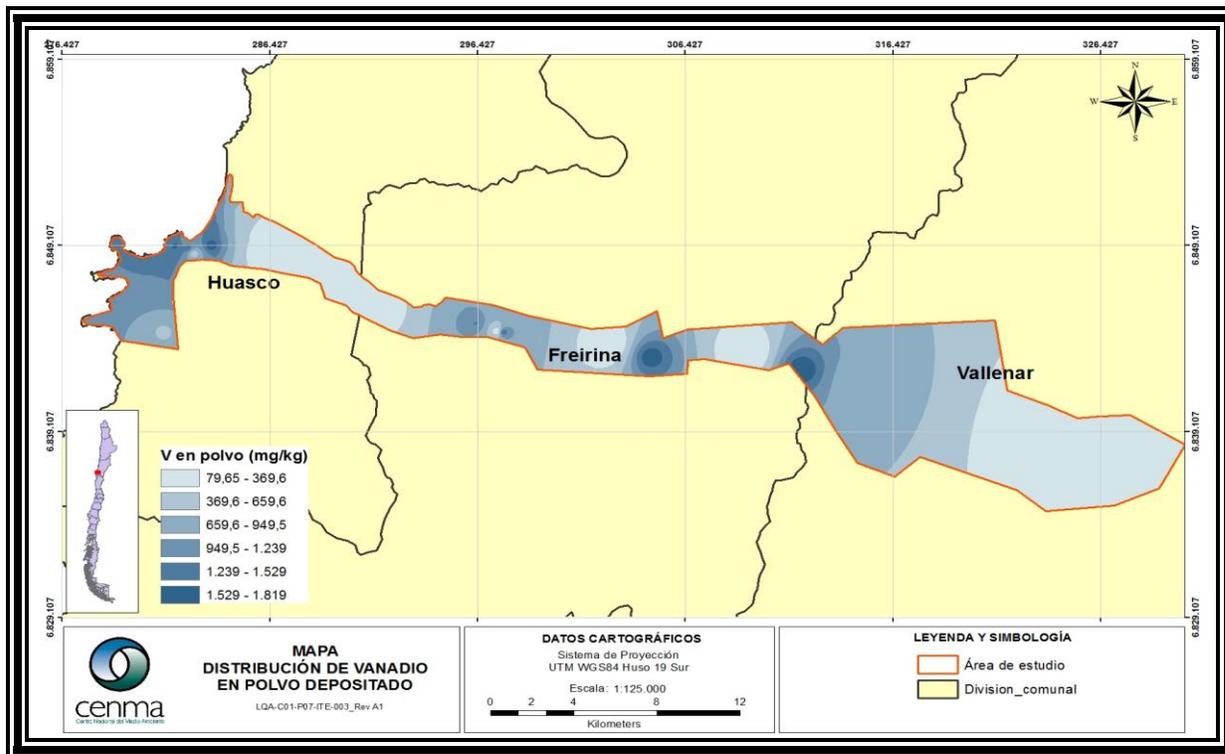


Ilustración 63: Concentración de V (mg/kg) en polvo depositado.
Fuente: LQA CENMA

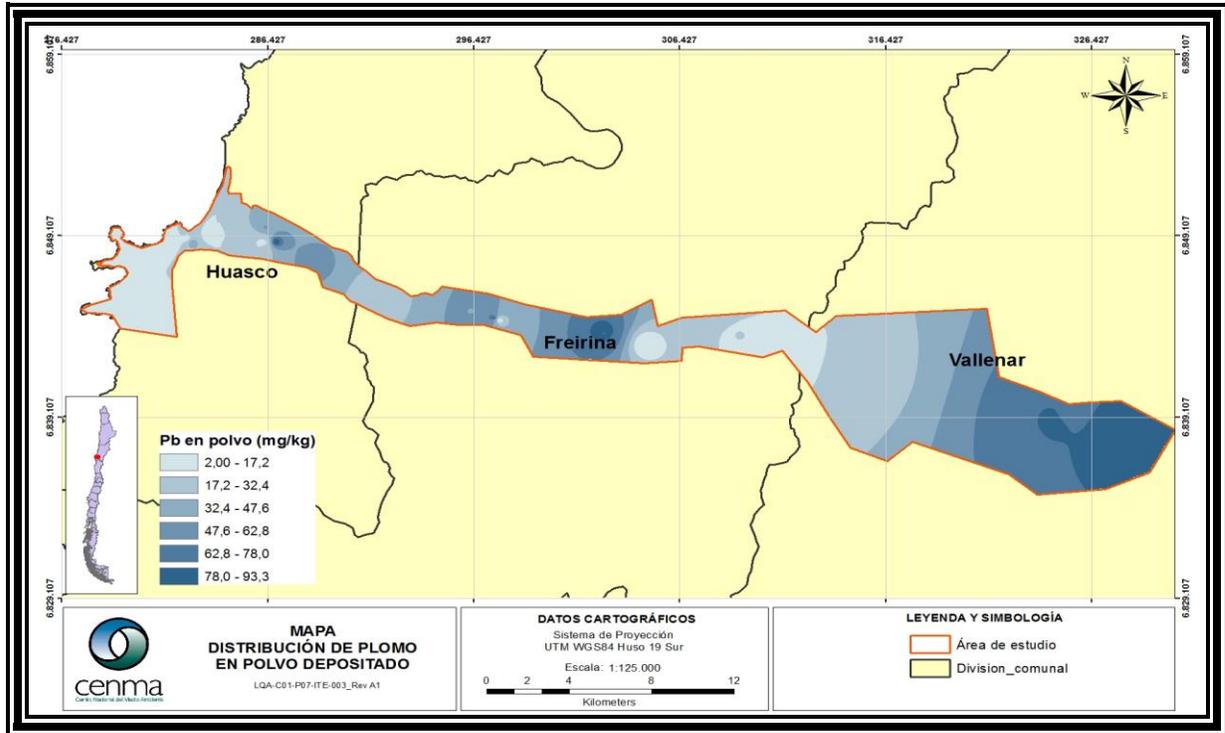


Ilustración 64: Concentración de Pb (mg/kg) en polvo depositado.
 Fuente: LQA CENMA

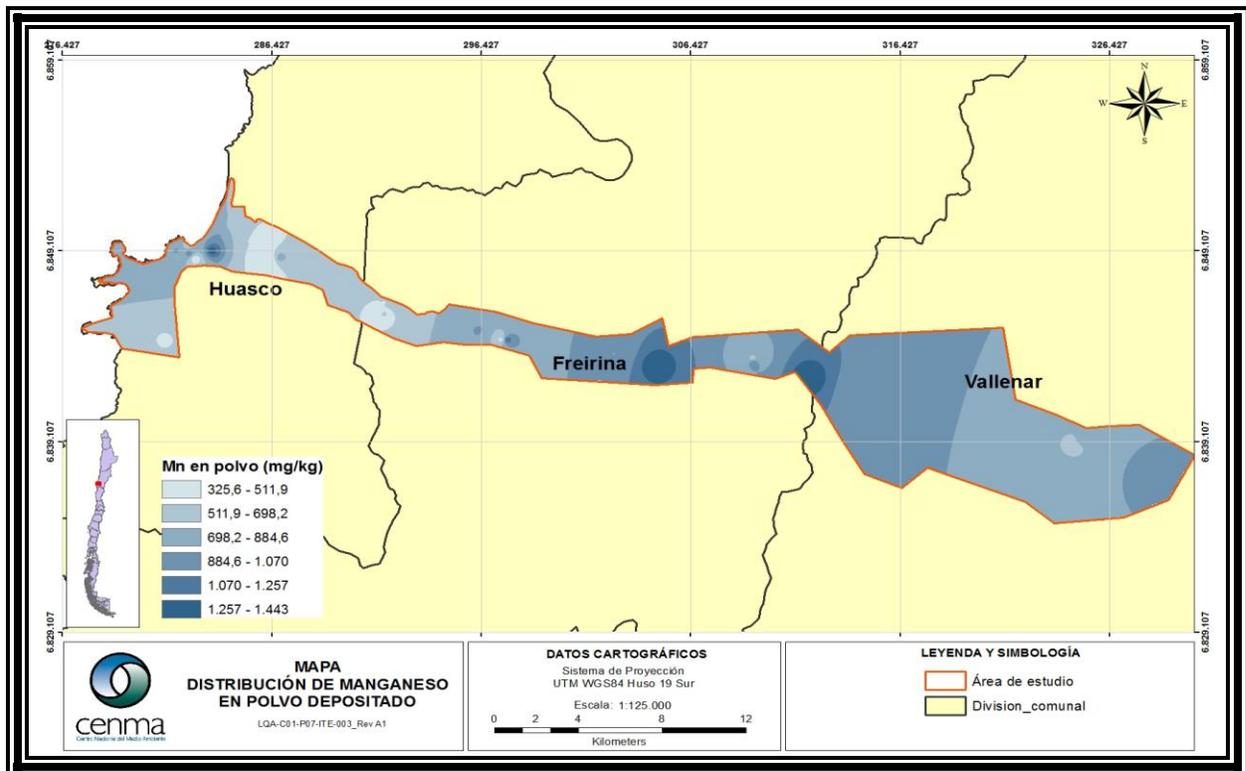


Ilustración 65: Concentración de Mn (mg/kg) en polvo depositado.
 Fuente: LQA CENMA

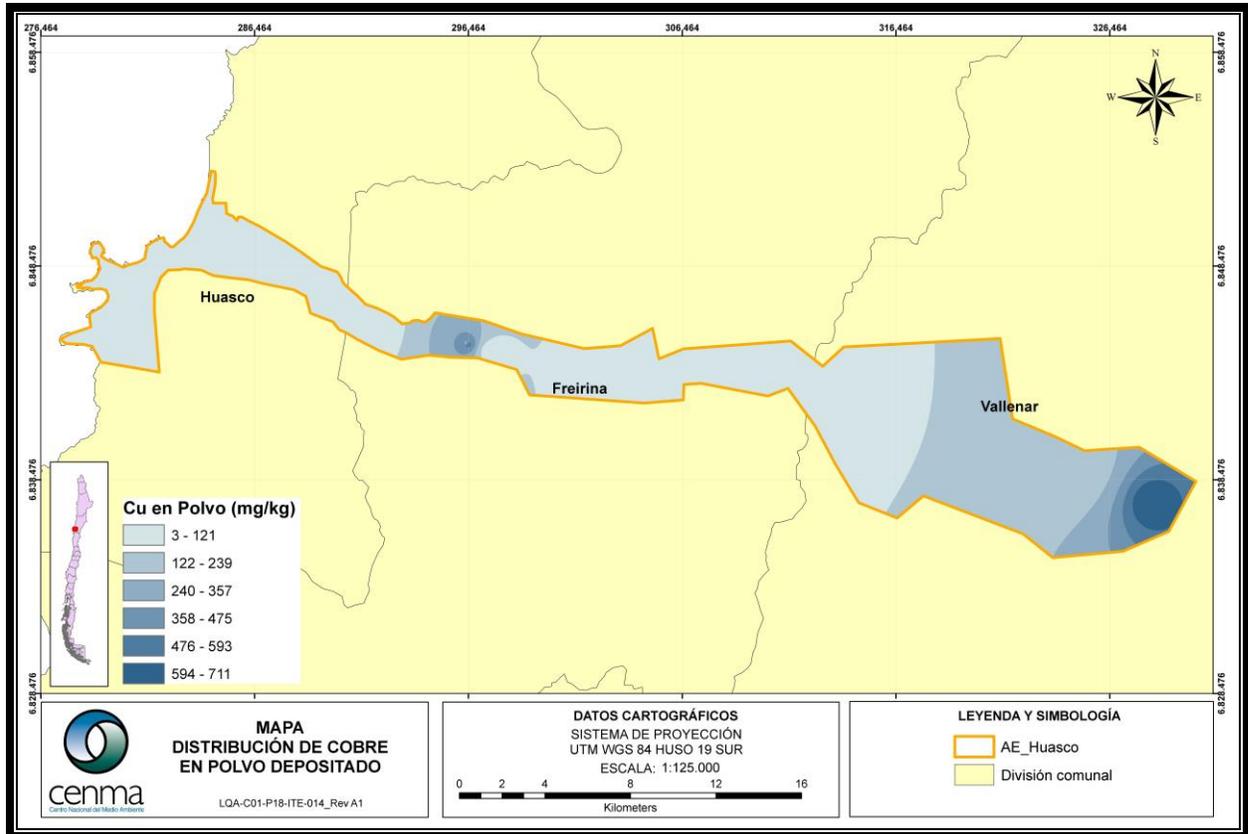


Ilustración 66: Concentración de Cu (mg/kg) en polvo depositado.

Fuente: LQA CENMA

En la siguiente tabla 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 en la ciudad de Vallenar, considerada como referencia de polvo urbano. Las muestras de polvo recolectadas desde la vía férrea no fueron incluidas, debido a que estas corresponden al material transportado por el tren y no a polvo depositado. 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:

Tabla 13: Comparación de la concentración de metales en polvo depositado respecto del polvo urbano de la ciudad de Vallenar.

NUMERO DE VECES EN QUE SE SUPERA LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA PTO 0-Polvo, CORRESPONDIENTE A POLVO URBANO DE LA CIUDAD DE VALLENAR														
Identificación	Coordenadas UTM WGS84 Huso19		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe	Sector
	Este	Norte												
Polvo 1-C4	281723	6849217	1	0	1	0	1	0	1	9	0	1	5	Ciudad, casa
PTO 4-1-Polvo	281699	6849197	6	0	1	0	1	0	1	8	0	1	8	Depositado en la ventana
PTO 4-2-Polvo	281699	6849197	6	0	1	0	1	0	1	9	0	1	8	Depositado en las plantas
Polvo 2-C4	282450	6849322	0	0	1	0	1	0	0	6	0	1	4	Ciudad
Polvo 3-C4	282787	6848672	0	0	1	0	1	1	0	2	0	0	1	Ciudad
PTO 2-Polvo	281862	6848852	7	0	1	0	2	0	1	11	0	1	8	Cerca de población
PTO 6-Polvo	282498	6849116	6	0	1	0	1	0	1	9	0	1	8	Techo cuartel bomberos
Polvo 2-C2	281694	6849230	5	0	0	0	1	0	1	11	0	1	4	Cerca de población
Polvo 3-C2	282454	6849300	4	1	1	0	1	0	1	8	0	1	4	Cerca de población
Polvo 4-C2	282740	6848713	2	0	1	0	1	0	0	5	0	1	2	Cerca de población
Polvo 4-C4	286206	6848685	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	2	Valle
Polvo 5-C4	286209	6848671	0	5	1	0	98	0	0	1	0	0	1	Valle
Polvo 6-C4	286278	6848502	0	0	1	1	1	0	0	2	0	0	1	Valle
Polvo 7-C4	286843	6848760	0	15	1	0	120	1	1	2	0	1	1	Valle
Polvo 8-C4	288548	6847550	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	Valle
Polvo 9-C4	291766	6845658	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Valle
Polvo 10-C4	297391	6844478	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Valle
Polvo 11-C4	296420	6844837	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	Freirina
Polvo 12-C4	302746	6843765	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	Valle
Polvo 13-C4	309428	6843300	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	3	Valle
Polvo 14-C4	314655	6841720	0	0	1	0	1	0	1	6	0	1	2	Valle
Polvo 15-C4	324960	6839054	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	Valle-llegando a Vallenar
Polvo 16-C4	324957	6839054	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	Valle-llegando a Vallenar
Polvo 1-C2	296398	6844854	6	0	0	0	1	0	1	14	0	1	6	Valle

NUMERO DE VECES EN QUE SE SUPERA LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA PTO 0-Polvo, CORRESPONDIENTE A POLVO URBANO DE LA CIUDAD DE VALLENAR														
Identificación	Coordenadas UTM WGS84 Huso19		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe	Sector
Polvo 6-C2	286320	6849550	1	3	1	0	1	1	0	2	0	0	1	Valle
Polvo 7-C2	288559	6847555	2	2	3	0	1	1	1	2	0	1	2	Valle
Polvo 8-C2	291777	6845684	2	1	1	0	1	0	1	3	0	1	2	Valle
Polvo 9-C2	297389	6844505	2	4	1	0	1	1	1	2	24	1	2	Valle
Polvo 10-C2	302743	6843773	1	3	2	0	1	1	1	1	0	1	1	Valle
Polvo 11-C2	309407	6843401	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	Valle
Polvo 12-C2	314654	6841724	3	0	1	0	1	0	1	5	0	1	2	Valle
Polvo 13-C2	324904	6839020	1	3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	Vallenar rural

Fuente: LQA CENMA

Estos resultados demuestran 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). Para los metales Mn y Co no hay diferencias entre ambos.

En la tabla a continuación, se presenta la comparación del contenido de metales en el polvo de las muestras respecto del contenido de los mismos metales 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:

Tabla 14: 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

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
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 Vallénar
Polvo 16-C4	324957	6839054	1	0	0	2	0	34	1	0	3	1	0	Valle-llegando a Vallénar
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

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
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	Vallenar rural

Estos 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, lo cual sugiere que el principal mecanismo de movilización del polvo es por transporte de partículas a nivel de suelo. Este resultado podría explicar que las mediciones de MPS entreguen valores bajos, cuando la presencia de polvo negro en la zona es evidente por su impacto visual.

En la siguiente tabla se presenta la comparación del contenido de metales en el polvo de las muestras respecto del contenido de los mismos metales en una muestra de polvo que cayó 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:

Tabla 15: 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

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
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-Ilegando a Vallendar
Polvo 16-C4	324957	6839054	0	2	5	7	1	34	1	0	15	1	0	Valle-Ilegando 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

Fuente: LQA CENMA

De estos resultados se ve que el polvo negro depositado es igual al material que transporta el tren de Ferronor para Cd, Ni, Mn, V, Co y Fe. Para algunos metales, como Pb y Ba en varios sectores, el polvo depositado tiene mayor concentración que el material del tren, lo que induce a pensar que tal sector está bajo la influencia de alguna fuente adicional de polvo negro, ya sea una fuente areal o una fuente difusa.

A continuación se presenta la estadística descriptiva para las concentraciones de metales en polvo, así como la comparación de los valores máximos para cada metal con las respectivas EMEG³¹ para receptores infantes, niños y adultos. Para esta comparación, se excluyeron las 13 muestras que corresponden al polvo depositado en las inmediaciones de la vía férrea. El detalle del total de muestras de polvo depositado se encuentran en el Anexo 3.

Estos resultados indican que los metales Cd, Cr, Cu, Ni y V superan los Valores Guía para evaluación de medios ambientales (EMEG) para infantes y niños, lo que los individualiza como contaminantes de interés potencial.

Tabla 16: Estadística descriptiva para los contaminantes de interés en polvo depositado.

	Promedio (mg/kg)	Desvest (mg/kg)	Mediana (mg/kg)	Número de puntos	Valor mínimo (mg/kg)	Valor máximo (mg/kg)
Cd	21,26	26,84	6,64	32	0,63	78,23
Zn	1583,58	3514,18	207,46	32	64,37	18622,75
Cr	26,27	15,30	22,42	32	0,90	94,83
Cu	127,76	189,30	72,33	32	13,85	868,04
Ni	259,73	907,87	31,27	32	11,64	4074,85
Pb	39,43	35,36	23,49	32	1,04	126,34
Mn	666,04	258,33	645,66	32	228,99	1213,77
V	564,48	552,75	314,32	32	41,38	1969,76
Ba	197,76	713,04	63,34	32	5,23	4095,85
Co	18,35	7,41	17,54	32	6,53	31,71
Fe	188400,57	175686,84	124479,09	32	24765,89	595000,00

Fuente: LQA CENMA

Tabla 17: Estadística descriptiva para los contaminantes de interés en polvo depositado. y comparación con los EMEG

	Valor máximo (mg/kg)	EMEG-infante		EMEG-niños		EMEG-adulto	
Cd	78,23	2,9	78,23 > 2,9 Supera	4	78,23 > 4 Supera	140	78,23 < 140 No supera
Zn	18622,75	8571,4	18622,75 < 8571,4 No supera	12000	18622,75 < 12000 No supera	420000	18622,75 < 420000 No supera
Cr	94,83	25,7	94,83 > 25,7 Supera	36	94,83 > 36 Supera	1260	94,83 < 1260 No supera
Cu	868,04	285,7	868,04 > 285,7 Supera	400	868,04 > 400 Supera	14000	868,04 < 14000 No supera

³¹ 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 (ASTDR por sus siglas en inglés), sirven como referencia para definir los contaminantes críticos del 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 ASTDR o RfD de la USEPA).

	Valor máximo (mg/kg)	EMEG-infante		EMEG-niños		EMEG-adulto	
Ni	4074,85	571,4	4074,85 > 571,4 Supera	800	4074,85 > 800 Supera	28000	4074,85 < 28000 No supera
Pb	126,34	150	126,34 < 150 No Supera	La dosis referencial es para infantes. No se evalúa en otros receptores.			
Mn	1213,77	4000	1213,77 < 4000 No supera	5600	1213,77 < 5600 No supera	196000	1213,77 < 196000 No supera
V	1969,76	285,7	1969,76 > 285,7 Supera	400	1969,76 > 400 Supera	14000	1969,76 < 14000 No supera
Ba	4095,85	5714,3	4095,85 < 5714,3 No supera	8000	4095,85 < 8000 No supera	280000	4095,85 < 280000 No supera
Co	31,71	285,7	31,71 < 285,7 No supera	400	31,71 < 400 No supera	14000	31,71 < 14000 No supera
Fe	595000,00	No se puede establecer EMEG para hierro porque no se han descrito dosis de referencia para este metal.					

Fuente: LQA CENMA

3.6 Suelo.

3.6.1 Suelo superficial.

En este epígrafe se presentan los resultados obtenidos en las muestras de suelo superficial, respecto de los contaminantes metálicos estudiados. En primer lugar, se presenta la ubicación de los puntos de muestreo de suelo.

Tabla 18: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo superficial considerados en este estudio

N°	ID Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
			Este	Norte
1	57797	6278	320914	6839507
2	57798	6278	309490	6843273
3	57799	6278	302990	6844100
4	57800	6278	288809	6848640
5	57801	6278	290060	6847914
6	57802	6278	290985	6847048
7	57803	6278	292651	6846079
8	57804	6278	295040	6845984
9	57805	6278	280294	6846738
10	57806	6278	279783	6844479
11	57807	6278	281328	6844433
12	57808	6278	280644	6848248
13	57809	6278	280644	6848248
14	57810	6278	281737	6849298
15	57811	6278	281843	6849095
16	57812	6278	283247	6849609
17	57813	6278	284008	6849215
18	57814	6278	285878	6849796

N°	ID Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
			Este	Norte
19	57815	6278	286644	6849971
20	57816	6278	327015	6837772
21	57817	6278	282498	6849116
22	57818	6278	281516	6848711
23	57819	6278	312043	6842432
24	57958	6298	296379	6844915
25	57959	6298	296363	6844879
26	57960	6298	296356	6844892
27	57961	6298	281694	6849230
28	57962	6298	281723	6849217
29	57963	6298	282445	6849297
30	57964	6298	282786	6848685
31	57965	6298	280389	6846788
32	57966	6298	286151	6848657
33	57967	6298	286280	6849483
34	57968	6298	287863	6848796
35	57969	6298	288543	6847541
36	57970	6298	288516	6847544
37	57971	6298	288582	6847635
38	57972	6298	291775	6845678
39	57973	6298	297345	6844454
40	57974	6298	302740	6843785
41	57975	6298	309435	6843318
42	57976	6298	314642	6841769
43	57977	6298	324910	6839034
44	57978	6298	327108	6837784
45	58065	6310	285525	6850702
46	58066	6310	286572	6849007
47	58386	6342	286290	6849489
48	58387	6342	287891	6848763
49	58388	6342	291768	6845690
50	58389	6342	314644	6841770
51	58390	6342	324920	6839090

Fuente: LQA CENMA

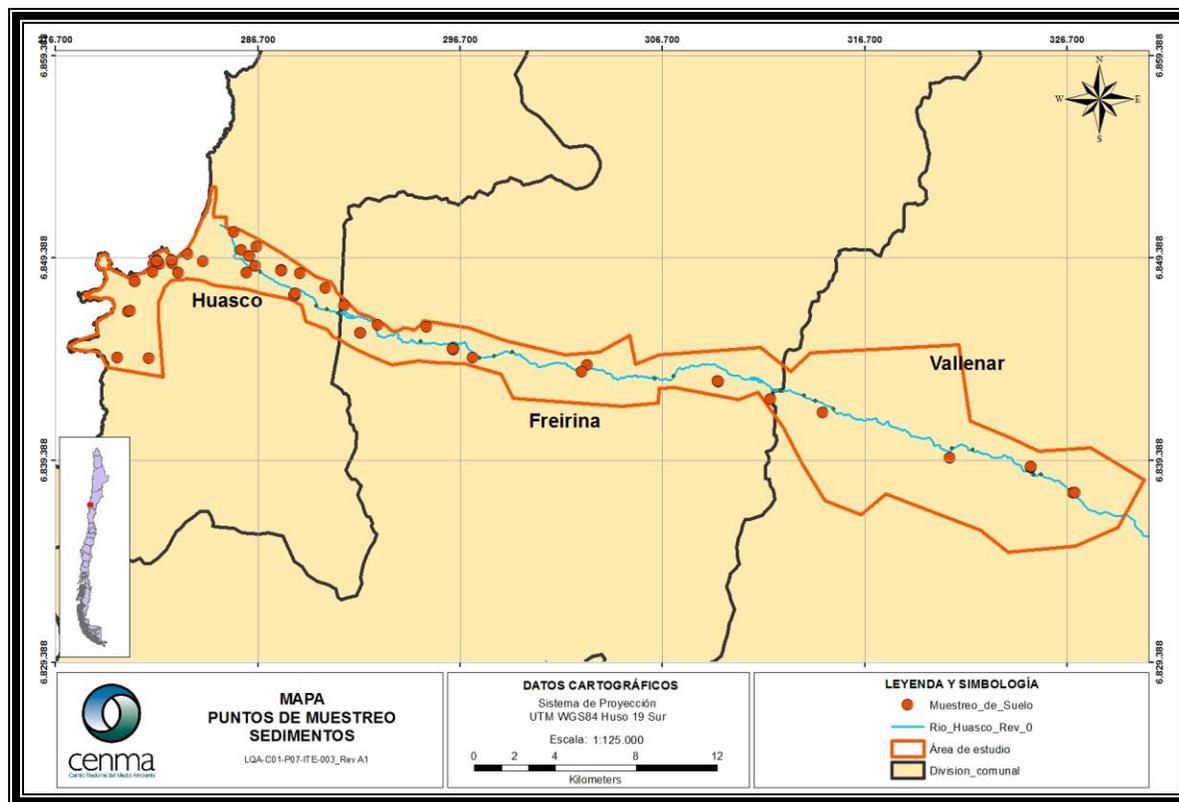


Ilustración 67: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo superficial considerados en este estudio.

Fuente: LQA CENMA

En la tabla a continuación se presentan los valores promedio de metales en los suelos de la zona de estudio, los que para su mejor comprensión fueron divididos en cuatro sectores: zona industrial de Huasco, la ciudad de Huasco, el valle de Huasco, Vallenar como sector de referencia.

Tabla 19: 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

En las siguientes figuras, se presenta la distribución de las concentraciones de metales en suelo superficial.

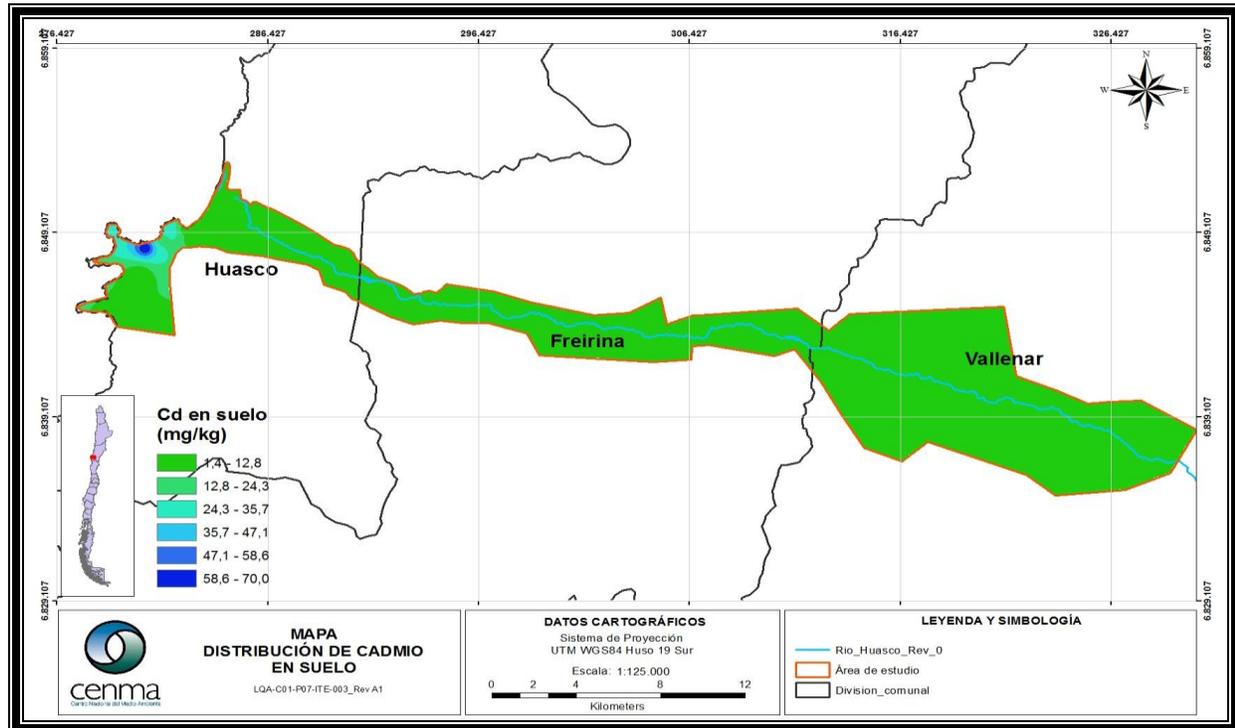


Ilustración 68: Distribución de las concentraciones de Cd (mg/kg) en suelo superficial.
Fuente: LQA CENMA

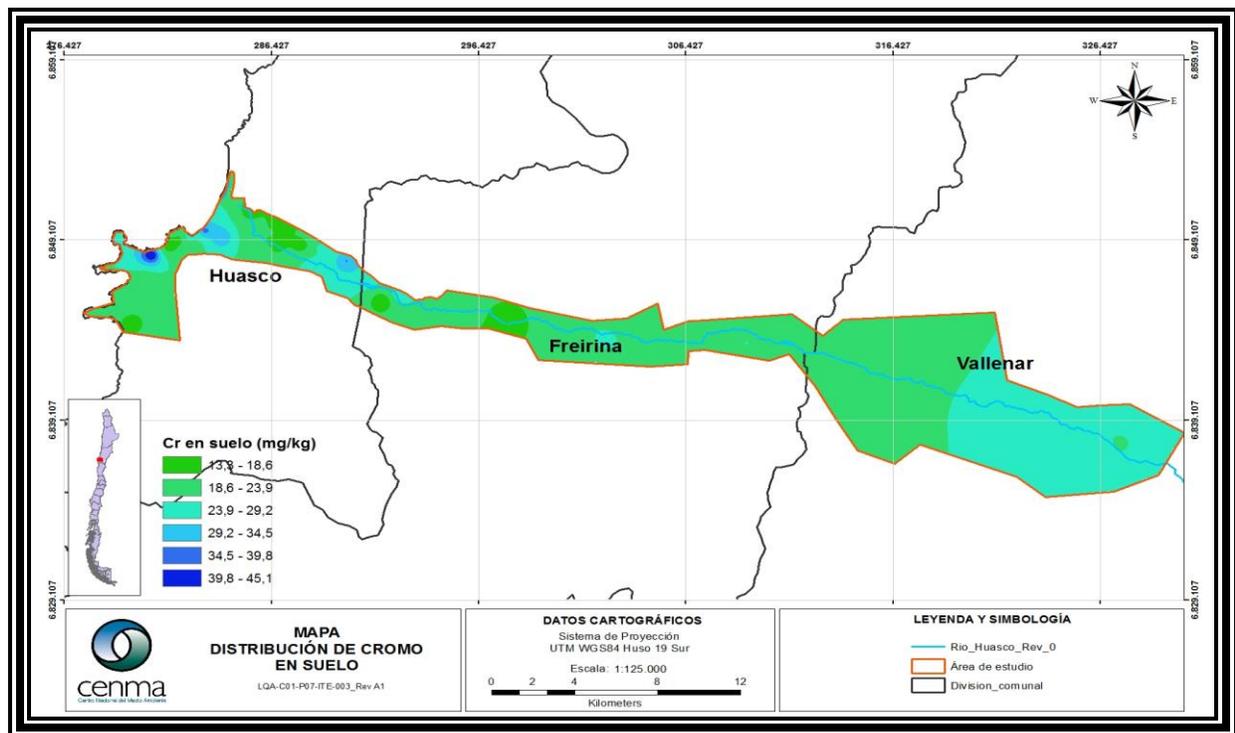


Ilustración 69: Distribución de las concentraciones de Cr (mg/kg) en suelo superficial.
Fuente: LQA CENMA

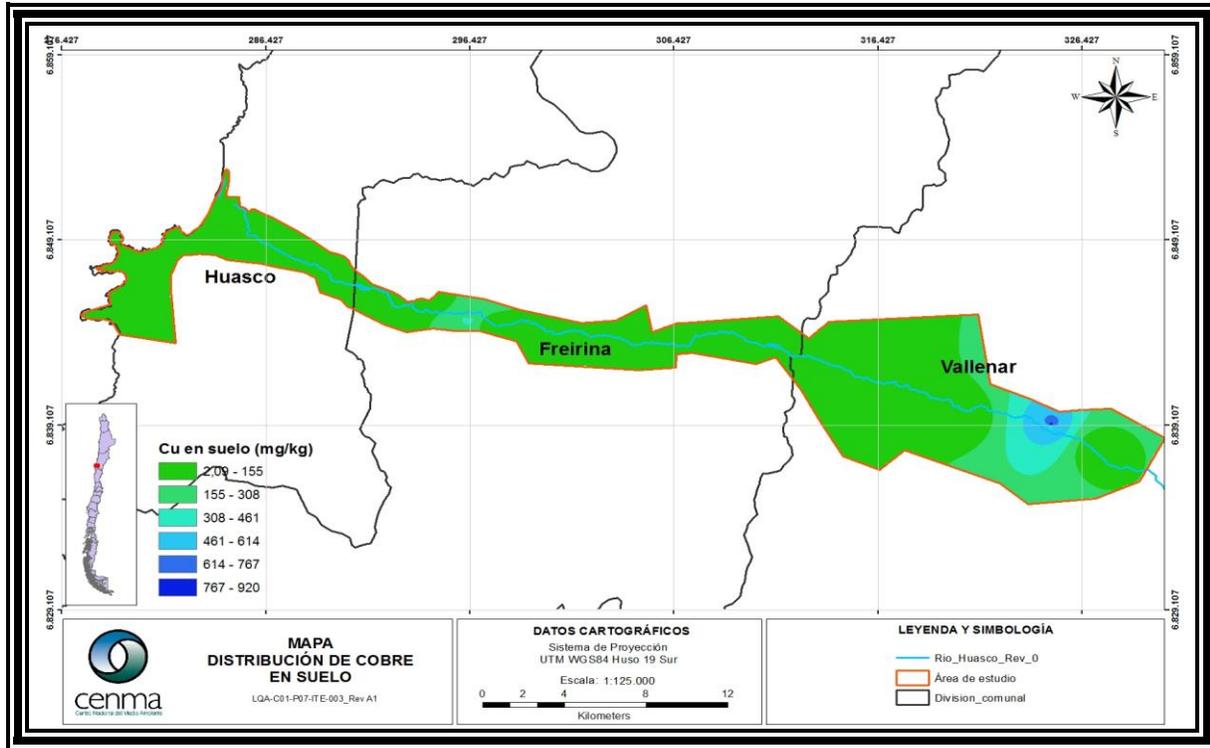


Ilustración 70: Distribución de las concentraciones de Cu (mg/kg) en suelo superficial.
 Fuente: LQA CENMA

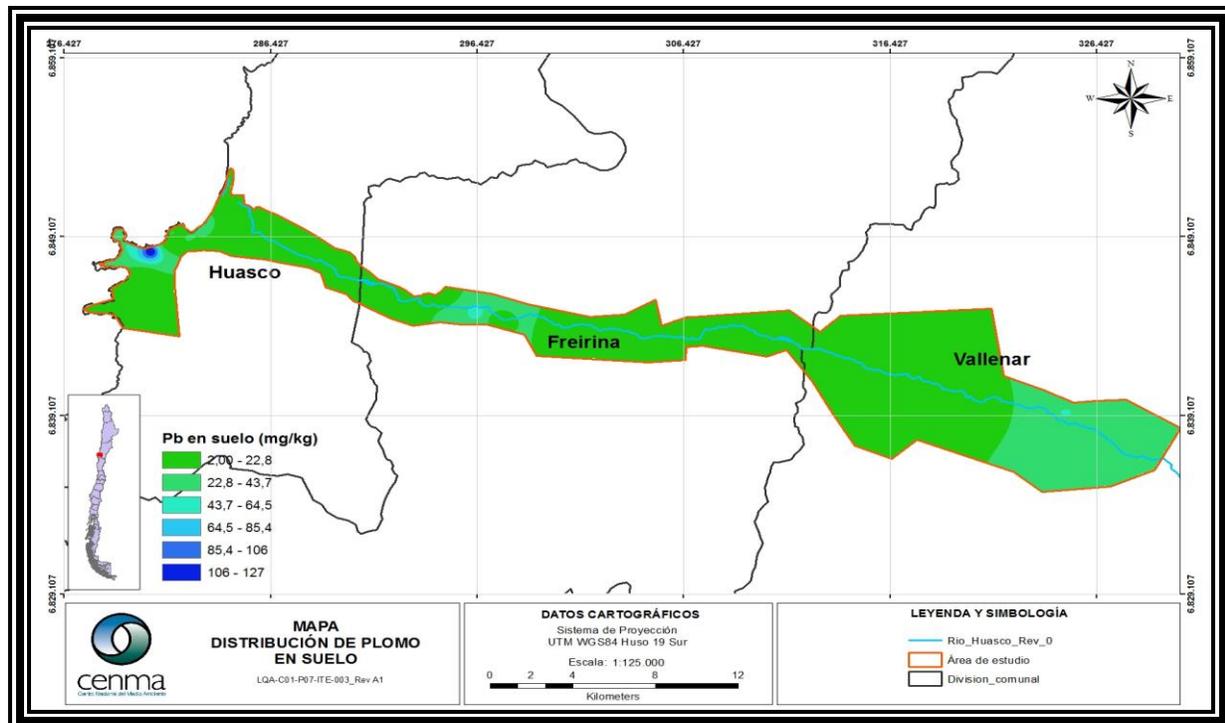


Ilustración 71: Distribución de las concentraciones de Pb (mg/kg) en suelo superficial.
 Fuente: LQA CENMA

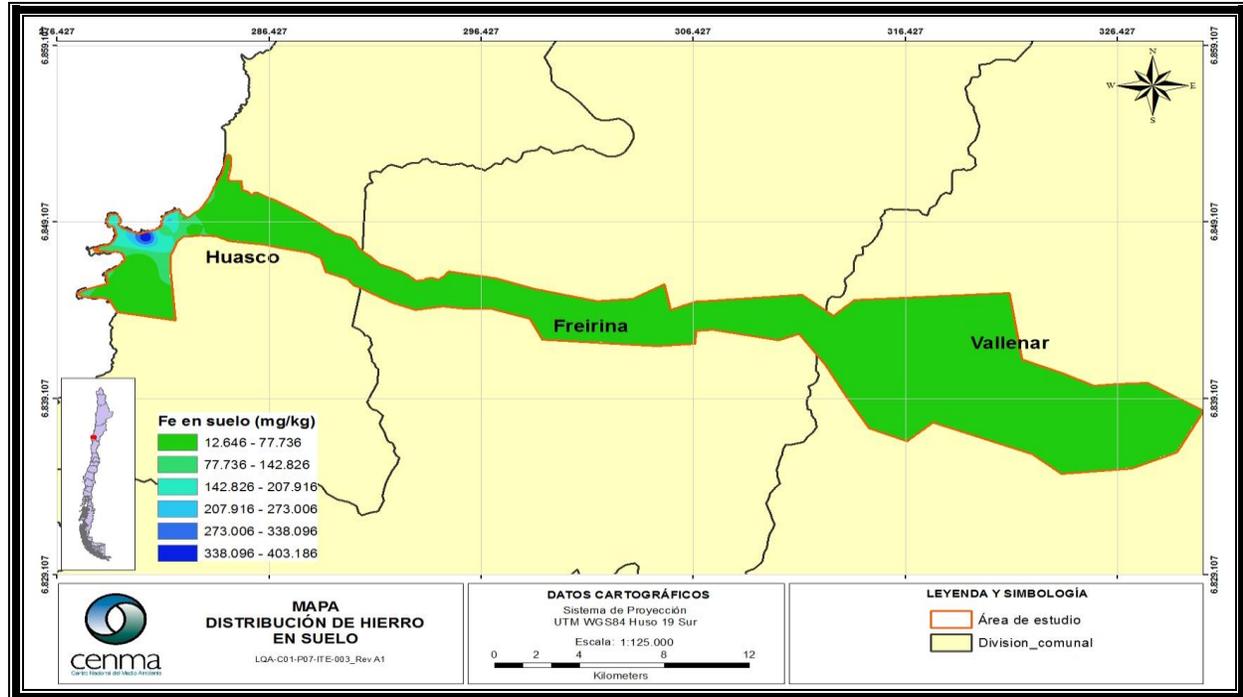


Ilustración 72: Distribución de las concentraciones de Fe (mg/kg) en suelo superficial.
Fuente: LQA CENMA

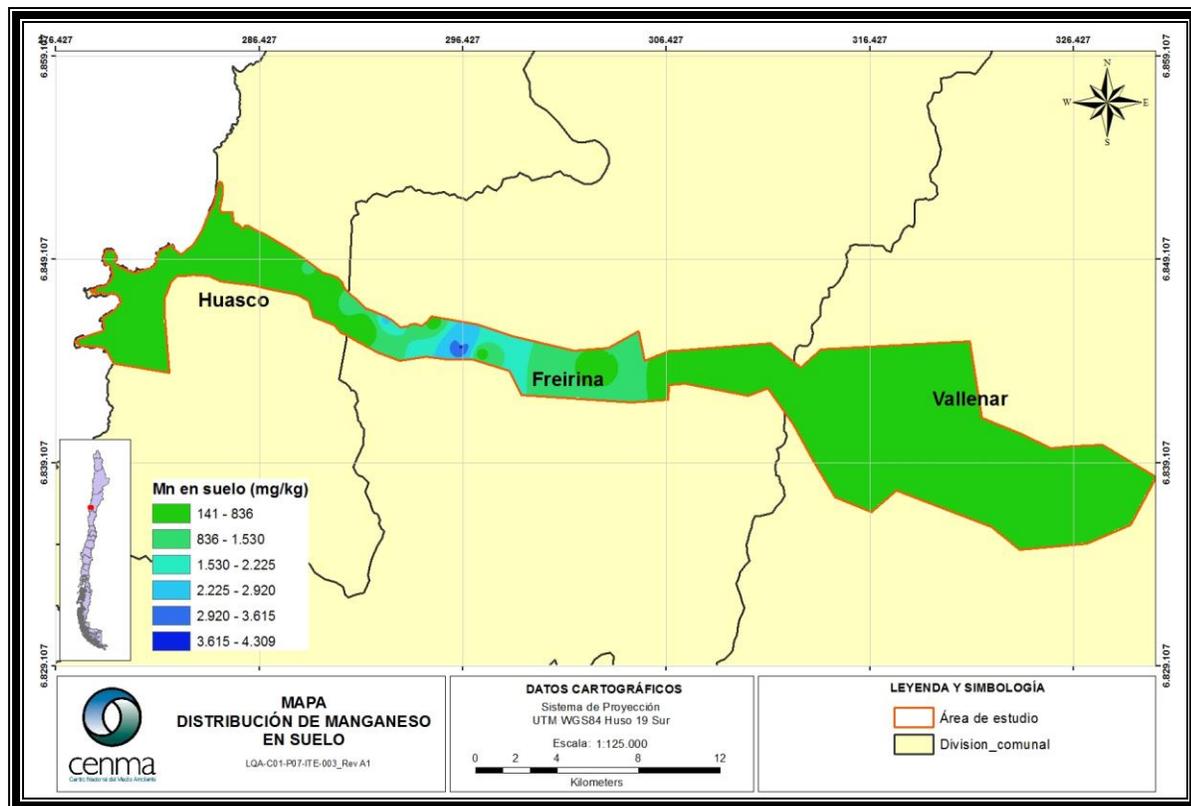


Ilustración 73: Distribución de las concentraciones de Mn (mg/kg) en suelo superficial.
Fuente: LQA CENMA

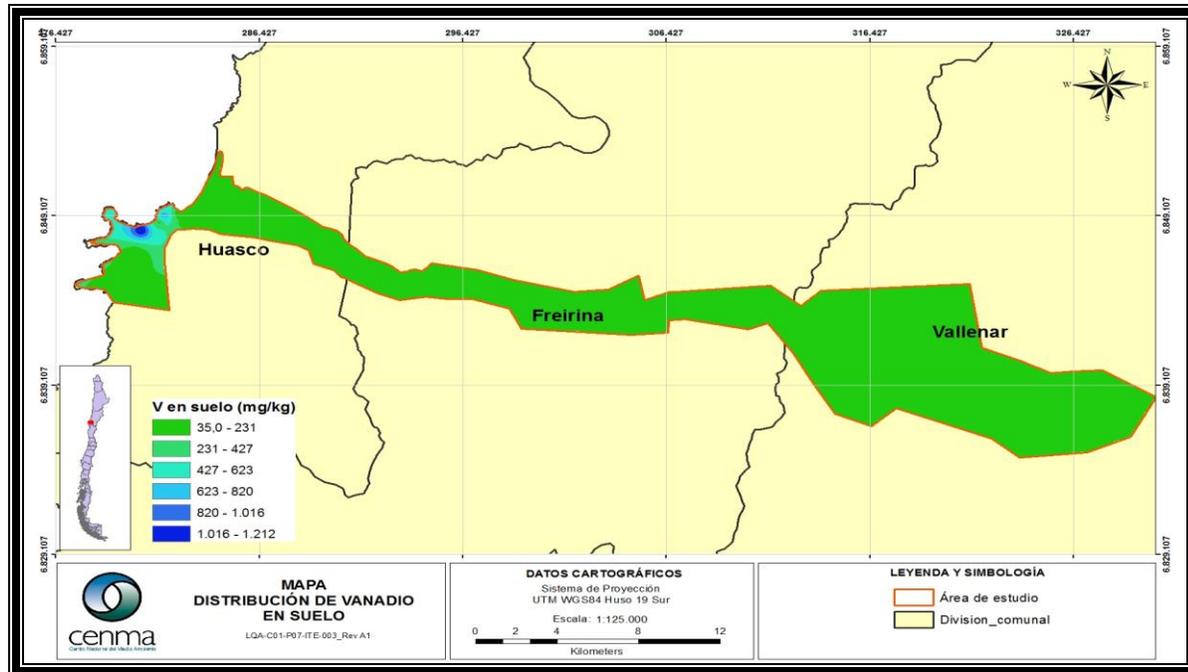


Ilustración 74: Distribución de las concentraciones de V (mg/kg) en suelo superficial.
Fuente: LQA CENMA

3.6.2 Suelo de áreas background.

Para estudiar los niveles de metales pesados en los suelos de la zona de estudio, se diseñó la toma de muestras de suelo en sectores sin intervención humana evidente.

De acuerdo con el mapa geológico de Chile, en el área de estudio del presente proyecto, existen diez (10) tipos geológicos de suelo, que detallan en la tabla:

Tabla 20: 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 bajanes tanto activos como inactivos. En las regiones I a IV: dunas de Santo Domingo y Quivalgo.

Nº	Tipo geológico de suelo	Generalidad	Descripción
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.
8	Kibg	Rocas intrusivas	Cretácico Inferior bajo (144-124 Ma) Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornblenda y biotita, granodioritas y tonalitas. En la Cordillera de la Costa, regiones II a IV, asociados al Sistema de Fallas Atacama-El Romeral y mineralización de Fe (Cerro Imán, Algarrobo).
9	Kiag	Rocas intrusivas	Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85 Ma) Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. En la Cordillera de la Costa, regiones II a IV, al este del Sistema de Fallas Atacama-El Romeral y asociados a mineralización de Fe-Cu-Au (Candelaria) y Cu-Au (Andacollo); en la Cordillera de la Costa, regiones V a X.
10	DC4	Rocas metamórficas	Devónico-Carbonífero Metaareniscas, filitas y, en menor proporción, mármoles, cherts, metabasaltos y metaconglomerados; metaturbiditas con facies de 'mélange'. En la Cordillera de la Costa, regiones I a III: Formación El Toco, Complejo Epimetamórfico Chañaral; en la Cordillera Patagónica, regiones XI y XII: Complejo Metamórfico Oriental de Aisén y Magallanes.

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.

En la siguiente figura, se presentan los tipos geológicos de suelo en la zona de estudio.

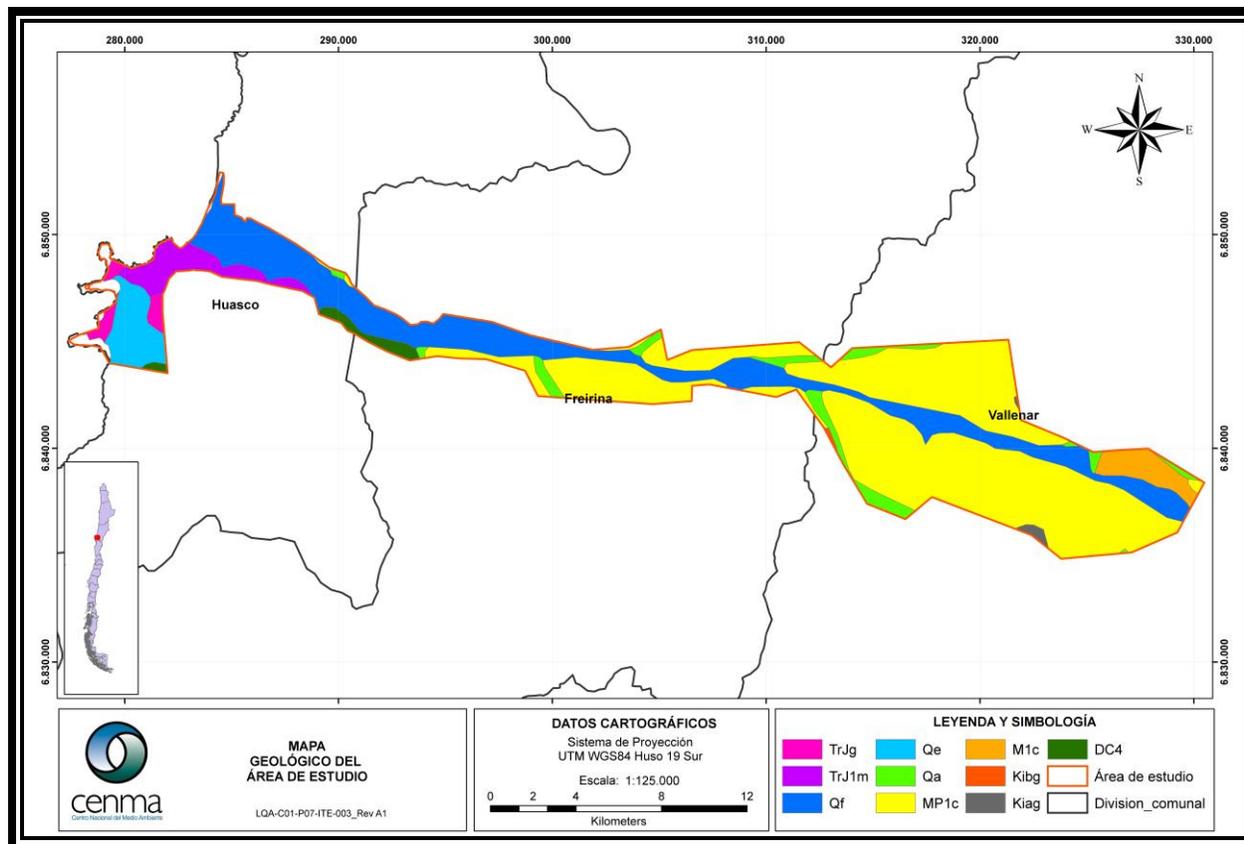


Ilustración 75: Mapa con los tipos geológicos de suelo en la zona de estudio.

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.

Para determinar el nivel natural de los contaminantes de interés, se seleccionaron los tres tipos de suelo que mejor representan el área de influencia del polvo negro: Qf (ubicado a lo largo de toda la cuenca), Qe y TrJ1m (correspondientes al sector costero de Huasco).

Para alcanzar muestras en sectores sin intervención antropogénica, no obstante, se identificaron sectores con el mismo tipo geológico de suelo, que se encuentran en la zona de estudio. El detalle de estas se presenta en la Tabla 21 y en la Ilustración 76.

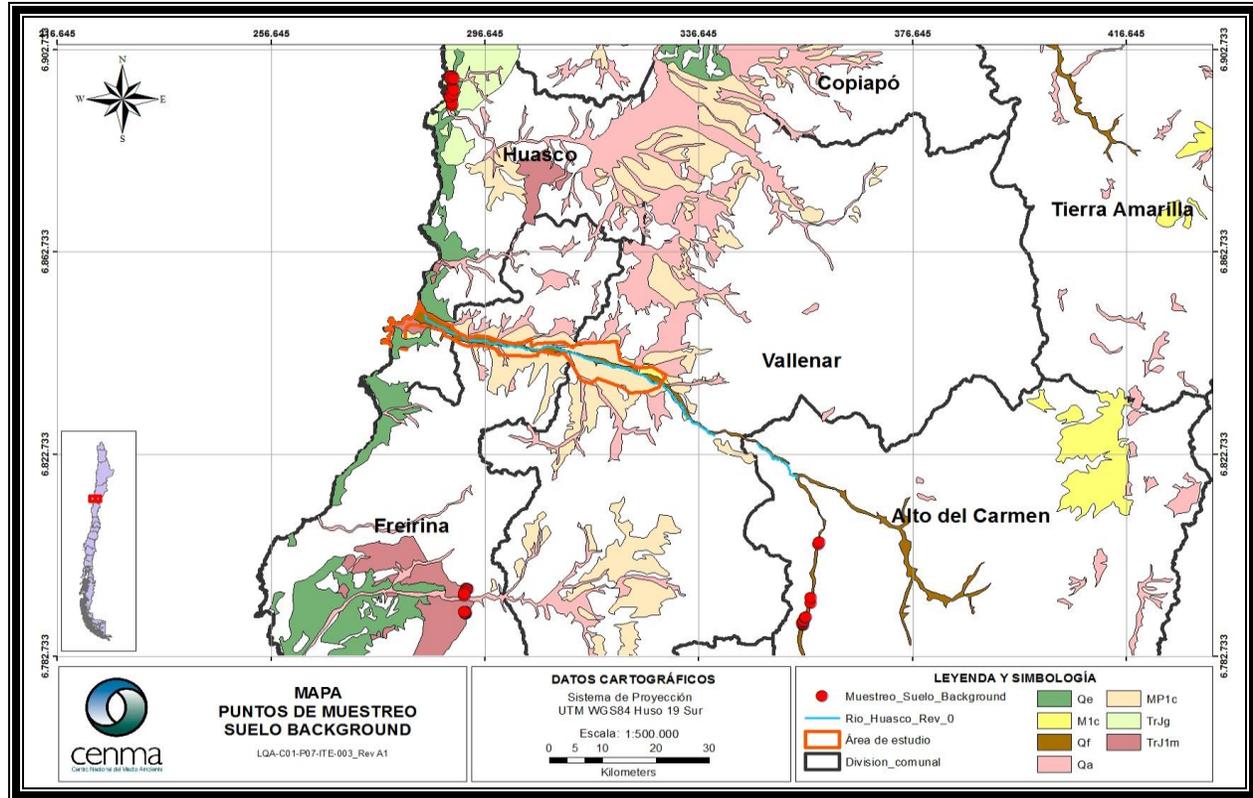


Ilustración 76: Ubicación de puntos de muestreo para los niveles background.

Fuente: LQA CENMA en base a Mapa Geológico de Chile: versión digital.

Tabla 21: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo background considerados en este estudio

N°	ID	N° Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
				Este	Norte
1	Suelo Qe-1	58373	6342	290618	6891711
2	Suelo Qe-2	58374	6342	290644	6892191
3	Suelo Qe-3	58375	6342	290231	6893454
4	Suelo Qe-4	58377	6342	290505	6894224
5	Suelo Qe-5	58378	6342	290770	6893809
6	Suelo Qe-6	58379	6342	290762	6895305
7	Suelo Qe-7	58380	6342	290838	6894743
8	Suelo Qe-8	58381	6342	290290	6896843
9	Suelo Qe-9	58382	6342	290207	6897170
10	Suelo Qe-10	58383	6342	290262	6897565
11	Suelo Qe-11	58384	6342	290708	6897414
12	Suelo Qe-12	58385	6342	290805	6897069
18	Suelo TrJ1m-1	58391	6342	293156	6791237
19	Suelo TrJ1m-2	58392	6342	293073	6791285
20	Suelo TrJ1m-3	58393	6342	293028	6791396
21	Suelo TrJ1m-4	58394	6342	293033	6791327
22	Suelo TrJ1m-5	58396	6342	293168	6791551
23	Suelo TrJ1m-6	58397	6342	292905	6791548

N°	ID	N° Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
				Este	Norte
24	Suelo TrJ1m-7	58398	6342	292794	6794834
25	Suelo TrJ1m-8	58399	6342	293451	6796043
26	Suelo TrJ1m-9	58400	6342	293227	6796237
27	Suelo TrJ1m-10	58401	6342	293171	6795908
28	Suelo TrJ1m-11	58402	6342	293006	6795623
29	Suelo TrJ1m-12	58403	6342	292865	6795161
30	Suelo Qf-1	58404	6342	356221	6788941
31	Suelo Qf-2	58406	6342	356202	6789139
32	Suelo Qf-3	58407	6342	356115	6789321
33	Suelo Qf-4	58408	6342	356205	6789561
34	Suelo Qf-5	58409	6342	356282	6789713
35	Suelo Qf-6	58410	6342	356583	6790399
36	Suelo Qf-7	58411	6342	356642	6790466
37	Suelo Qf-8	58412	6342	356668	6790569
38	Suelo Qf-9	58413	6342	357719	6793256
39	Suelo Qf-10	58414	6342	357703	6794319
40	Suelo Qf-11	58415	6342	359123	6804932
41	Suelo Qf-12	58417	6342	359234	6805297

Fuente: LQA CENMA

A continuación se presenta la estadística descriptiva de los metales en suelo para niveles background. Estos resultados corresponden a 36 muestras obtenidas en sectores no intervenidos y representan los tipos geológicos presentes en la zona de estudio.

Tabla 22: 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%UCL (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.

Se presenta a continuación la comparación de los valores promedio de metales para los diferentes sectores respecto de los valores background de la zona. Se destacan en rojo los valores que superan el nivel background, evidenciando que para los metales Cd, Pb, V y Fe existe un enriquecimiento tanto en la ciudad de Huasco como en su zona industrial.

Tabla 23: 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) 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 d 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

En las figuras a continuación se presenta la información de manera gráfica.

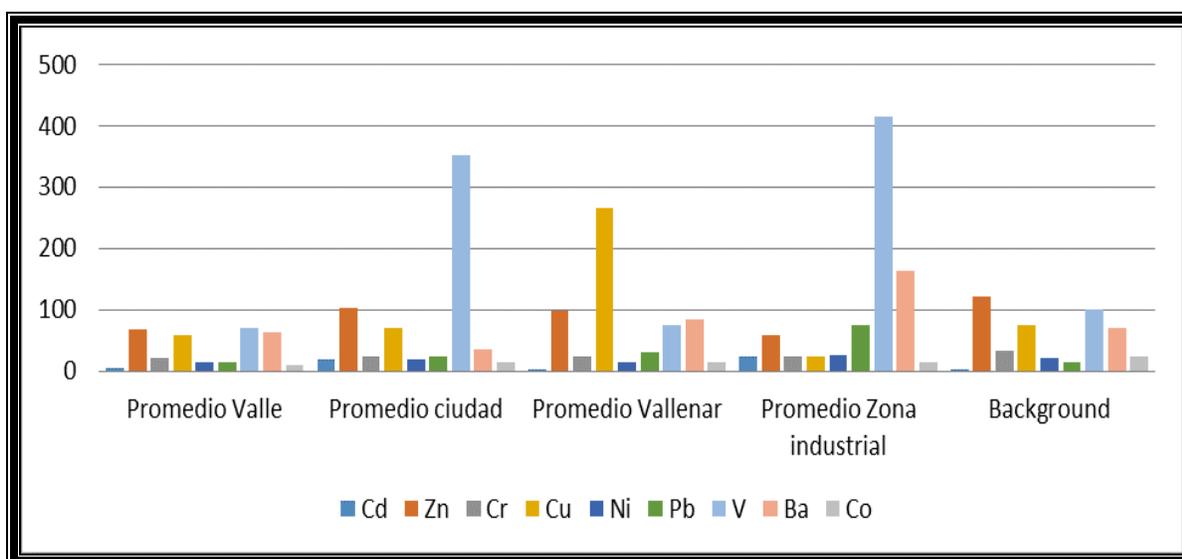


Ilustración 77: Valores promedio (mg/kg) de metales en suelo, para diferentes sectores en la zona de estudio, comparados con los niveles background.

Fuente: LQA CENMA

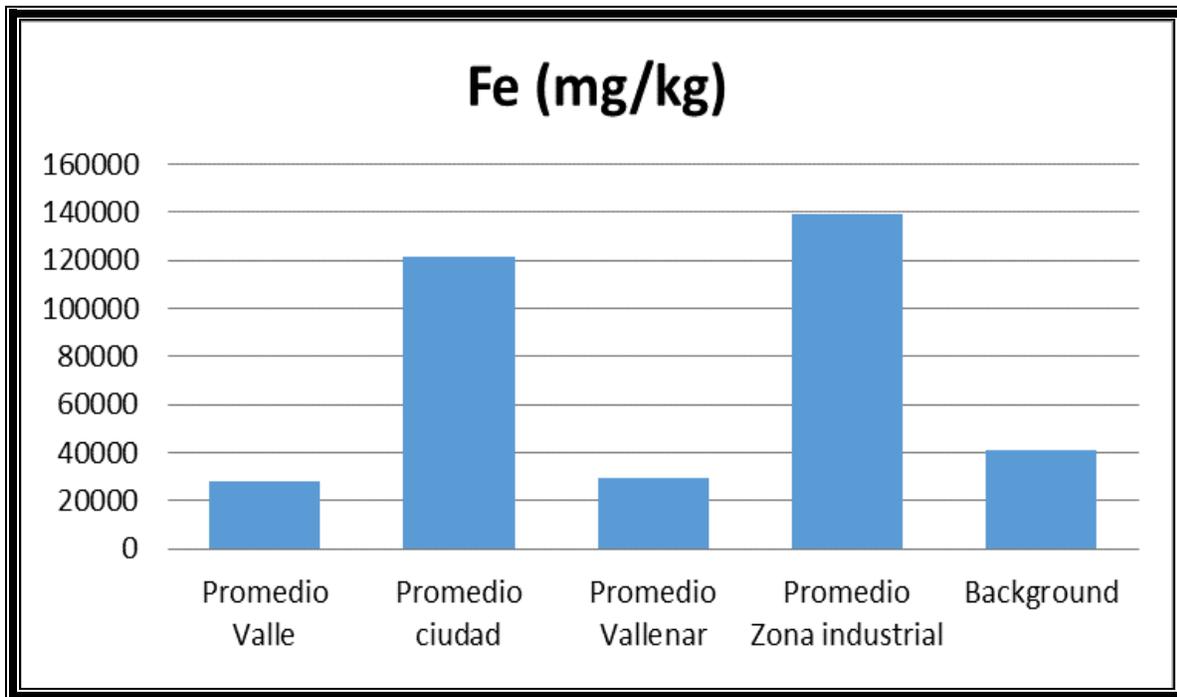


Ilustración 78: Valores promedio (mg/kg) de Fe en suelo, para diferentes sectores en la zona de estudio, comparados con los niveles background

Fuente: LQA CENMA

3.7 Sedimentos fluviales

Para el estudio de los sedimentos fluviales se obtuvieron muestras del río Huasco. El detalle de estas se presenta en la Ilustración 79 y Tabla 24.

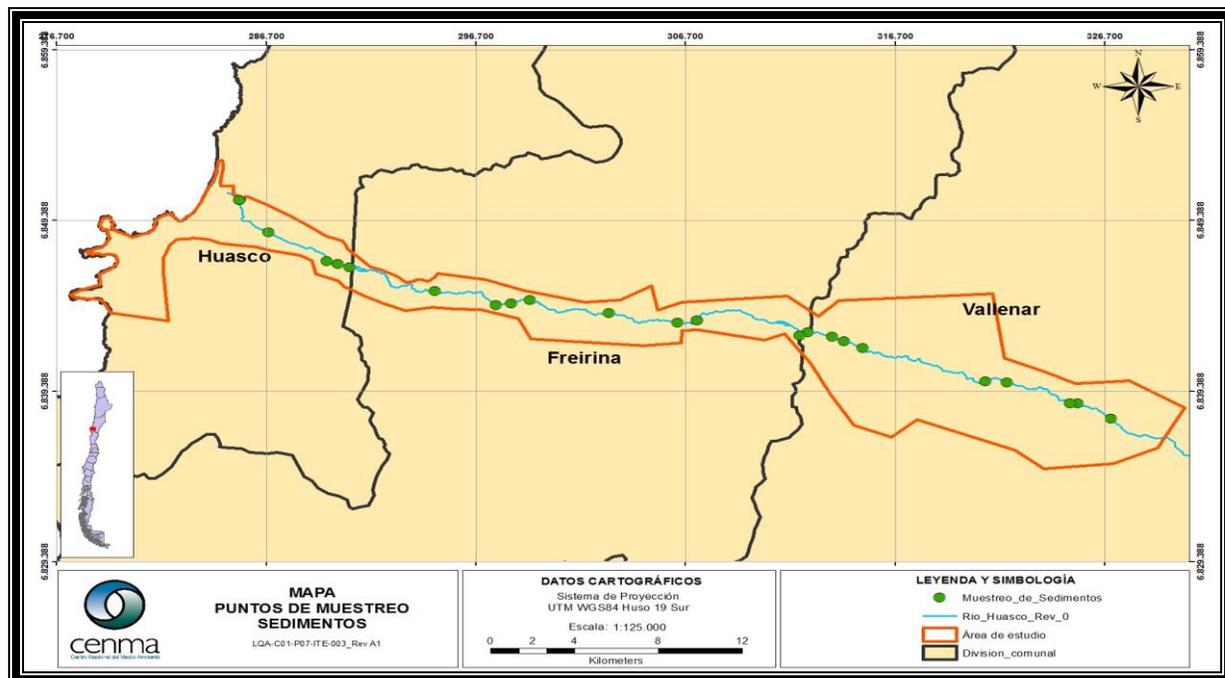


Ilustración 79: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos fluviales.

Fuente: LQA CENMA

Tabla 24: Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos fluviales considerados en este estudio

N°	ID	N° Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
				Este	Norte
1	Sedimento 1	58067	6311	325430	6838670
2	Sedimento 2	58068	6311	325039	6838690
3	Sedimento 3	58069	6311	321019	6839972
4	Sedimento 4	58070	6311	322052	6839901
5	Sedimento 5	58071	6311	298385	6844541
6	Sedimento 6	58072	6311	315154	6841922
7	Sedimento 7	58073	6311	314268	6842317
8	Sedimento 8	58074	6311	313694	6842569
9	Sedimento 9	58075	6311	312551	6842834
10	Sedimento 10	58076	6311	303070	6843988
11	Sedimento 11	58077	6311	299273	6844731
12	Sedimento 12	58078	6311	285443	6850598
13	Sedimento 13	58079	6311	285443	6850598
14	Sedimento 14	58080	6311	286815	6848711
15	Sedimento 15	58081	6311	290678	6846651
16	Sedimento 16	58082	6311	290116	6846841
17	Sedimento 17	58083	6311	289600	6847015
18	Sedimento 18	58084	6311	306317	6843418
19	Sedimento 19	58085	6311	307246	6843534
20	Sedimento 20	58086	6311	307245	6843544
21	Sedimento 21	58087	6311	294770	6845271
22	PTO 30	57852	6282	312149	6842655
23	PTO 49-1	57853	6282	297677	6844433
24	PTO 28	57854	6282	327015	6837772

Fuente: LQA CENMA



Ilustración 80: Fotos que ilustran la toma de muestras de sedimento.

Fuente: LQA CENMA

Los sedimentos constituyen el hábitat de muchos organismos bentónicos y epibentónicos y desempeñan un importante papel en la ecología de las comunidades acuáticas. Por otra parte, constituyen el destino de muchos contaminantes descargados a los sistemas acuáticos, por lo que pueden actuar como reservorio y como fuentes de contaminantes metálicos a lo largo del tiempo, por lo que el significado de las concentraciones de metales en sedimentos se debe realizar comparado con los niveles conocidos que causan efectos en los organismos acuáticos.

En Chile no existe normativa ambiental respecto de los valores aceptados para contaminantes metálicos en sedimentos fluviales. Sin embargo, las referencias internacionales utilizadas tanto en Canadá como en Estados Unidos de América, se relacionan con los trabajos de MacDonald y col (2000³²) quienes establecieron límites de metales en sedimentos fluviales superficiales, basados en los efectos adversos observados en especies bentónicas y epibentónicas. De este modo, define como **valores TEL** (Threshold Effect Level en inglés) a las concentraciones bajo la cual se espera que raramente ocurran efectos adversos (lo que podría asimilarse a una concentración segura). También define como **valores PEL** (Probably Effect Level en inglés) a las concentraciones sobre la cual se espera que frecuentemente se presenten efectos adversos (lo que podría asimilarse a una concentración máxima aceptable).

En la tabla a continuación se presentan los resultados obtenidos para la concentración de metales (mg/kg) en sedimentos fluviales en la zona de estudio, así como los valores TEL y PEL descritos en la literatura.

³² 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, 39 (1) 20-31

Tabla 25: Concentración de metales (mg/kg) en sedimentos fluviales y los valores TEL y PEL para algunos metales.

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	374,12	106,47	21,13	10,01	30833,33
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	340,60	72,05	34,35	10,22	18079,153
3	Sedimento 2	600 m Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Extracción de áridos,	6,41	107,40	12,55	103,93	12,60	15,80	832,11	72,68	63,97	14,74	28619,595
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	<2,09	244,81	76,92	15,49	9,09	15921,788
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	673,23	171,94	30,99	14,10	42258,256
6	Sedimento 6	11 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco, Difícil acceso, sin camino, vegetación	4,72	55,99	9,84	29,56	9,69	5,29	394,42	58,55	37,28	10,17	17231,076
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	<2,09	327,98	34,57	36,93	8,18	13911,049
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	<2,09	269,70	24,63	40,54	5,11	8510,872
9	Sedimento 9	14 km Pasando Ruta 5 de Vallenar a Huasco	3,46	49,00	7,60	26,20	6,98	<2,09	464,57	39,80	70,59	8,15	8815,867
10	PTO 30	500m al sur de Sed9	3,58	48,43	10,59	34,96	13,40	<2,09	430,60	50,38	42,83	8,81	23190,00
11	Sedimento 19	Pasando Totorá	4,28	41,23	15,12	11,41	9,96	4,37	461,74	58,48	29,32	9,34	22992,85
12	Sedimento 20		4,59	44,88	17,33	12,35	9,01	<2,09	477,21	62,73	30,89	9,26	16257,18
13	Sedimento 18	3 km al norte de Nicolasa	4,06	47,35	18,79	16,06	8,86	4,60	393,30	53,06	56,66	8,78	19590,29

	Identificación	Descripción del sector	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe
14	Sedimento 10	100 m del puente Nicolasa, Cercano a puente y zona urbana, Algas	3,43	40,25	10,37	13,18	8,42	<2,09	361,60	39,11	38,09	6,99	14330,000
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
Valores TEL (Threshold Effect Level) concentraciones bajo la cual se espera que raramente ocurran efectos adversos			0,99	120	43	32	23	38	460	No descrito	No descrito	No descrito	20000
Valores PEL (Probably Effect Level) concentraciones sobre la cual se espera que frecuentemente se presenten efectos adversos			5,00	460	110	150	49	130	1100	No descrito	No descrito	No descrito	40000

Fuente: LQA CENMA

De estos resultados se observa que los sedimentos estudiados en la cuenca del Río Huasco presentan concentraciones que requieren estudios específicos de riesgo ecológico para los metales Cd, Mn, Cu y Fe en algunos sectores de la misma. No obstante lo anterior, estos resultados no permiten relacionar estos valores con la presencia del polvo negro hasta tanto no se estudien los niveles de metales en sedimentos en toda la cuenca.

En las figuras a continuación, se presenta la distribución de algunos metales pesados en los sedimentos fluviales.

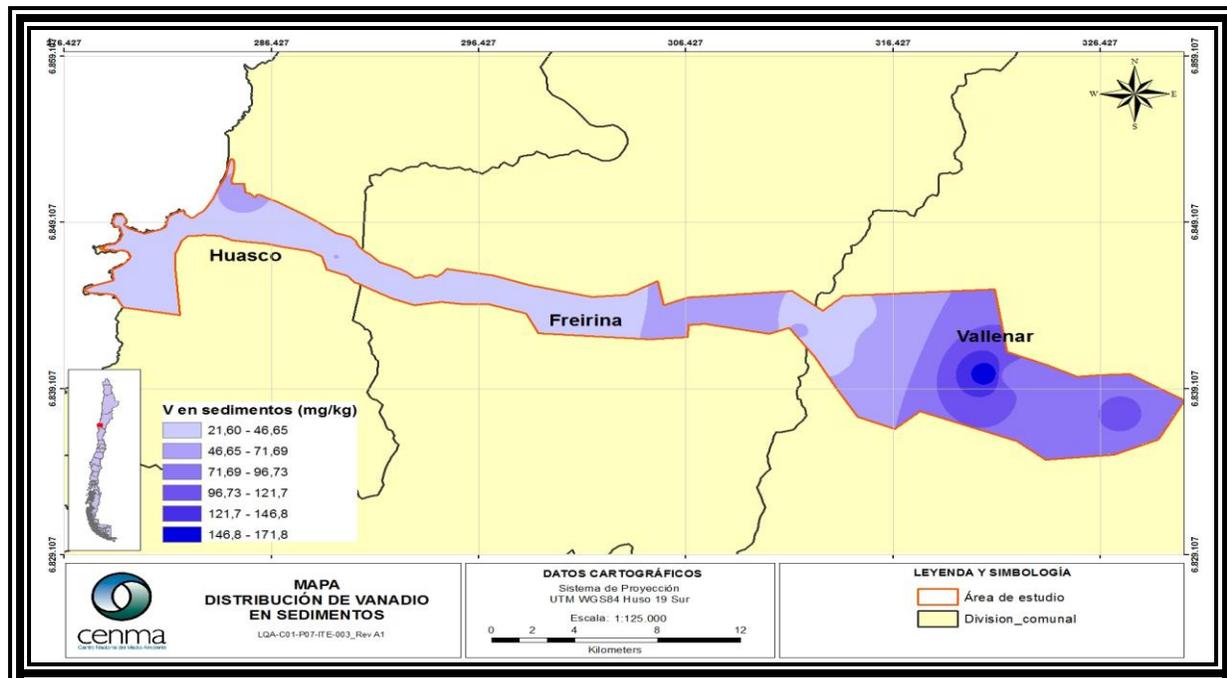


Ilustración 81: Distribución espacial de vanadio (mg/kg) en sedimentos fluviales.

Fuente: LQA CENMA

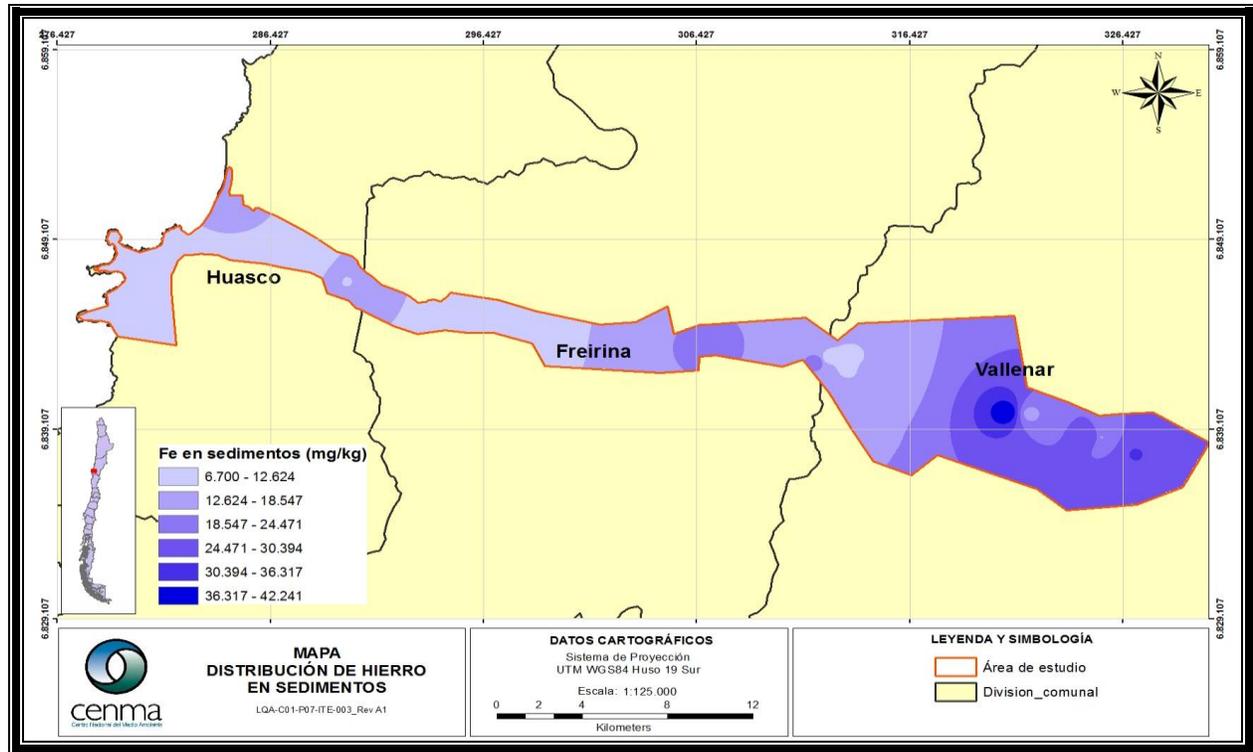


Ilustración 82: Distribución espacial de hierro (mg/kg) en sedimentos fluviales.
 Fuente: LQA CENMA

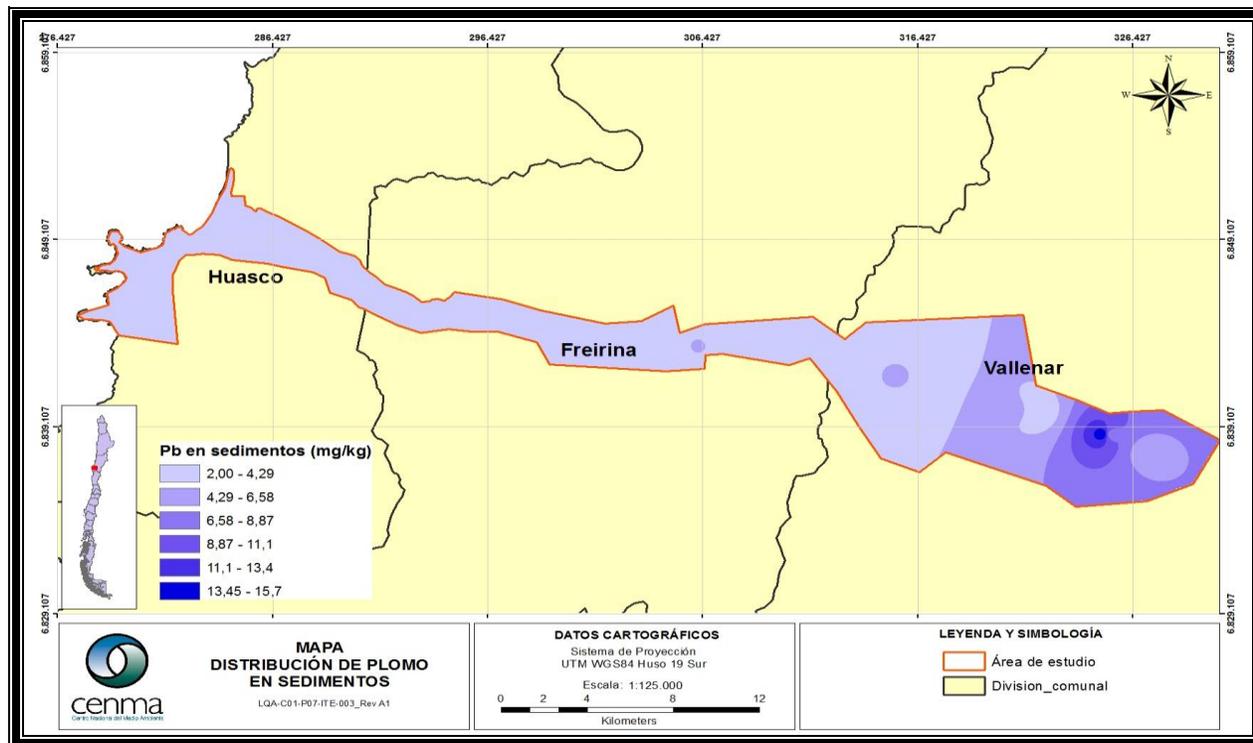


Ilustración 83: Distribución espacial de plomo (mg/kg) en sedimentos fluviales.
 Fuente: LQA CENMA

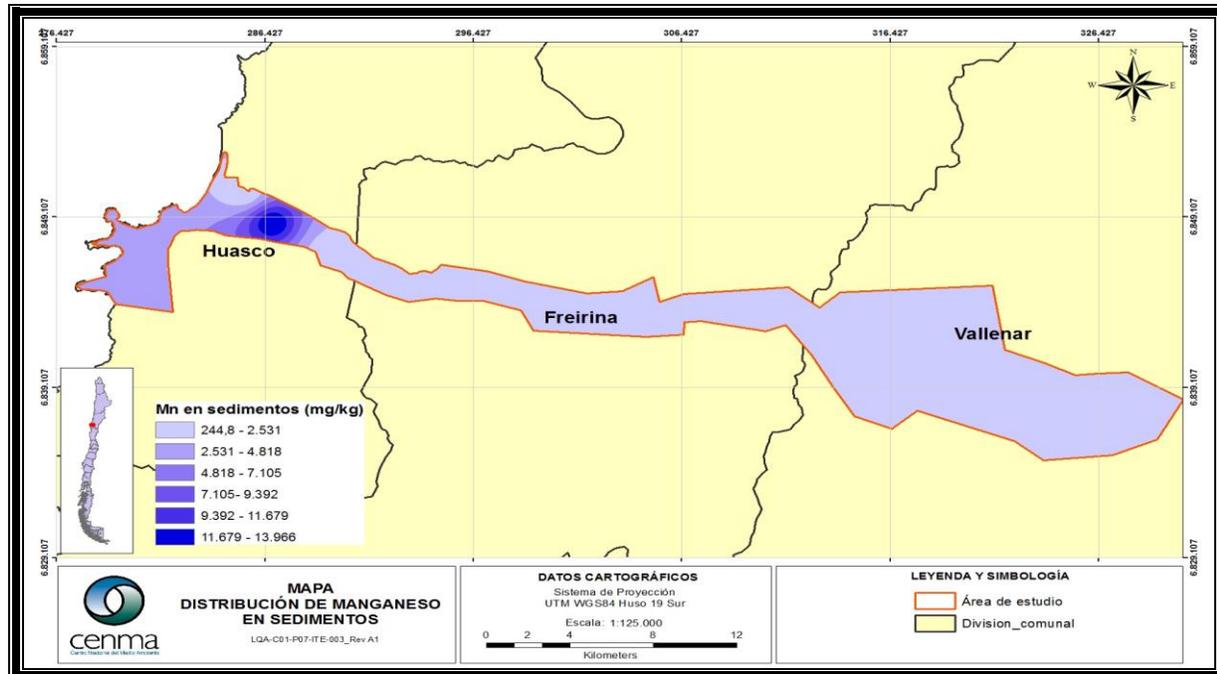


Ilustración 84: Distribución espacial de manganeso (mg/kg) en sedimentos fluviales.
Fuente: LQA CENMA

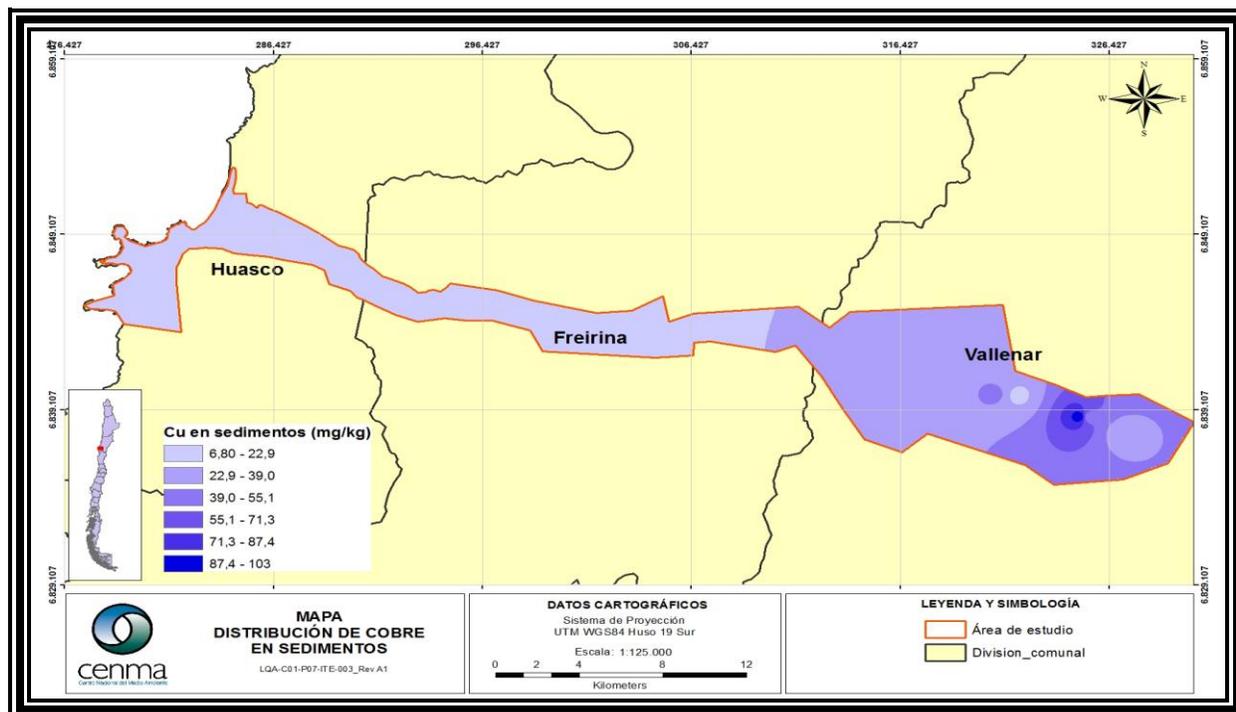


Ilustración 85: Distribución espacial de cobre (mg/kg) en sedimentos fluviales.
Fuente: LQA CENMA

3.8 Agua superficial

Para el estudio del agua superficial se obtuvieron muestras del río Huasco. El detalle de estas se presenta en la Tabla 26 y en la Ilustración 86.

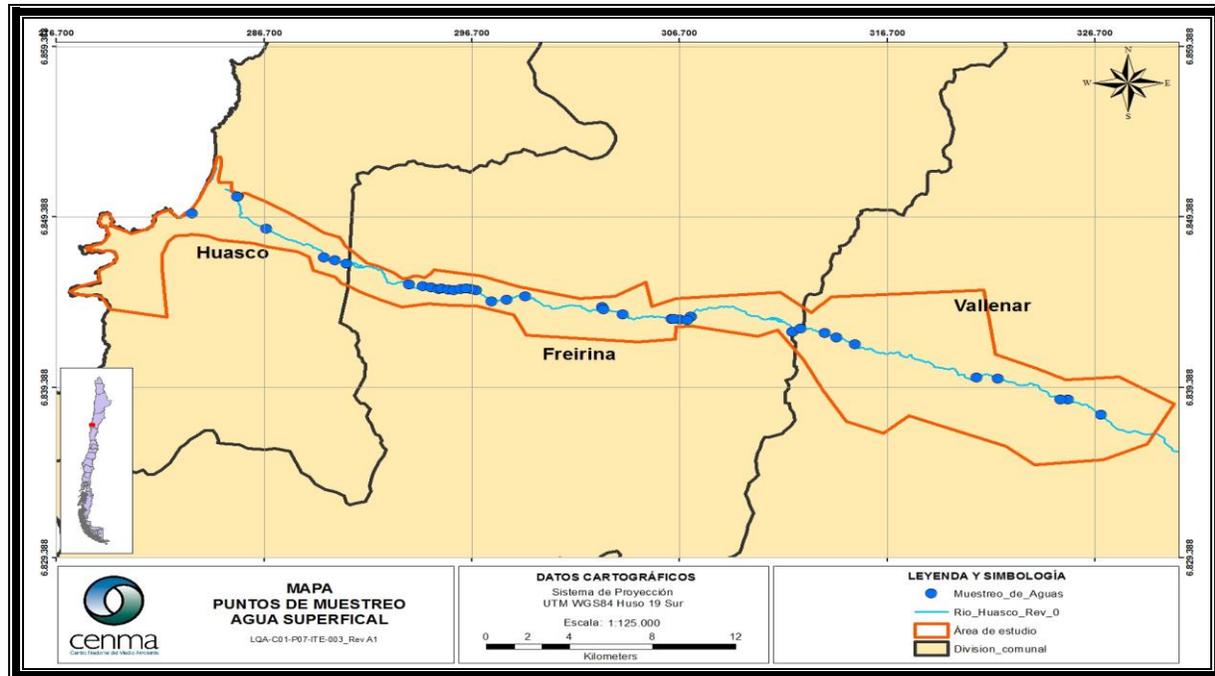


Ilustración 86: Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.

Fuente: LQA CENMA

Tabla 26: Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial considerados en este estudio

N°	ID	N° Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
				Este	Norte
1	PTO 12-Aguas	57836	6280	283247	6849609
2	PTO 28-Aguas	57837	6280	327015	6837772
3	PTO 30-Aguas	57838	6280	312149	6842655
4	PTO 30D-Aguas	57839	6280	312149	6842655
5	PTO 49-Aguas	57840	6280	297677	6844433
6	PTO 50-Aguas	57841	6280	302990	6844100
7	Agua 1-C3	58029	6309	325430	6838670
8	Agua 2-C3	58030	6309	325039	6838690
9	Agua 3-C3	58031	6309	321019	6839972
10	Agua 4-C3	58032	6309	322052	6839901
11	Agua 5-C3	58033	6309	298385	6844541
12	Agua 6-C3	58034	6309	315154	6841922
13	Agua 7-C3	58035	6309	314268	6842317
14	Agua 8-C3	58036	6309	313694	6842569
15	Agua 9-C3	58037	6309	312551	6842834
16	Agua 10-C3	58038	6309	303070	6843988
17	Agua 11-C3	58039	6309	299273	6844731
18	Agua 12-C3	58040	6309	285443	6850598
19	Agua 13-C3	58041	6309	285443	6850598
20	Agua 14-C3	58042	6309	286815	6848711
21	Agua 15-C3	58043	6309	290678	6846651

N°	ID	N° Cenma	Solicitud	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
				Este	Norte
22	Agua 16-C3	58044	6309	290116	6846841
23	Agua 17-C3	58045	6309	289600	6847015
24	Agua 18-C3	58046	6309	306317	6843418
25	Agua 19-C3	58047	6309	306734	6843376
26	Agua 20-C3	58048	6309	306415	6843396
27	Agua 21-C3	58049	6309	307246	6843534
28	Agua 22-C3	58050	6309	307245	6843544
29	Agua 23-C3	58051	6309	307098	6843359
30	Agua 24-C3	58052	6309	303983	6843678
31	Agua 25-C3	58053	6309	293693	6845413
32	Agua 26-C3	58054	6309	294362	6845331
33	Agua 27-C3	58055	6309	294770	6845271
34	Agua 28-C3	58056	6309	295113	6845160
35	Agua 29-C3	58057	6309	295264	6845187
36	Agua 30-C3	58058	6309	295600	6845131
37	Agua 31-C3	58059	6309	295836	6845095
38	Agua 32-C3	58060	6309	296186	6845163
39	Agua 33-C3	58061	6309	296921	6845096
40	Agua 34-C3	58062	6309	296921	6845096
41	Agua 35-C3	58063	6309	296689	6845150
42	Agua 36-C3	58064	6309	296437	6845203

Fuente: LQA CENMA



Ilustración 87: Fotos que ilustran la toma de muestras de agua y las condiciones del río al momento del muestreo.

Fuente: LQA CENMA

Se presentan, en las tablas a continuación, los resultados de concentración de metales totales (mg/L) en agua superficial.

Tabla 27: 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
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

Nº muestra	Nº Cliente	Cd	Zn	Cr	As
41	Agua 35-C3	0,0017	<0,009	<0,006	<0,015
42	Agua 36-C3	0,0016	<0,009	<0,006	<0,015

Fuente: LQA CENMA

Tabla 28: 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
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

N° muestra	N° Cliente	Cu	Ni	Pb	Al	Se
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 29: Concentración de metales totales (mg/L), Mn, Ag, V, Ba, Co en aguas superficiales.

N° muestra	N° 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
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

N° muestra	N° Cliente	Mn	Ag	V	Ba	Co
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 30: Concentración de metales totales (mg/L), Mo, Be, B, Fe en aguas superficiales.

N° muestra	N° 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

Nº muestra	Nº Cliente	Mo	Be	B	Fe
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
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

Las concentraciones de metales en aguas superficiales son muy bajas y no parecen tener relación con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.

3.9 Percepción del polvo negro por parte de las personas.

Como parte del estudio, se aplicó un cuestionario a 23 personas que fueron encontradas al azar, durante las actividades en terreno. De manera general, el cuestionario³³ es un instrumento ampliamente utilizado en la investigación cualitativa para recolectar datos en base a preguntas abiertas o cerradas, con una o más alternativas para que el participante responda. En el caso del estudio, se diseñó un cuestionario sencillo, con cuatro preguntas cerradas y 8 preguntas abiertas además de un espacio para comentarios generales. Las preguntas cerradas son más fáciles de codificar y preparar para su análisis pero pueden no representar todas las respuestas posibles. Por su parte, las preguntas abiertas proporcionan información más amplia pero a la vez, puede resultar más difícil de conciliar con las respuestas al problema de estudio.

Este es apenas una evaluación preliminar de la percepción del riesgo y fue directamente enfocado al tema del polvo negro en Huasco, no incluyendo otras inquietudes o temas ambientales que eventualmente pueden ser de interés para las personas. Tampoco constituye una evaluación sociodemográfica de la zona de estudio. Por consiguiente, no tiene una representación estadística de las personas que viven en la zona de estudio, ni de su distribución por sexo, edad, ocupación, etc. Es una evaluación preliminar, al azar, como aproximación a la percepción del riesgo.

Las personas que respondieron el cuestionario, correspondieron en su mayoría a la comuna de Huasco (13 personas), Freirina (7 personas) y Vallenar (3 personas). La mayoría de las personas que respondieron el cuestionario tienen entre 30 y 65 años.

³³ R. Hernández Sampieri, C. Fonseca Collado, M. del P. Baptista Lucio “Metodología de la investigación”. Quinta edición. 2010. ISBN: 978-607-15-0291-9 página 217.

Tabla 31: Distribución por sexo y edad de las personas que contestaron el cuestionario, distribuidas por las comunas de la zona de estudio.

		Comuna de Huasco	Comuna de Freirina	Comuna de Vallenar
Sexo	Masculino	7	6	
	Femenino	6	1	3
	Total	13	7	3
Edad	Mayor de 65 años	1	3	
	30 – 65 años	11	3	3
	Menor de 30 años	1	1	

Fuente: Elaboración propia.

La percepción prioritaria, respecto del polvo negro es:

- Se percibe constante (no hay diferencia entre el día y la noche).
- Se percibe igual en invierno que en verano.
- Creen que tiene hierro, ácidos, venenos, tóxicos.
- Sienten el polvo en las casas, techumbres, olivos.
- Perciben que se deposita entre 1 hora y 1 día después de haber limpiado.
- Creen que produce afectaciones a la salud (en la ciudad de Huasco) y a la economía (en el valle de Huasco).
- Muchos creen que deberían ser indemnizados o compensados por estas afectaciones.
- Las principales fuentes contaminantes identificadas son: la Planta de Pellets, las termoeléctricas y el tren.

CENMA no es responsable de las respuestas entregadas por cada persona. Los cuestionarios íntegros se presentan en el **Anexo 7** de este informe.

4 OBJETIVO 3: DEFINIR LA ZONA DE INFLUENCIA DEL POLVO NEGRO A TRAVÉS DE MODELACIÓN.

Una de las herramientas aplicadas para estimar el área que recibe la influencia del polvo negro en la comuna de Huasco son los denominados modelos de calidad del aire. Estos emplean técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan el movimiento de contaminantes presentes en el aire, ya sea que se dispersen y reaccionen durante su permanencia en la atmósfera.

La información preliminar necesaria incluye datos meteorológicos e información de la(s) fuente(s) tales como tasas de emisión del contaminante, altura de la pila, etc.

En general, estos modelos están diseñados para caracterizar los contaminantes primarios que se emiten directamente a la atmósfera y, en algunos casos, los contaminantes secundarios que se forman como resultado de reacciones químicas complejas dentro la atmósfera.

Los modelos de calidad de aire han sido ampliamente utilizados para la gestión de la calidad del aire. Se utilizan especialmente para predecir las concentraciones de contaminantes futuras desde fuentes proyectadas, para estimar la eficacia de programas de reducción de emisiones y para estudios de exposición a contaminantes nocivos para los seres humanos y el medio ambiente.

Los modelos de calidad del aire más comúnmente usados a nivel internacional incluyen los siguientes tipos³⁴:

Modelos de dispersión: Estos modelos se utilizan para estimar la concentración de contaminantes en los receptores cercanos a una fuente de emisiones.

Modelos Fotoquímicos: Estos modelos se utilizan para simular los impactos de todas las fuentes mediante la estimación de las concentraciones y depósitos tanto de contaminantes inertes como de contaminantes químicamente reactivos, en mayores escalas espaciales.

Modelos de Receptor - Estos modelos son técnicas de observación que utilizan las características químicas y físicas de los gases y partículas medidas en la fuente y el receptor tanto para identificar la presencia de y para cuantificar las contribuciones de origen a las concentraciones del receptor.

En general, los modelos de dispersión utilizan fórmulas matemáticas para caracterizar los procesos atmosféricos mediante los cuales se dispersa un contaminante emitido desde una fuente. Sobre la base de las emisiones y los factores meteorológicos, un modelo de dispersión se puede utilizar para predecir las concentraciones en la dirección del viento seleccionado ubicaciones de los receptores.

Entre los modelos de calidad de aire recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) se encuentran los de tipo screening, que habitualmente se aplican como alternativa inicial para establecer si se requieren modelos más detallados. O sea, para una etapa preliminar de reconocimiento. Los modelos tipo screening recomendados se denominan como AERSCREEN, COMPLEX1, CTSCREEN, RTDM3.2, SCREEN3, TSCREEN, VALLEY, y VISCREEN.

³⁴ Obtenido de <http://www3.epa.gov/ttn/scram/aqmindex.htm>

También es importante recordar, que la modelación en este caso, corresponde a Material Particulado Sedimentable (MPS) que es aquella fracción “gruesa” del material particulado, que se deposita por acción de la gravedad y que se transporta, generalmente, por acción del viento, especialmente por rachas de viento que son capaces de movilizar partículas sólidas y transportarlas a grandes distancias, y en direcciones variables.

El comportamiento del MPS en la atmósfera es cualitativa y cuantitativamente diferente de las fracciones más finas de material particulado (MP10 y MP2,5) que se trasladan con las masas de aire, impulsados por vientos de cualquier velocidad.

El objetivo central de esta modelación fue establecer, en base a antecedentes, hasta dónde pueden llegar las partículas de MPS, de manera de corroborar si la instalación de los muestreadores fue correcta o no.

Los modelos tradicionales de calidad de aire (como los conocidos Calmet-Calpuff) no resultan los más eficientes para esta condición, por cuanto se requiere estimar la distancia máxima que podría alcanzar una partícula gruesa (MPS) por la acción de vientos de gran velocidad y corta duración (rachas) para desplazarse a nivel de la superficie y depositarse en forma de polvo negro. También hay que considerar que una parte importante del polvo negro no se forma por reacciones químicas en la atmósfera sino que se traslada desde fuentes areales o desde fuentes móviles y se deposita en las estructuras (ventanas, señaléticas, caminos, etc).

En base a lo anterior, se escogió el modelo SCREEN3, que permite obtener estimaciones sencillas de la concentración de un contaminante genérico que puede llegar a diferentes distancias de una fuente, según condiciones meteorológicas generales. Es un programa con requerimientos sencillos de software, por lo que resulta apropiado para el objetivo de corroborar si los medidores de MPS fueron instalados de manera tal que permitieran obtener muestras de polvo depositado dentro y fuera de la zona de influencia. Esta definición fue esencial para la ejecución del estudio, por cuanto los muestreadores de MPS en el Valle del Huasco, que pertenecen a la red de CAP fiscalizados por el SAG, se encuentran únicamente en la zona olivícola de Huasco Bajo, pero no existen muestreadores ni en la ciudad de Huasco³⁵ ni en la zona entre Freirina y Vallenar.

Se presentan a continuación, los resultados de la modelación de la dispersión de contaminantes provenientes de la fuente identificada como “depósito temporal de carbón” que corresponde al depósito de material que se encuentra en la Península Guacolda.

La fuente de emisión de polvo negro, denominada como “depósito temporal de carbón”, tiene un área³⁶ de 0,77 ha equivalentes a 7 600 m². La emisión por acción del viento en una pila de acopio se determinó usando la siguiente ecuación:

$$Emisión\ MP\left(\frac{kg}{día}\right) = K_4 \cdot \frac{s}{1,5} \cdot \frac{f}{15} \cdot \text{Áreadepila}(Ha)_{37}$$

Donde

K₄ Constante para el cálculo de erosión del viento.

s Porcentaje de finos

f Tiempo en que el viento es superior a 5,3 m/s, considerando emisión fugitiva de material particulado.

³⁵ Donde se encuentra la mayor cantidad de receptores humanos potencialmente expuestos.

³⁶ Area estimada utilizando herramientas gráficas de Google Earth Pro.

³⁷ Obtenida de “Contess Environmental, 2006: WRAP Fugitive Dust Handbook, Countess Environmental 2006”

Los valores de estas variables se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 32: Valores empleados para estimar las emisiones de MPS por acción del viento.

Variable	Valor
K_4 (Constante para el cálculo de erosión del viento)	1,904 ³⁸
s (porcentaje de finos)	17 % ³⁹

Se calculó el tiempo en que la velocidad del viento es superior a 5,3 m/s a partir de los datos registrados en la estación Huasco Sívica.³⁹ Esta estación presenta registros en línea de velocidad del viento desde el 6 de abril de 2016 hasta la fecha, por lo que se ocuparon los valores hasta el 6 de diciembre de 2016, como se observa en la siguiente figura.

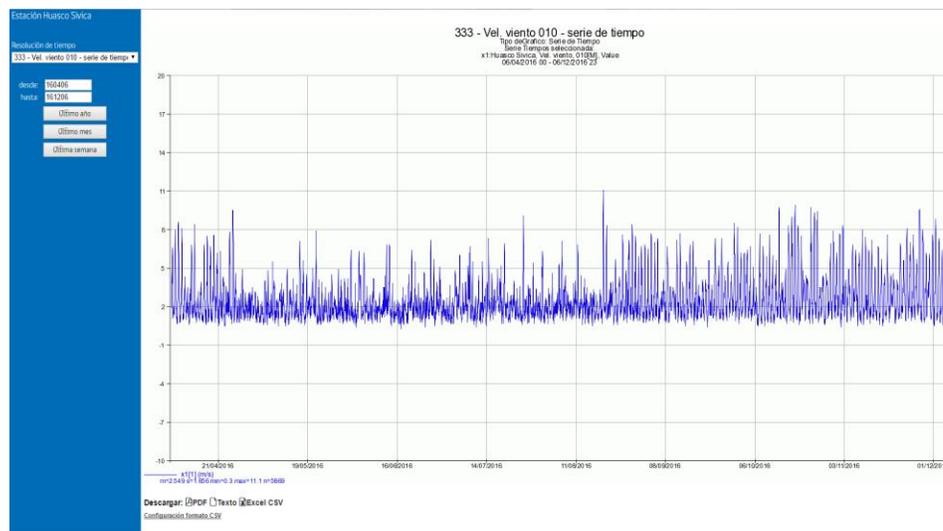


Ilustración 88: Vista de la información de velocidad de viento en la estación Huasco Sívica.

De la totalidad de registros de la ilustración anterior, se tomaron aquellos que fuesen superiores a 5,3 m/s y se contabilizaron. Esto arrojó un total de 488 valores, siendo el número de horas en que se registra la situación anteriormente descrita. De esta forma, con un total de 5879 registros, se asume que el 8,3 % del tiempo se tienen velocidades del viento superiores a 5,3 m/s. Es por ello que, en este caso, se asume $f = 8.3$.

Considerando un área de la pila de 0,77 ha se llega al siguiente resultado:

$$Emisión MP \left(\frac{kg}{día} \right) = 1,904 \cdot \frac{17}{1,5} \cdot \frac{8,3}{15} \cdot 0,77$$

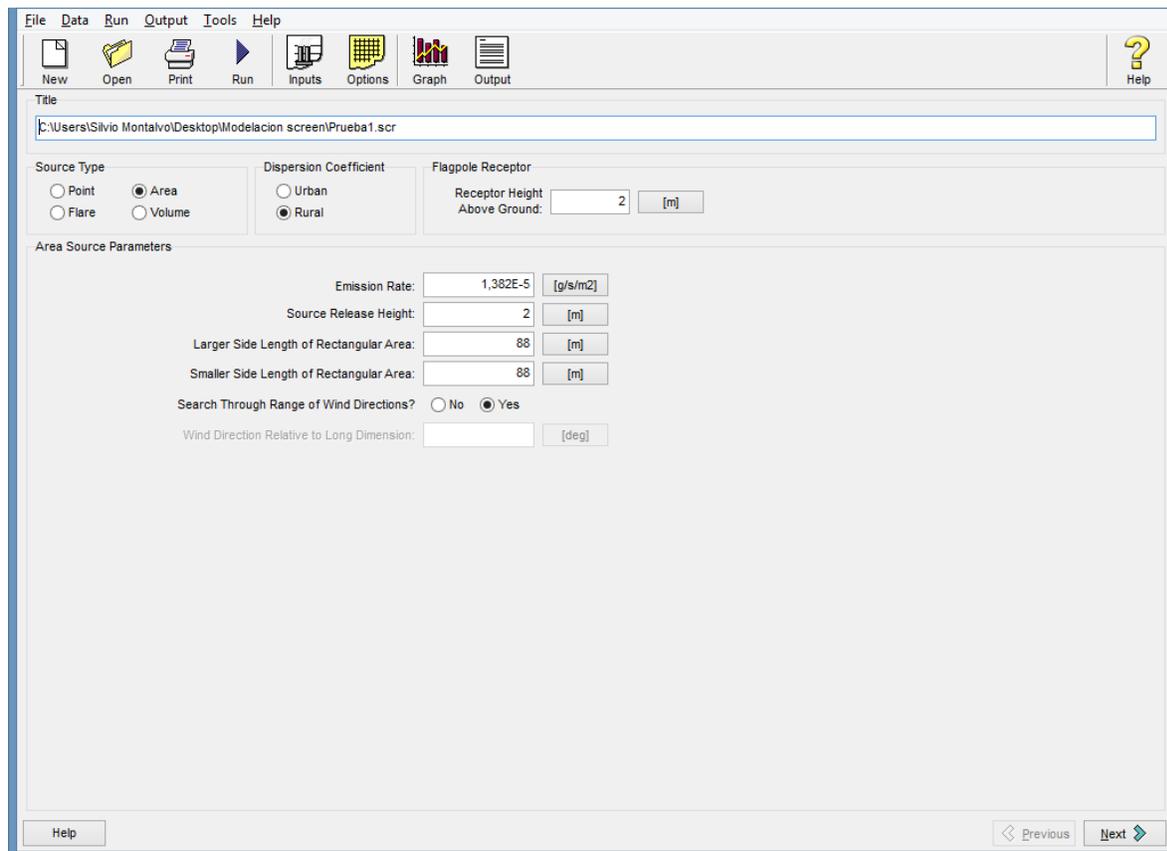
$$Emisión MP = 9,1940 \left(\frac{kg}{día} \right) \cdot \frac{1(día)}{24(h)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \cdot \frac{1000(g)}{1(kg)}$$

³⁸ Extraído de “INFORME FINAL Antecedentes para Elaborar el Plan de Prevención de la Localidad de Huasco, DICTUC del 7 de Agosto de 2015”. Disponible en http://www.greenlabuc.cl/wp-content/uploads/2016/04/2015-PPDAHUACO-INFORME_FINAL.pdf

³⁹ (<http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/234>).

$$\text{Emisión MP} = 0.1064 \left(\frac{g}{s} \right)$$

Se ingresaron estos valores de entrada al software SCREEN3, el cual puede realizar modelaciones simples de concentraciones de tipo gaussiana. A continuación, se aprecia una imagen de los valores asumidos, considerando una fuente de área. Cabe destacar que el valor de la tasa de emisión (Emission Rate), se obtiene al dividir la emisión por el área de la pila en estudio. Por requerimientos del software se asumió que la fuente “depósito temporal de carbón”, es una pila cuadrada de 88 metros de longitud, ya que el modelo considera un área con forma rectangular.



The screenshot shows the SCREEN3 software interface with the following parameters set:

- Title:** C:\Users\Silvio Montalvo\Desktop\Modelacion screen\Prueba1.scr
- Source Type:** Area (selected)
- Dispersion Coefficient:** Rural (selected)
- Flagpole Receptor:** Receptor Height Above Ground: 2 [m]
- Area Source Parameters:**
 - Emission Rate: 1,382E-5 [g/s/m2]
 - Source Release Height: 2 [m]
 - Larger Side Length of Rectangular Area: 88 [m]
 - Smaller Side Length of Rectangular Area: 88 [m]
 - Search Through Range of Wind Directions? Yes (selected)
 - Wind Direction Relative to Long Dimension: [deg]

Ilustración 89: Vista de la pantalla con las variables iniciales de entrada al software SCREEN3.

Fuente: Elaboración propia con software de modelación SCREEN3

Se asumió una velocidad del viento en la zona, como promedio con un valor de 5,3 m/s. Por otro lado, se asumió una temperatura de 293 K, equivalentes a 20 °C.

Para el receptor se seleccionó ambiente rural, con altura de receptor de 2 m, lo que equivale a una distancia un poco mayor a la altura de una persona promedio y relativamente parecida a la altura en que se mide el MPS en el Valle de Huasco.

A continuación, se seleccionaron las categorías de estabilidad meteorológicas:

- La categoría A corresponde a una situación muy inestable o de alta dispersión de los contaminantes atmosféricos.
- La categoría F corresponde a una situación estable y equivale a la peor situación cuando el receptor se encuentra cercano a la fuente emisora.

Se analizaron todas las condiciones de estabilidad atmosférica que permite el programa, lo que se explica más adelante.

Se evaluó si los contaminantes pueden llegar a una distancia de 30 km de la fuente, basado en las mediciones disponibles inicialmente. Posteriormente se introdujeron las distancias estimadas entre los receptores y la fuente de emisión. En este caso, se consideraron dos escenarios extremos: 500 m (equivalente a las inmediaciones de la Península Guacolda) y 30 km (sector del valle del Huasco camino a Freirina).

Posteriormente el sistema verifica la consistencia de toda la información de entrada y en caso que estén ingresadas adecuadamente, activa la casilla “Run” la cual activa el modelo de cálculo e informa posteriormente los resultados.

Los resultados arrojados por el software SCREEN3, se agrupan en un archivo de salida, los cuales se pueden rescatar en planillas Excell. A partir de la información obtenida se preparó el siguiente gráfico.

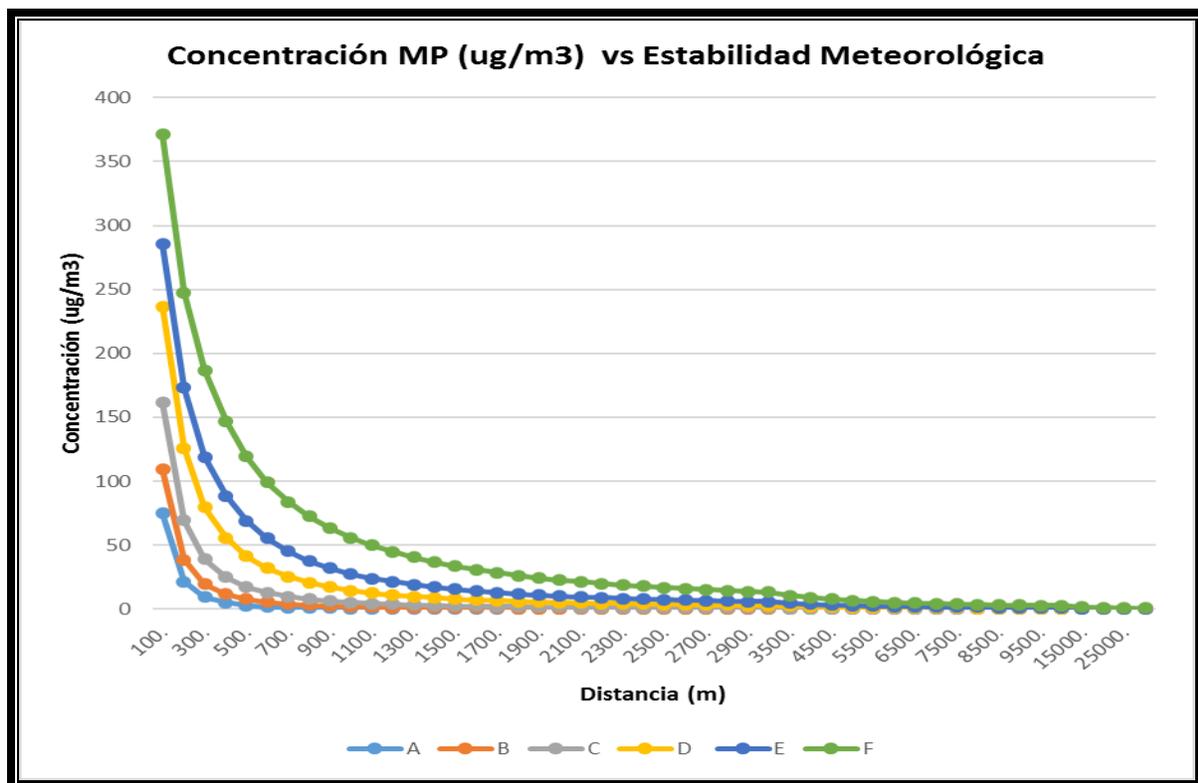


Ilustración 90: Variación de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes en la distancia (m) para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, obtenidos a partir del modelo SCREEN3.
Fuente: LQA CENMA

En la figura anterior se aprecia que las concentraciones de material en el aire disminuyen a medida que aumenta la distancia entre el receptor y la fuente de emisión. Por ejemplo, para la condición F de estabilidad (estable) se obtienen los valores más elevados, lo cual es acorde a lo esperado.

En la tabla a continuación se presentan los detalles de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del contaminante a intervalos de 500 m hasta los 10 km y posteriormente, cada 5 km hasta

completar los 30 km de distancia respecto de la fuente emisora, lo que corresponden a distancias genéricas establecidas por el programa.

Tabla 33: Concentración modelada del contaminante a diferentes distancias desde la fuente emisora, para diferentes condiciones de estabilidad meteorológica. Fuente de polvo negro “depósito temporal de carbón”.

Distancia entre la fuente y el receptor (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en cada una de las condiciones de estabilidad meteorológica ⁴⁰					
	A Fuertemente Inestable	B Moderadamente Inestable	C Ligeramente inestable	D Neutra	E Ligeramente estable	F Estable
500.	2,822	7,740	17,390	41,460	69,030	119,500
1000.	0,635	1,997	5,246	14,560	27,400	55,930
1500.	0,446	0,899	2,542	8,012	15,550	33,670
2000.	0,347	0,532	1,514	5,197	10,230	22,750
2500.	0,286	0,392	1,012	3,702	7,446	16,890
3000.	0,244	0,326	0,729	2,803	5,730	13,160
3500.	0,213	0,284	0,555	2,228	4,584	10,760
4000.	0,190	0,252	0,444	1,825	3,777	9,022
4500.	0,171	0,228	0,371	1,530	3,208	7,719
5000.	0,157	0,208	0,321	1,307	2,773	6,708
5500.	0,144	0,191	0,286	1,133	2,427	5,906
6000.	0,134	0,177	0,260	0,995	2,150	5,256
6500.	0,125	0,165	0,240	0,882	1,923	4,722
7000.	0,117	0,155	0,224	0,790	1,734	4,274
7500.	0,110	0,146	0,210	0,713	1,575	3,909
8000.	0,105	0,138	0,198	0,647	1,439	3,595
8500.	0,099	0,131	0,188	0,591	1,323	3,324
9000.	0,094	0,124	0,178	0,543	1,222	3,086
9500.	0,090	0,119	0,170	0,500	1,133	2,878
10000.	0,086	0,113	0,162	0,463	1,055	2,693
15000.	0,061	0,080	0,113	0,257	0,609	1,591
20000.	0,048	0,062	0,088	0,171	0,413	1,124
25000.	0,040	0,052	0,072	0,127	0,312	0,859
30000.	0,034	0,044	0,062	0,102	0,248	0,689

Fuente: LQA CENMA

Esta tabla ratifica que en condiciones atmosféricas estables (condición F), los contaminantes emitidos en el depósito temporal de carbón en la Península Guacolda podrían llegar a la ciudad de Huasco y afectar zonas donde no existe muestreo de manera sistemática.

Para el caso de la Planta de Pellets, se utilizó como base el inventario de emisiones de la etapa de Operación Situación con Proyecto Fase 2, declaradas en el EIA “Ampliación y

⁴⁰ Clases de Estabilidad Atmosférica (Pasquill 1961, Turner 1970) Determinación basada en observaciones de velocidad del viento, radiación solar y nubosidad.

mejoras operacionales en Planta de Pellets⁴¹. La estimación de la Tasa de emisión, considero todos los materiales (preconcentrado, pellets, pellets feed, pellets chips, carbón y caliza), las dimensiones de las canchas de acopio y sus correspondientes emisiones (Tabla 34).

Tabla 34: Tasas de emisión de MP Planta de Pellets

Material	Canchas	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Alto (m)	Volumen (m ³)	Emisiones areales – Situación con Proyecto en Fase 2 (kg/día).	Tasa de Emisión Situación con Proyecto en Fase 2 (g/sm ²)
Preconcentrado	1	408	55	22440	12	269280	345,66	1,78E-04
Pellet	1	800	50	40000	12	480000	356,5	1,03E-04
Pellets feed	1	300	55	16500	6	99000	92,24	6,47E-05
Pellets chips	1	100	50	5000	10	50000	120,33	2,79E-04
Carbón	1			21057	6	126342	25,58	1,41E-05
Caliza	2	72	42	6048	6	36288	35,04	6,71E-05
Total	7	1680	252	111045	52	1060910	975,35	1,02E-04

Fuente: Elaboración propia en base al CAP.2009. EIA Ampliación y mejoras operacionales en Planta de Pellets. Anexo 6.1. Análisis de Impacto en la Calidad del Aire.

Se asume para efectos del modelo una área total de 111.045 m². De esta forma, los valores de entrada son los que se indican a continuación:

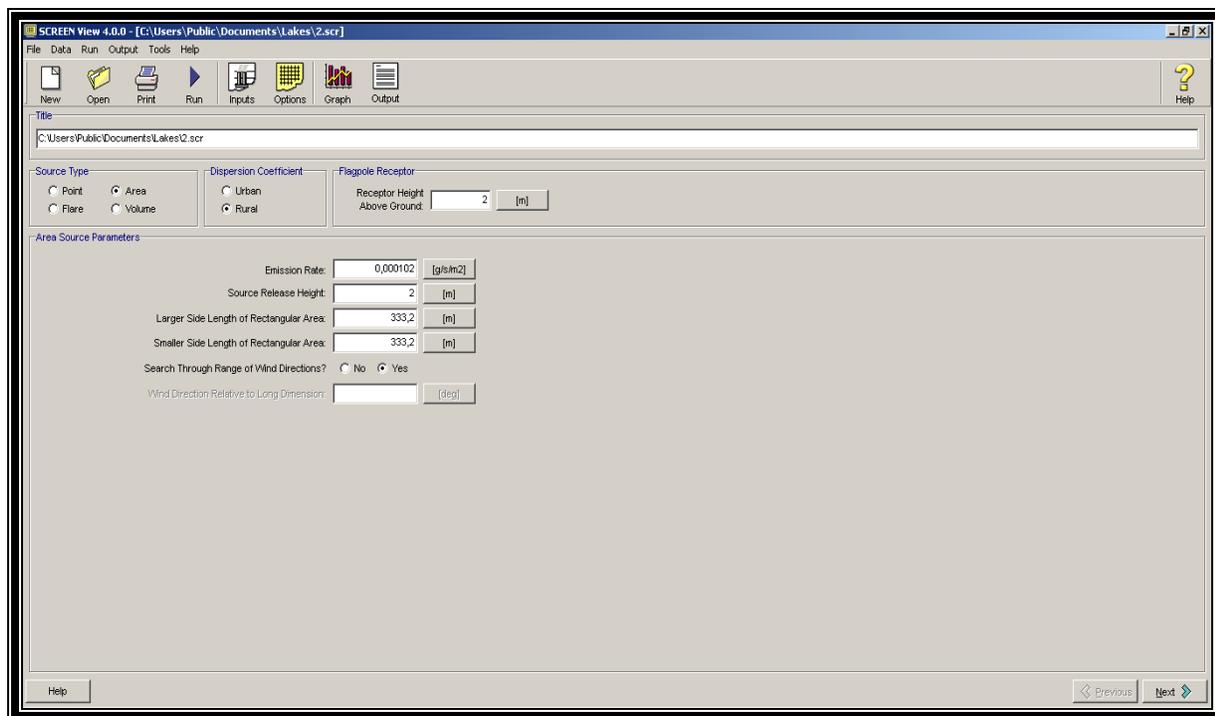


Ilustración 91: Vista de la pantalla con las variables de entrada al software SCREEN3, para la fuente de polvo negro” área expuesta de Planta de Pellet/CAP”.

Fuente: Elaboración propia con software de modelación SCREEN3

⁴¹ Elaboración propia en base al CAP.2009. EIA Ampliación y mejoras operacionales en Planta de Pellets. Anexo 6.1. Análisis de Impacto en la Calidad del Aire.

Con estas condiciones, se obtiene la siguiente distribución de la concentración de material particulado para varias estabildades meteorológicas.

Tabla 35: Concentración modelada del contaminante a diferentes distancias desde la fuente emisora, para diferentes condiciones de estabilidad meteorológica. Área expuesta de Planta de Pellet/CAP

Distancia entre la fuente y el receptor (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en cada una de las condiciones de estabilidad meteorológica ⁴²					
	A Fuertemente Inestable	B Moderadamente Inestable	C Ligeramente inestable	D Neutra	E Ligeramente estable	F Estable
500.	268,6	599,2	1044	1942	2807	4254
1000.	61,88	185,1	418,8	937,8	1484	2418
1500.	45,15	88,61	229,7	617,9	1031	1761
2000.	35,73	53,85	145	444,9	776,9	1386
2500.	29,67	40,22	99,94	337	615,9	1150
3000.	25,45	33,72	73,29	265,1	502,1	977,7
3500.	22,34	29,5	56,5	215,9	418,1	851,5
4000.	19,94	26,33	45,54	180	354,6	750,1
4500.	18,04	23,81	38,25	152,9	307,3	666,6
5000.	16,5	21,76	33,28	131,9	269,7	597
5500.	15,21	20,05	29,76	115,2	239,1	538,2
6000.	14,11	18,61	27,15	101,7	214	488,3
6500.	13,18	17,38	25,1	90,62	192,9	445,6
7000.	12,37	16,3	23,43	81,43	175,1	408,7
7500.	11,66	15,35	22,01	73,67	159,9	377,8
8000.	11,04	14,52	20,79	67,05	146,8	350,7
8500.	10,49	13,78	19,71	61,38	135,4	326,8
9000.	9,988	13,12	18,75	56,46	125,4	305,5
9500.	9,54	12,52	17,88	52,17	116,7	286,6
10000.	9,134	11,98	17,1	48,38	108,9	269,4
15000.	6,479	8,452	11,96	27,09	63,73	163,8
20000.	5,086	6,605	9,293	18,09	43,46	117
25000.	4,221	5,46	7,643	13,44	32,92	89,89
30000.	3,627	4,677	6,515	10,74	26,22	72,42

Fuente: LQA CENMA

⁴² Clases de Estabilidad Atmosférica (Pasquill 1961, Turner 1970) Determinación basada en observaciones de velocidad del viento, radiación solar y nubosidad.

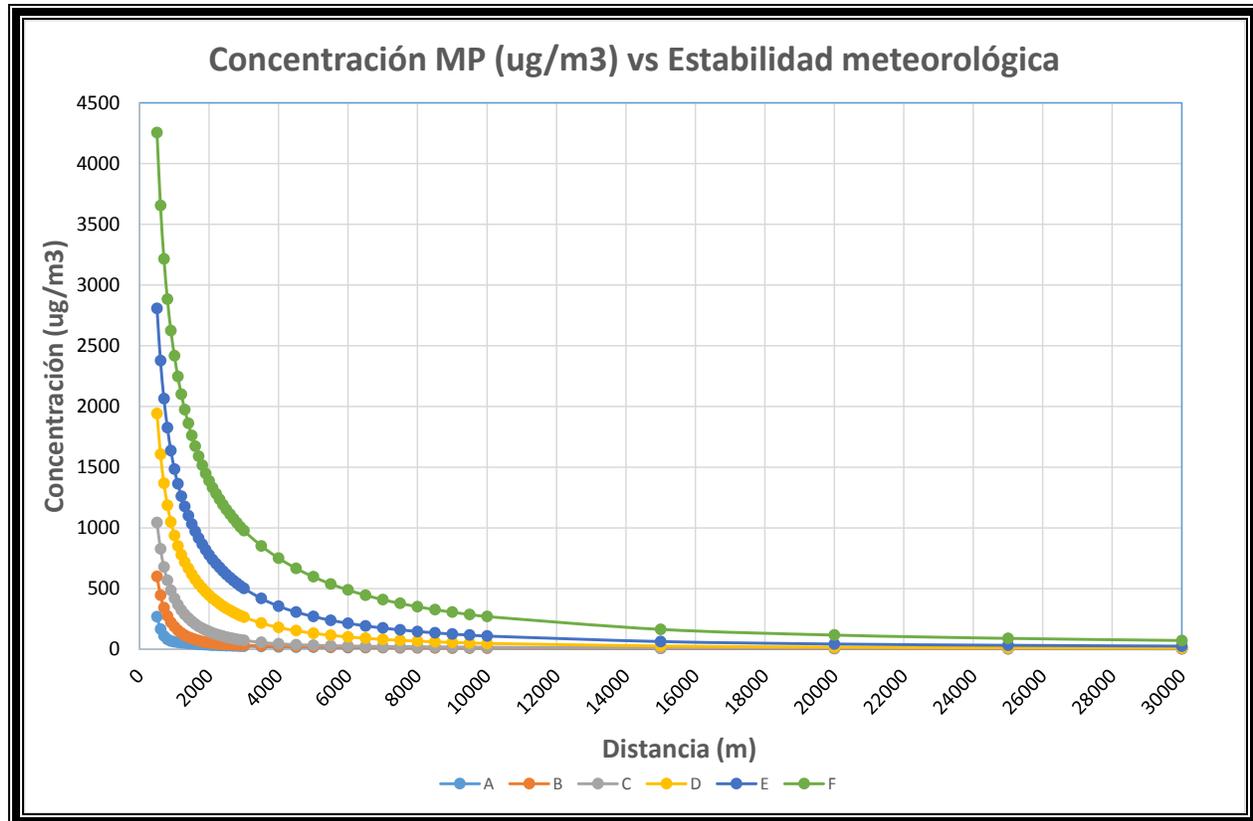


Ilustración 92: Variación de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes en la distancia (m) para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, obtenidos a partir del modelo SCREEN3. Fuente de polvo negro: área expuesta de Planta de Pellets/CAP
Fuente: LQA CENMA

Para el caso del tren de Ferronor, se asumió, por los requerimientos del modelo, una longitud de 50 m asumiendo que corresponde a la longitud del tren de transporte de carga y el ancho de 5 m para calcular el área. De esta forma, los valores de entrada serían los que se muestran a continuación:

Con estas condiciones, se obtiene la siguiente ilustración, con la concentración de material particulado para varias estabilidades meteorológicas.

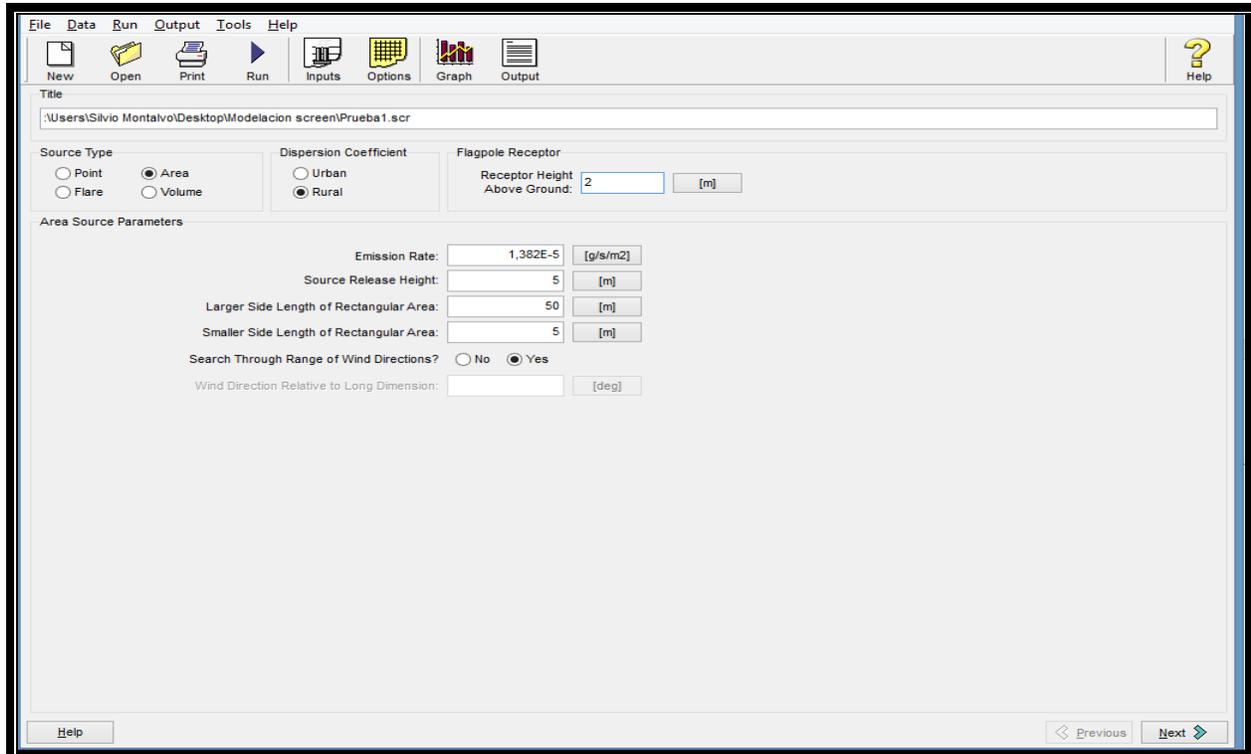


Ilustración 93: Vista de la pantalla con las variables iniciales de entrada al software SCREEN3, para la fuente de polvo negro “línea del tren”.

Fuente: Elaboración propia con software de modelación SCREEN3

Con estas condiciones, se obtiene la siguiente ilustración, con la variación modelada de la concentración de MPS para varias estabilidades meteorológicas.

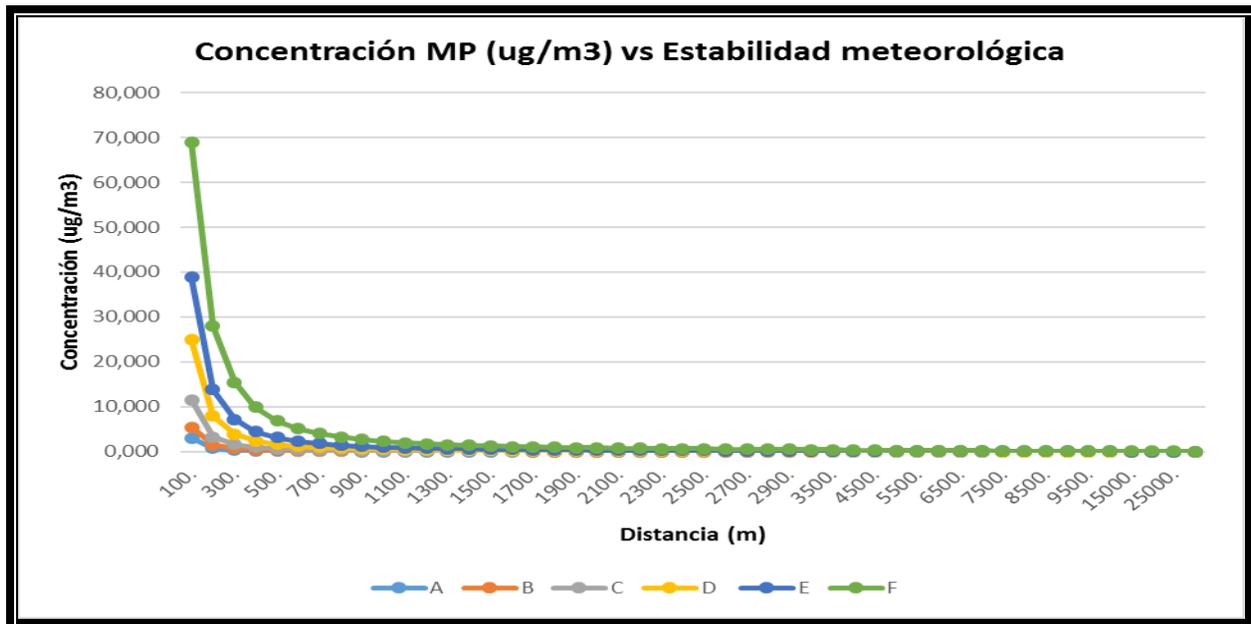


Ilustración 94: Variación de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes en la distancia (m) para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, obtenidos a partir del modelo SCREEN3. Fuente de polvo negro: línea del tren de Ferronor

Fuente: LQA CENMA

Tabla 36: Concentración modelada del contaminante a diferentes distancias desde la fuente emisora, para diferentes condiciones de estabilidad meteorológica. Fuente de polvo negro “línea del tren”

Distancia entre la fuente y el receptor (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en cada una de las condiciones de estabilidad meteorológica ⁴³					
	A Fuertemente Inestable	B Moderadamente Inestable	C Ligeramente inestable	D Neutra	E Ligeramente estable	F Estable
500.	0,093	0,259	0,617	1,643	3,102	6,881
1000.	0,021	0,065	0,174	0,501	0,989	2,276
1500.	0,014	0,029	0,083	0,267	0,530	1,226
2000.	0,011	0,017	0,049	0,171	0,341	0,790
2500.	0,009	0,013	0,033	0,121	0,246	0,573
3000.	0,008	0,011	0,024	0,091	0,188	0,440
3500.	0,007	0,009	0,018	0,072	0,150	0,357
4000.	0,006	0,008	0,014	0,059	0,123	0,297
4500.	0,006	0,007	0,012	0,050	0,104	0,253
5000.	0,005	0,007	0,010	0,042	0,090	0,219
5500.	0,005	0,006	0,009	0,037	0,079	0,193
6000.	0,004	0,006	0,008	0,032	0,070	0,171
6500.	0,004	0,005	0,008	0,029	0,062	0,154
7000.	0,004	0,005	0,007	0,026	0,056	0,139
7500.	0,004	0,005	0,007	0,023	0,051	0,127
8000.	0,003	0,004	0,006	0,021	0,047	0,117
8500.	0,003	0,004	0,006	0,019	0,043	0,108
9000.	0,003	0,004	0,006	0,018	0,039	0,100
9500.	0,003	0,004	0,005	0,016	0,037	0,093
10000.	0,003	0,004	0,005	0,015	0,034	0,087
15000.	0,002	0,003	0,004	0,008	0,020	0,051
20000.	0,002	0,002	0,003	0,006	0,013	0,036
25000.	0,001	0,002	0,002	0,004	0,010	0,028
30000.	0,001	0,001	0,002	0,003	0,008	0,022

Fuente: LQA CENMA

Se observa de estas tablas, que la fuente que más emite partículas es el área expuesta de la Planta de Pellets de CAP por su exposición directa al viento y la gran extensión de sus operaciones.

4.1 Balance de masa entre las emisiones de polvo negro y la presencia en otras matrices.

Para realizar el balance de masa, considerando como sector relevante la ciudad de Huasco (sin incluir la zona industrial) se utilizó el programa Level1 desarrollado por el Centro para la Modelación Química y Ambiental de la Universidad de Trento, Ontario, Canadá (Centre for Environmental Modelling and Chemistry *an academic research group of Trent University*,

⁴³ Clases de Estabilidad Atmosférica (Pasquill 1961, Turner 1970) Determinación basada en observaciones de velocidad del viento, radiación solar y nubosidad.

Peterborough, Ontario, Canada). Disponible en <http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/models/L1300.html>

La simulación para el denominado Level1, considera la distribución de equilibrio de una cantidad determinada de un compuesto químico (en este caso óxido de hierro, Fe₂O₃) que prácticamente no reacciona en un ambiente cerrado de equilibrio, donde se asume que no hay reacciones degradantes, no hay procesos de advección, y no hay procesos de transporte intermedio tales como deposición húmeda o sedimentación. El medio ambiental que recibe la emisión es relativamente poco importante debido a que el compuesto químico se asume que se distribuye instantáneamente a una condición de equilibrio.

Se utilizan propiedades físico-químicas del compuesto considerado, para cuantificar el comportamiento del mismo en el entorno de evaluación. La simulación es útil para establecer las características generales del comportamiento de productos químicos.

Como ventajas del software tenemos que:

- Proporciona una base de datos de productos químicos y propiedades químicas.
- Permite adiciones y cambios temporales de sustancias químicas y sus propiedades a una simulación.
- Permite adiciones permanentes, cambios y supresiones de las sustancias químicas y sus propiedades a la base de datos químicos.
- Proporciona valores predeterminados para todos los campos de entrada que pueden ser cambiados fácilmente.
- Proporciona ayuda sensible al contexto.
- Muestra e imprime el nivel que los cálculos del modelo, como la realizada por el programa.
- Permite la impresión de tablas de simulación y el diagrama de resumen.
- Permite a los resultados de los programas que se guardan como un archivo de valores separados por comas.

El resultado del balance de masa, expresado como Óxido de hierro, se presenta en la siguiente figura.

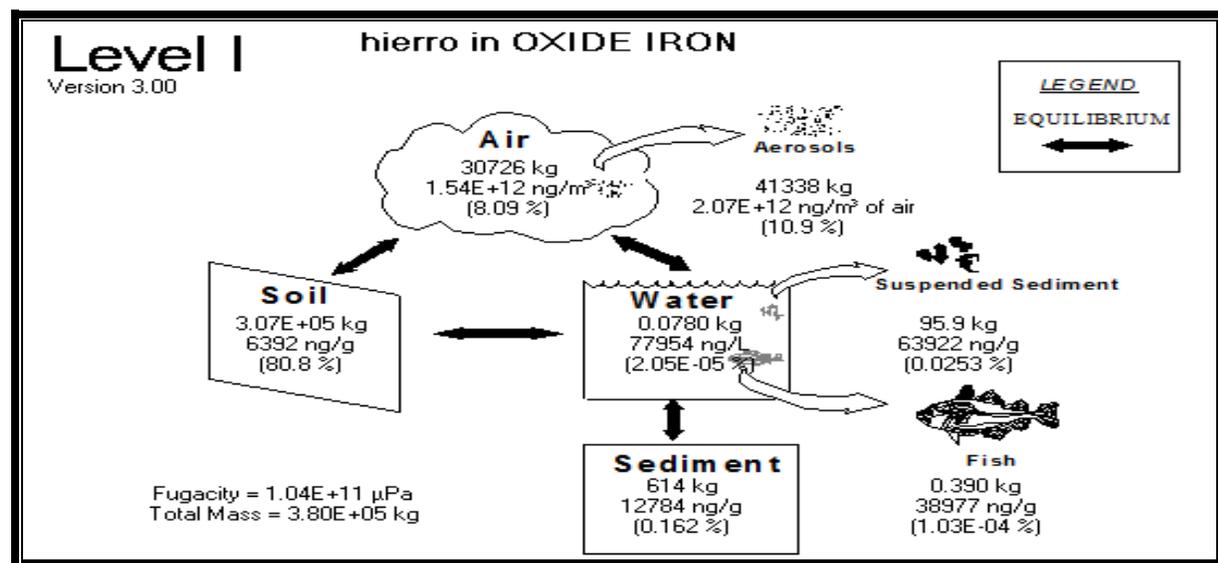
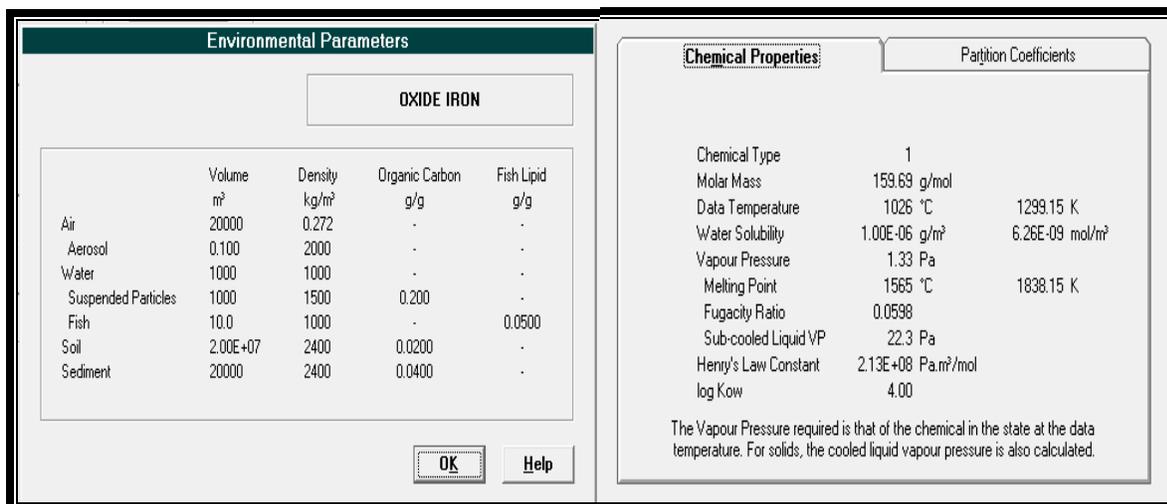


Ilustración 95: Balance de masa para Fe₂O₃ en la ciudad de Huasco.

Fuente: Elaboración propia con software Level I. versión 3.00

Estos resultados indican, que en la ciudad de Huasco, la mayor parte del hierro (como Fe_2O_3) se deposita en el suelo superficial, y una parte menor se incorpora al aire transportándose como aerosol, según las siguientes condiciones de modelación (Ilustración 96).



Environmental Parameters				
OXIDE IRON				
	Volume	Density	Organic Carbon	Fish Lipid
	m ³	kg/m ³	g/g	g/g
Air	20000	0.272	-	-
Aerosol	0.100	2000	-	-
Water	1000	1000	-	-
Suspended Particles	1000	1500	0.200	-
Fish	10.0	1000	-	0.0500
Soil	2.00E+07	2400	0.0200	-
Sediment	20000	2400	0.0400	-

Chemical Properties			Partition Coefficients	
Chemical Type	1			
Molar Mass	159.69 g/mol			
Data Temperature	1026 °C	1299.15 K		
Water Solubility	1.00E-06 g/m ³	6.26E-09 mol/m ³		
Vapour Pressure	1.33 Pa			
Melting Point	1565 °C	1838.15 K		
Fugacity Ratio	0.0598			
Sub-cooled Liquid VP	22.3 Pa			
Henry's Law Constant	2.13E+08 Pa.m ³ /mol			
log Kow	4.00			

The Vapour Pressure required is that of the chemical in the state at the data temperature. For solids, the cooled liquid vapour pressure is also calculated.

Ilustración 96: Parámetros de entrada empleados para la modelación con software “Level I, version 3.0
Fuente: Elaboración propia con software Level I. versión 3.00

4.2 Análisis de sensibilidad del modelo.

El modelo utilizado es poco sensible, pero las condiciones químicas del componente principal del polvo negro (hierro en forma de Fe_2O_3) hacen poco útiles la mayoría de los modelos tradicionales de calidad de aire.

Las principales incertidumbres están en:

- La estimación del volumen de suelo en la ciudad de Huasco.
- La estimación del volumen de agua en la ciudad de Huasco
- La estimación del volumen de aire en la ciudad de Huasco
- La estimación de que el tren pasa cuatro veces al día durante todos los días por 30 años.
- La estimación de la cantidad de material que cae del tren en cada viaje.
- La estimación de la cantidad de sedimento (equivalente al polvo depositado) en la ciudad de Huasco.

4.3 Recomendaciones para levantar información faltante con vistas a robustecer el modelo con su nivel de certeza.

No existen estudios detallados del MPS en la zona de Huasco, ni en ninguna zona de Chile. Tampoco se encontraron estudios detallados en las referencias internacionales. Esto porque el MPS o material particulado grueso no es la fracción más estudiada respecto de su incidencia en la salud, al contrario de lo que hace con las fracciones más finas que tienen mayor facilidad para ingresar a las vías respiratorias y afectar la salud.

La actual red de monitores de MPS que existe en Huasco incluye solamente una parte de los puntos de muestreo considerados en este estudio. Por consiguiente, en próximos estudios se requiere:

- Obtener información en los 15 puntos de muestreo contenidos en este estudio, durante un período largo de tiempo, para establecer los comportamientos anuales.
- Obtener información detallada de la composición química del MPS en la zona de Huasco, más allá del contenido de Fe que se analiza actualmente.
- Estandarizar un protocolo nacional para determinar la composición química del MPS insoluble y del MPS soluble.
- Estudiar la interacción del MPS con otros contaminantes atmosféricos en la zona como NO_x y SO₂.

4.4 Definición de la zona de influencia del polvo negro.

En base a los resultados del muestreo de MPS indicados en la sección anterior y que aparecen individualizados para cada metal presente en dichas muestras, a través de la modelación de estos datos utilizando la herramienta kriging, se definió la zona de influencia del MPS, considerando que una parte de dicho material correspondería al polvo negro.

La zona de influencia obtenida para el MPS abarca tres sectores que se indican a continuación:

1. la zona industrial de Huasco
2. la ciudad de Huasco
3. el valle de Huasco hasta Vallenar, en el entorno de la línea del tren.

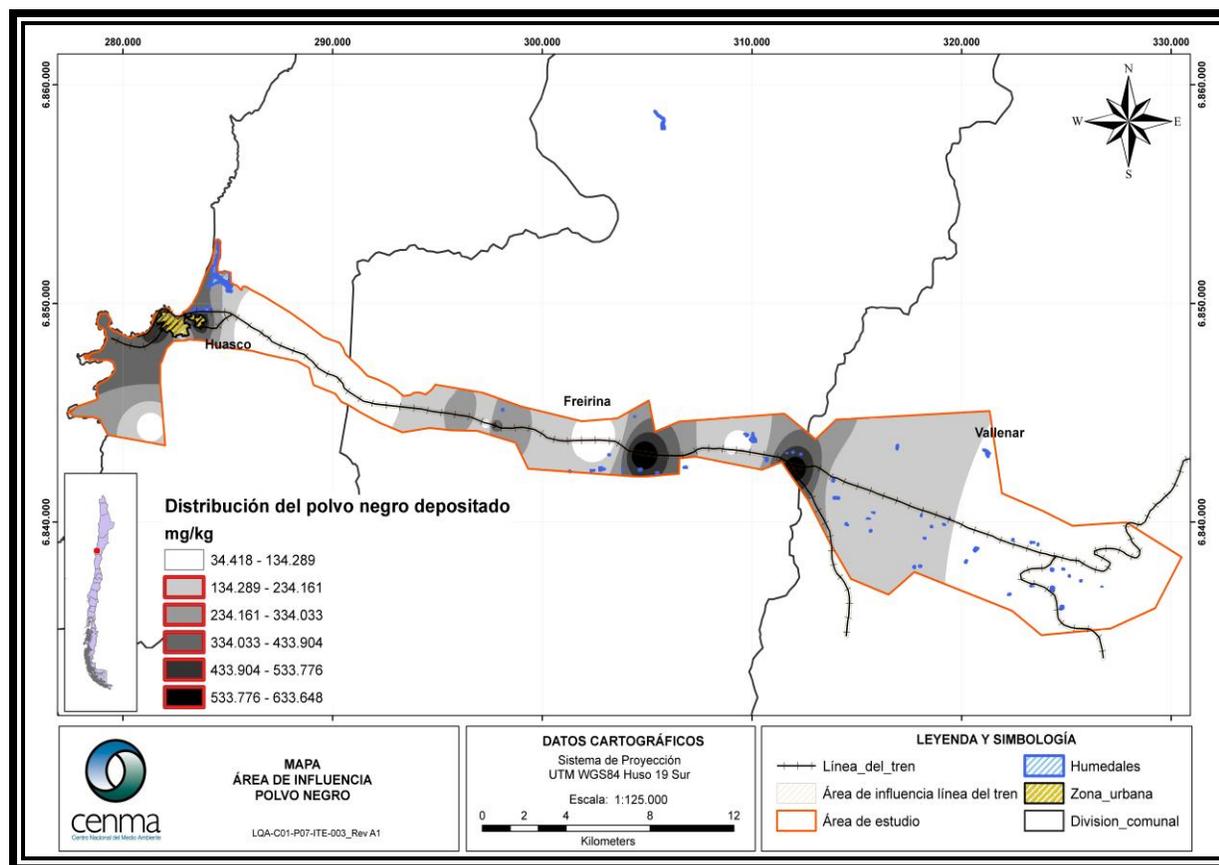


Ilustración 97: Área de influencia del polvo negro

Fuente: LQA CENMA

5 OBJETIVO 4. DEFINIR EL MODELO CONCEPTUAL DE LA INCIDENCIA DE LAS SUSTANCIAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES QUE PUEDAN PRODUCIR EFECTOS NEGATIVOS EN LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE (AIRE, SUELO, AGUA, SEDIMENTO, BIOTA Y/O ALIMENTOS).

5.1 Modelo conceptual preliminar.

En este tipo de estudio, se utiliza el Modelo Conceptual de Contaminación como ente ordenador coherente de toda la información recolectada, para una mejor presentación de la evidencia, el análisis de los datos y la interpretación de los resultados así como para facilitar la planificación y ejecución del trabajo. Según la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes del Ministerio de Medio Ambiente, el modelo conceptual (para un problema de contaminación, MCPC) se define como “el relato escrito y/o representación gráfica de los procesos físicos, químicos, y biológicos que determinan el transporte de contaminantes desde la fuente a través de los medios que componen el sistema, hasta los potenciales receptores que forman parte de él”.

El esfuerzo de describir un MCPC se realiza para:

- Integrar y organizar la información de antecedentes provenientes de diversas fuentes (estudios previos conteniendo resultados de análisis, información de catastros, información hidrológica, geológica, de uso de suelo, inventarios de emisiones, densidad poblacional, distribución etaria) que contribuyan a esclarecer la presencia de contaminantes en la zona de estudio.
- Formular hipótesis con fundamento científico acerca de los posibles procesos de liberación de contaminantes, migración ambiental, destino ambiental, y exposición de los receptores.
- Postular las vías y rutas de exposición de los receptores de preocupación.
- Ayudar a identificar el alcance genérico y los requerimientos de muestreo y análisis incluyendo la existencia o necesidad de determinar niveles background, facilitando instrucciones específicas al personal que desarrolla el muestreo acerca de información específica de la zona de estudio.
- Organizar y comunicar información tanto al equipo de trabajo y como a otros interesados: autoridades, representantes de los potenciales receptores, personas en general, medios de comunicación,
- Identificar la necesidad de datos e información adicional que pueda completarse con nuevos muestreos, simulaciones, análisis de data histórica, encuestas.

La complejidad de un MCPC debe ser consistente con la complejidad del problema bajo estudio y de la evidencia disponible. El desarrollo de un MCPC es típicamente iterativo. Se prepara una versión inicial al comienzo del proyecto, la que se va refinando y revisando mientras transcurre el estudio, a fin de incorporar nueva información del problema. El modelo final debe contener suficiente información como para apoyar el desarrollo de escenarios de exposición presentes y futuros.

Considerando la evidencia registrada en el avance de este proyecto, se presenta a continuación la propuesta inicial del MCPC:

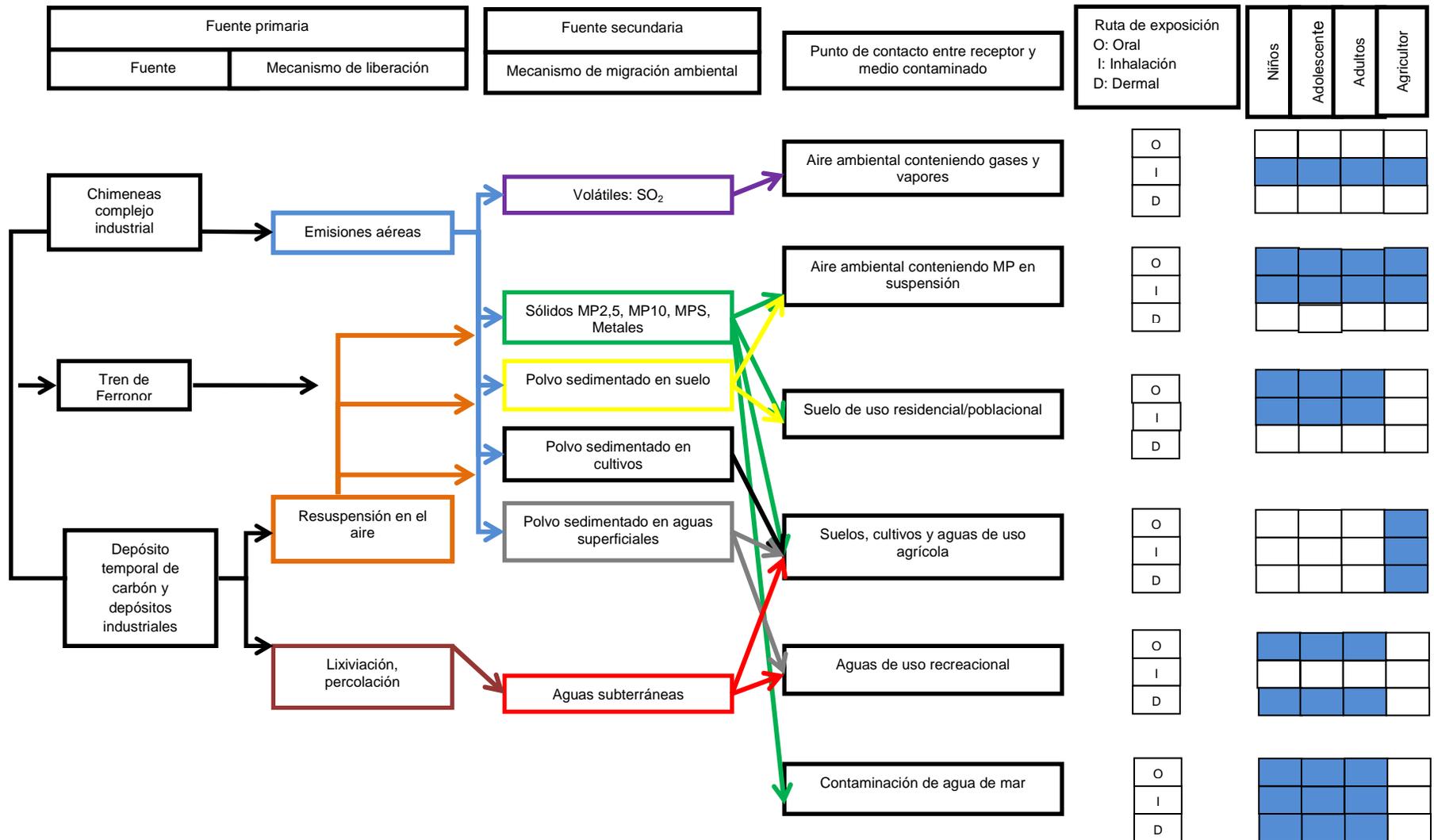


Ilustración 98: Modelo conceptual del problema de contaminación. Versión 1.
 Fuente: LQA CENMA

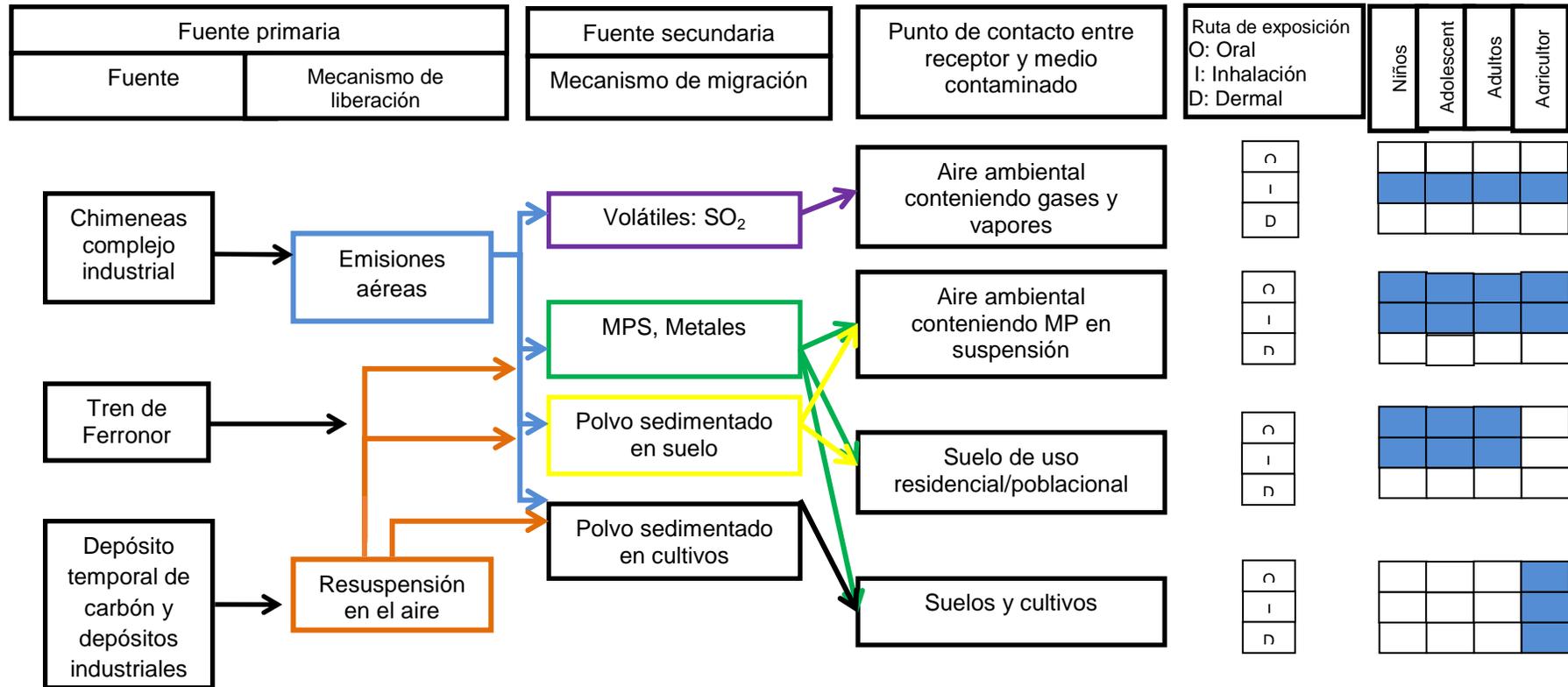


Ilustración 99. Modelo conceptual del problema de contaminación. Versión 2.
 Fuente: LQA CENMA

5.2 Descripción de la incidencia de las sustancias potencialmente contaminantes que estén presentes en el polvo negro y que puedan producir efectos negativos en la salud y el medio ambiente.

5.2.1 Identificación de receptores potenciales.

De acuerdo a la zona delimitada como de influencia del polvo negro, los receptores potenciales incluyen a las personas que viven en los siguientes sectores:

Tabla 37: Identificación de los sectores donde se ubican los receptores potenciales⁴⁴.

Comuna	Localidad	Clasificación	Total de personas según Censo 2002	Total de viviendas según Censo 2002
Huasco	Huasco	Ciudad ⁴⁵	6445	2104
	Huasco Bajo	Aldea ⁴⁶	776	285
	El Pino	Caserío ⁴⁷	98	56
	Villa Guacolda	Caserío	21	11
Freirina	Freirina	Pueblo	3469	1044
	Maitencillo	Aldea	528	178
	Vicuña Mackenna	Aldea	586	180
	Las Tablas	Caserío	153	65
	Tatara	Caserío	29	13
	Atacama	Caserío	94	31
	Nicolasa	Caserío	32	7

Fuente: LQA CENMA

Esta información, no obstante, deberá corroborarse como parte de las acciones de gestión que se ejecuten, puesto que los datos corresponden al censo de 2002 y pueden haber cambiado tanto la cantidad de personas como de viviendas en el sector.

5.2.2 Comparación con valores Guía de Evaluación de Medios Ambientales (EMEG).

Los EMEG fueron propuestos por la ASTDR para servir como referencia para definir contaminantes de interés en la evaluación de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC) según la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes del Ministerio de Medio Ambiente.

Para esta evaluación se calculan, para cada uno de los contaminantes, los EMEG para receptores infantes, niños y adultos y esos valores se contrastan con los valores máximos de cada uno de los contaminantes potenciales.

A continuación, se presenta la comparación de los resultados de metales en suelo, en los diferentes sectores estudiados, con los EMEG para infantes, niños y adultos.

⁴⁴ Información obtenida en Chile: Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos. Instituto Nacional de Estadísticas. 2005. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php

⁴⁵ Se refiere a la entidad urbana que posee más de 5000 habitantes.

⁴⁶ Se refiere al asentamiento humano, concentrado con una población que fluctúa entre 301 y 1000 habitantes.

⁴⁷ Se refiere al asentamiento humano con nombre propio, que posee tres viviendas o más cercanas entre sí, con menos de 301 habitantes y que no forma parte de otra entidad.

Tabla 38: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Ciudad de Huasco

Sector Ciudad de Huasco										
Metal	Valor máximo (mg/kg)	Dosis de Referencia (mg/kg/día)	Referencia para la DRf	EMEG Infante (mg/kg)	Evaluación	EMEG Niños (mg/kg)	Evaluación	EMEG Adultos (mg/kg)	Evaluación	Significado
V	1173,97	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	285,7	1173,97 > 285,7 Supera	400,0	1173,97 > 400 Supera	14000,0	1173,97 < 14000 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Cr	36,12	0,0009	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	25,7	36,12 > 25,7 Supera	36,0	36,12 > 36,0 Supera	1260,0	36,12 < 1260 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Ni	30,18	0,02	ATSDR, Julio 2013, Minimal Risk Levels (MRLs)	571,4	30,18 < 571,4 No supera	800,0	30,18 < 800 No supera	28000,0	30,18 < 28000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cu	174,2	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	285,7	174,2 < 285,7 No supera	400,0	174,2 < 400 No supera	14000,0	174,2 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Zn	215,07	0,3	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	8571,4	215,07 < 8571,4 No supera	12000,0	215,07 < 12000 No supera	420000,0	215,07 < 420000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Ba	62,58	0,2	ATSDR, Julio 2013, Minimal Risk Levels (MRLs)	5714,3	62,58 < 5714,3 No supera	8000,0	62,58 < 8000 No supera	280000,0	62,58 < 280000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Mn	493,2	0,16	IRIS, 1996 for Manganese	4571,4	493,2 < 4571,4 No supera	6400,0	493,2 < 6400 No supera	224000,0	493,2 < 224000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Co	25,08	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	285,7	25,08 < 285,7 No supera	400,0	25,08 < 400 No supera	14000,0	25,08 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cd	40,82	0,0001	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	2,9	40,82 > 2,9 Supera	4,0	40,82 > 4 Supera	140,0	40,82 < 140 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Pb	43,07	---	Madhavan et, al, (1989) Environ Res 49: 136-142				43,07 < 250 No supera			No requiere evaluación de riesgo

Fuente: LQA CENMA

Tabla 39: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Zona industrial de Huasco

Sector Zona industrial de Huasco										
Metal	Valor máximo (mg/kg)	Dosis de Referencia (mg/kg/día)	Referencia para la DRf	EMEG Infante (mg/kg)	Evaluación	EMEG Niños (mg/kg)	Evaluación	EMEG Adultos (mg/kg)	Evaluación	Significado
V	1219	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	285,7	1219 > 285,7 Supera	400,0	1219 > 400 Supera	14000,0	1173,97 < 14000 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Cr	45,33	0,0009	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	25,7	45,33 > 25,7 Supera	36,0	45,33 > 36,0 Supera	1260,0	45,33 < 1260 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Ni	48,65	0,02	ATSDR, Julio 2013, Minimal Risk Levels	571,4	48,65 < 571,4 No supera	800,0	48,65 < 800 No supera	28000,0	48,65 < 28000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cu	31,98	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	285,7	31,98 < 285,7 No supera	400,0	31,98 < 400 No supera	14000,0	31,98 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Zn	144,1	0,3	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	8571,4	144,1 < 8571,4 No supera	12000,0	144,1 < 12000 No supera	420000,0	144,1 < 420000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Ba	717,5	0,2	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	5714,3	717,5 < 5714,3 No supera	8000,0	717,5 < 8000 No supera	280000,0	717,5 < 280000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Mn	654,4	0,16	IRIS, 1996 for Manganese	4571,4	654,4 < 4571,4 No supera	6400,0	654,4 < 6400 No supera	224000,0	654,4 < 224000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Co	27,07	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	285,7	27,07 < 285,7 No supera	400,0	27,07 < 400 No supera	14000,0	27,07 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cd	70,44	0,0001	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	2,9	70,44 > 2,9 Supera	4,0	70,44 > 2,9 Supera	140,0	70,44 < 140 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Pb	128	---	Madhavan et, al, (1989) Environ Res 49: 136-142				128 < 250 No supera			No requiere evaluación de riesgo

Fuente: LQA CENMA

Tabla 40: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Valle de Huasco

Sector Valle de Huasco										
Me- tal	Valor máximo (mg/kg)	Dosis de Referencia (mg/kg/día)	Referencia para la DRf	EMEG Infante (mg/kg)	Evaluación	EMEG Niños (mg/kg)	Evaluación	EMEG Adultos (mg/kg)	Evaluación	Significado
V	101,94	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	285,7	101,94 < 285,7 No supera	400,0	101,94 < 400 No supera	14000,0	101,94 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cr	38,15	0,0009	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	25,7	38,15 > 25,7 Supera	36,0	38,15 > 36,0 Supera	1260,0	38,15 < 1260 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Ni	20,87	0,02	ATSDR, Julio 2013, Minimal Risk Levels	571,4	20,87 < 571,4 No supera	800,0	20,87 < 800 No supera	28000,0	20,87 < 28000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cu	685,83	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	285,7	685,83 > 285,7 Supera	400,0	685,83 > 400 Supera	14000,0	685,83 < 14000 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Zn	142,5	0,3	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	8571,4	142,5 < 8571,4 No supera	12000,0	142,5 < 12000 No supera	420000,0	142,5 < 420000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Ba	254,7	0,2	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	5714,3	254,7 < 5714,3 No supera	8000,0	254,7 < 8000 No supera	280000,0	254,7 < 280000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Mn	8633,92	0,16	IRIS, 1996 for Manganese	4571,4	8633,92 > 4571,4 Supera	6400,0	8633,92 > 6400 Supera	224000,0	8633,92 < 224000 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Co	16,5	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	285,7	16,5 < 285,7 No supera	400,0	16,5 < 400 No supera	14000,0	16,5 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cd	7,83	0,0001	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels	2,9	7,83 > 2,9 Supera	4,0	7,83 > 2,9 Supera	140,0	7,83 < 140 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Pb	67,25	---	Madhavan et, al, (1989) Environ Res 49: 136-142				67,25 < 250 No supera			No requiere evaluación de riesgo

Fuente: LQA CENMA

Tabla 41: Comparación de valores máximos de contaminantes potenciales con los EMEG para infantes, niños y adultos. Sector Vallenar

Sector Vallenar										
Metal	Valor máximo (mg/kg)	Dosis de Referencia (mg/kg/día)	Referencia para la DRf	EMEG Infante (mg/kg)	Evaluación	EMEG Niños (mg/kg)	Evaluación	EMEG Adultos (mg/kg)	Evaluación	Significado
V	90,98	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	285,7	90,98 < 285,7 No supera	400,0	90,98 < 400 No supera	14000,0	90,98 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cr	28,99	0,0009	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	25,7	28,99 > 25,7 Supera	36,0	28,99 > 36,0 No supera	1260,0	28,99 < 1260 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes
Ni	22,25	0,02	ATSDR, Julio 2013, Minimal Risk Levels (MRLs)	571,4	22,25 < 571,4 No supera	800,0	22,25 < 800 No supera	28000,0	22,25 < 28000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cu	1113,55	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	285,7	1113,55 > 285,7 Supera	400,0	1113,55 > 400 Supera	14000,0	1113,55 > 14000 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Zn	133,17	0,3	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	8571,4	133,17 < 8571,4 No supera	12000,0	133,17 < 12000 No supera	420000,0	133,17 < 420000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Ba	136,25	0,2	ATSDR, Julio 2013, Minimal Risk Levels (MRLs)	5714,3	136,25 < 5714,3 No supera	8000,0	136,25 < 8000 No supera	280000,0	136,25 < 280000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Mn	776,29	0,16	IRIS, 1996 for Manganese	4571,4	776,29 < 4571,4 No supera	6400,0	776,29 < 6400 No supera	224000,0	776,29 < 224000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Co	31,68	0,01	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	285,7	31,68 < 285,7 No supera	400,0	31,68 < 400 No supera	14000,0	31,68 < 14000 No supera	No requiere evaluación de riesgo
Cd	6,64	0,0001	ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs)	2,9	6,64 > 2,9 Supera	4,0	6,64 > 4 Supera	140,0	6,64 < 140 No supera	Requiere evaluación de riesgo para infantes y niños
Pb	49,17	---	Madhavan et, al, (1989) Environ Res 49: 136-142				49,17 < 250 No supera			No requiere evaluación de riesgo

Fuente: LQA CENMA

De acuerdo con esta evaluación, los contaminantes de interés, en cada una de las zonas son:

- Sector ciudad de Huasco: Cd, Cr, V
- Sector zona industrial de Huasco: Cd, Cr, V
- Sector valle de Huasco: Cd, Cr, Cu, Mn
- Sector Vallenar: Cd, Cr, Cu

5.2.3 Perfiles de toxicidad de los contaminantes de interés.

A continuación se presenta una breve reseña del perfil de toxicidad de cada uno de los contaminantes de interés en la zona de estudio.

Los perfiles de toxicidad se basan en una revisión de numerosas fuentes de información, incluyendo:

- Handbook on the Toxicology of Metals, G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg, y L.T. Friberg. Third edition, 2007. Academic Press/Elsevier.
- Toxicological Profile (específico para cada sustancia peligrosa). ATSDR, U.S. DHHS.
- Present Knowledge of Nutrition. Seventh edition. E.E. Ziegler and L.J. Filer, editors. ILSI Press, Washington, DC, 1996.

El perfil de cada contaminante se ha centrado alrededor de estudios en humanos, y estudios de bajas concentraciones con exposición crónica.

5.2.3.1 Cadmio

El daño tubular renal es considerado un efecto crítico. Detección de daño temprano se hace por medición de niveles urinarios aumentados de beta₂-microglobulina (β MG), la enzima N-acetilglucosaminidasa, y la α ₁-microglobulina (“proteína HC”). Un exceso en la excreción de β MG (>1 mg/g creatinina) o reabsorción tubular disminuida de fosfato son biomarcadores de daño tubular.

Respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la muerte. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea. El cadmio puede acumularse en los riñones a raíz de exposición por largo tiempo a bajos niveles de cadmio en el aire, los alimentos o el agua; esta acumulación puede producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. Contacto de la piel con cadmio no parece constituir un riesgo para la salud ya sea en animales o seres humanos.

La USEPA ha determinado que el cadmio potencialmente causa los siguientes efectos cuando la gente ha sufrido exposición a niveles por encima del MCL por períodos relativamente breves: náuseas, vómitos, diarrea, calambres musculares, salivación, cambios sensoriales, daño hepático, convulsiones, shock y falla renal.

Exposición crónica puede producir daño renal, daño óseo, cardiovascular, hematológico, hepático, neurológico, y testicular. Estudios recientes muestran relación entre cadmio urinario y aumento de riesgo prediabético y diabético, hipertensión, función pulmonar, y degeneración

macular dependiente de la edad. Además, hay evidencia de una asociación cadmio-cáncer para los pulmones, páncreas, senos, endometrio, próstata, y vejiga urinaria.

Criterios de toxicidad. La DRf oral es $1,0E-03$ (mg/kg-día), y la CRf inh = $1,0E-05$ mg/m³. La dosis de referencia por exposición oral crónica en agua es DRf = $5E-4$ mg/kg-día, y para cadmio en alimentos es $1E-03$ mg/kg-día, basados en proteinuria significativa como efecto crítico. No hay AEGs desarrollados para el cadmio.

La USEPA ha clasificado al cadmio con un peso de evidencia B1, es decir, es un *probable cancerígeno humano* basado en evidencia cancerígena limitada en humanos.

El Riesgo Unitario cancerígeno (FUR) por inhalación es $1,8E-03$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹.

5.2.3.2 Cromo

El cromo se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de Cr (0), trivalente (Cr (III)), y hexavalente (Cr (VI)). El cromo (III) es un elemento esencial que ayuda al organismo a promover la acción de la insulina en los tejidos a utilizar azúcar, proteínas y grasa. Sin embargo, respirar niveles altos de cromo (VI) puede causar irritación de la nariz, hemorragias nasales y úlceras así como perforaciones en el tabique nasal. 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. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede causar ulceración de la piel. Ciertas personas pueden ser extremadamente sensibles al cromo (VI) o al cromo (III). Se han descrito reacciones alérgicas consistentes en enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.

Como evidencia de exposición de corto plazo, la USEPA ha encontrado que el Cr puede producir irritación de la piel o ulceración después de una exposición por encima del MCL = 0,1 mg/L en agua por períodos de tiempo relativamente cortos.

Criterios de toxicidad. Para el Cr (III), la DRf oral es $1,5E+0$ mg/kg-día, y no se han identificado efectos negativos en la salud, ya que el Cr (III) es un nutriente esencial.

Para el Cr (VI) la DRf oral es $3E-03$ mg/kg-día, y no se han observado efectos críticos.

Para aerosoles de ácido crómico y aerosoles con Cr (VI) disueltos, el CRfinh = $8E-06$ mg/m³, donde el efecto crítico es atrofia del tabique nasal, y para partículas de Cr (VI), la CRfinh = $1E-04$ mg/m³ donde el efecto crítico es presencia de deshidrogenasa láctica en fluido de lavado bronquialveolar. No hay AEGs desarrollados para el cromo (III) ni (VI).

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. IARC ha determinado que el cromo (VI) es carcinogénico en seres humanos sobre la base de suficiente evidencia en seres humanos expuestos al cromo (VI) en las industrias de producción de cromatos, de colorantes de cromato y de cromado de metales. El cromo (VI) es un potente cancerígeno por la vía respiratoria, y puede causar reacciones irritativas y alérgicas de la piel.

El FPC oral es $5E-01$ mg/kg-día⁻¹ y el FUR inh $8,4E-02$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹.

5.2.3.3 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. Debido a su alta conductividad eléctrica, el cobre es usado extensivamente en la manufactura de equipo eléctrico y diferentes aleaciones metálicas.

El cobre se encuentra presente naturalmente en forma elemental y como componente de muchos compuestos. 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. Es un componente común de fungicidas y algicidas, y el uso agrícola del cobre para estos propósitos puede resultar en su presencia en suelos, agua subterránea, animales de granja (animales de pastoreo como vacas, caballos, etc.) y muchas formas de productos de animales (ATSDR 1990a).

El cobre también se encuentra presente en cerámicas, joyería, monedas, y pirotécnicos (ACGIH 1986). Aunque el cobre es un elemento traza esencial requerido por el organismo para una fisiología normal, un aumento en la exposición de cobre puede resultar en toxicidad por cobre y una gran variedad de complicaciones.

La absorción del cobre ocurre por los pulmones, tracto gastrointestinal y piel. La absorción por la vía digestiva depende de su estado químico y la presencia de otros metales tales como el zinc. Una vez absorbido se distribuye principalmente al hígado, riñones, bazo, corazón, pulmones, estómago, intestino, uñas y pelo.

Toxicidad. Personas con intoxicación cúprica muestran altos niveles de cobre en el hígado, riñones, cerebro y huesos. La toxicidad aguda por ingestión de cobre se caracteriza por dolores abdominales, diarrea, vómito, taquicardia, y un sabor metálico en la boca. Ingestión continua de cobre puede llevar a una cirrosis y otras condiciones debilitantes del hígado.

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. Trabajadores vinícolas expuestos a humos o fumigaciones con cobre por largo tiempo desarrollaron fibrosis pulmonar y granuloma pulmonar, deterioro y enfermedad hepática (cirrosis, fibrosis, y varios cambios morfológicos).

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.

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el cobre y sus compuestos es $4,0E-02$ (mg/kg·día) donde el efecto considerado crítico es una selenosis clínica. No hay una concentración de referencia (CRf). El cobre es clasificable con peso de evidencia D, no carcinogénico en humanos. No hay AEGs desarrollados para el cobre.

5.2.3.4 Manganeseo

El manganeseo es una sustancia natural que se encuentra en diversos tipos de rocas. Es un metal de color plateado; sin embargo, en la naturaleza no se le encuentra en forma pura, sino combinado con otras sustancias tales como oxígeno, azufre y cloro. El manganeseo es un elemento traza necesario para mantener buena salud.

El manganeseo se usa principalmente en la producción de acero para aumentar su dureza, rigidez y solidez. Se usa en acero de carbono, acero inoxidable, acero de alta temperatura y acero para herramientas, como también hierro colado y super aleaciones

El manganeseo ocurre naturalmente en la mayoría de los alimentos y puede agregarse a los alimentos o consumirse en suplementos dietéticos. El manganeseo también se usa en una variedad de productos incluyendo:

- fuegos artificiales
- baterías secas
- abonos
- pinturas
- agente para visualizar imágenes médicas
- cosméticos

También puede ser usado como aditivo en gasolina para mejorar el octanaje de la gasolina. Cantidades pequeñas de manganeseo se usan en un producto farmacéutico llamado mangafodipir trisodio (MnDPDP) para mejorar la detección de lesiones en órganos del cuerpo mediante imágenes de resonancia magnética.

El manganeseo se encuentra normalmente en el aire, el suelo, el agua y los alimentos. Cantidades adicionales de manganeseo se pueden encontrar en el aire, el suelo y el agua como consecuencia de la liberación de manganeseo durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeseo. Tal como sucede con otros elementos, el manganeseo no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o desligarse de partículas. La forma química del manganeseo y el tipo de suelo determinan la velocidad con que se mueve a través del suelo y la cantidad que permanece en el suelo. En el agua, la mayor parte del manganeseo tiende a adherirse a partículas en el agua o a depositarse en el sedimento. El agente que contiene manganeseo que se agrega a la gasolina puede degradarse rápidamente en el ambiente cuando se expone a la luz natural, liberando así manganeseo.

La forma principal de exposición al manganeseo es a través del consumo de alimentos o de suplementos dietéticos que contienen manganeseo. Los vegetarianos que consumen alimentos ricos en manganeseo tales como cereales, habichuelas y nueces, como también las personas que consumen mucho té, pueden tener un consumo de manganeseo más alto que una persona promedio.

Debido a que el manganeseo forma parte natural del ambiente, usted siempre está expuesto a niveles bajos en el agua, el aire, el suelo y los alimentos. Es común que el agua subterránea, el agua potable y el suelo contengan niveles bajos de manganeseo.

Beber agua que contiene manganeseo o nadar o bañarse en agua que contiene manganeseo puede exponerlo a niveles bajos de esta sustancia.

El aire también contiene niveles bajos de manganeso, de manera que inhalar aire lo expone al manganeso. Descargas de manganeso al aire ocurren a causa de:

- industrias que usan o manufacturan productos que contienen manganeso
- actividades de la minería
- el tubo de escape de automóviles

El manganeso es un elemento nutritivo esencial, y la ingestión diaria de una cantidad pequeña es importante para mantener buena salud.

El manganeso puede atravesar la barrera hematoencefálica y una pequeña cantidad de manganeso puede pasar a través de la placenta durante el embarazo y alcanzar el feto. La ingestión de cantidades muy altas de manganeso ha producido alteraciones del sistema nervioso en animales, incluso alteraciones del comportamiento. En animales machos que recibieron cantidades altas de manganeso en la comida se observaron daño de los espermatozoides y alteraciones en la función reproductiva. Hembras de roedores tratadas con manganeso oral sufrieron alteraciones de la fertilidad.

En ratas tratadas con cantidades muy altas de manganeso se observaron alteraciones del riñón y de las vías urinarias. Estas alteraciones incluyeron inflamación de los riñones y formación de cálculos renales.

La EPA concluyó que la información científica existente no permite determinar si el exceso de manganeso puede producir cáncer.

5.2.3.5 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. Los síntomas típicos incluyen tos, jadeo, romadizo, irritación de garganta, y dolor de pecho, que aparecen después de 1-6 días de exposición. En casos de muy alta exposición pueden presentarse bronco espasmos y bronquitis, acompañados por jadeo y dipnea (respiración difícil). La irritación respiratoria por vanadio en polvos y humos ocurre a $0,1-85 \text{ mg/m}^3$.

La ingesta total diaria de vanadio se estima entre 6 y 60 $\mu\text{g/día}$. La absorción del vanadio en el tracto gastrointestinal de humanos es pobre ($\leq 2\%$), pero es más alta en los pulmones ($\approx 25\%$ del vanadio soluble). La absorción dérmica es mínima. La absorción en los pulmones depende del tamaño de las partículas y de la solubilidad de los compuestos. Una vez absorbido, se distribuye preferencialmente en huesos, riñones, hígado y bazo, sin efectos acumulativos en tejidos humanos. El vanadio sanguíneo y urinario disminuye rápidamente una vez que la exposición termina. Se elimina principalmente por la orina en por lo menos dos etapas. Los efectos locales agudos y crónicos observados son principalmente en el sistema respiratorio, e incluyen bronquitis y neumonía.

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. El vanadato inhibe la $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPasa}$, fosfatasa, y varios otros sistemas

enzimáticos. Hay evidencia que los compuestos de vanadio aumentan los efectos de la insulina y disminuyen los niveles de glicemia en diabéticos. El pentóxido de vanadio (V₂O₅) tiene efectos agudos y crónicos retardados pero reversibles en el tracto respiratorio, con producción excesiva de mucus y tos prolongada, acompañada de bronco espasmos, jadeo, y diarrea en casos de exposición más severa. También está presente la irritación de ojos y conjuntivitis. Exposición de largo plazo puede resultar en traqueo bronquitis. En la población expuesta a vanadio, se ha observado una disminución en la inmunidad natural mediada por células, expresada en forma de una mayor incidencia de infecciones virales y bacterianas.

Exposición al vanadio puede ser estudiada por monitoreo en sangre, suero, y orina.

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el vanadio y sus compuestos es 5,0E-03 (mg/kg-día) donde el efecto considerado crítico es una disminución de la cistina en pelo. No hay CRf inh.

La U.S. EPA ha determinado que no hay evidencia de que el vanadio sea *posiblemente* carcinogénico en seres humanos. El vanadio ha sido recientemente aceptado para ser estudiado por carcinogenicidad. La International Agency for Research on Cancer (IARC) ha clasificado vanadio como posible cancerígeno (Grupo 2B). No hay AEGLs desarrollados para el vanadio.

6 OBJETIVO 5 DISEÑAR E IMPLEMENTAR MEDIDAS DE GESTIÓN PILOTO ORIENTADAS A LA MITIGACIÓN DEL POLVO NEGRO, VERIFICANDO SU EFICIENCIA EN LOS RECEPTORES SENSIBLES.

De acuerdo a los resultados de este estudio, el polvo negro con altas concentraciones de metales pesados, se encuentra presente en diferentes sectores de la ciudad y valle de Huasco, proveniente de tres fuentes principales: la operación de la Planta de Pellets, el tren y el depósito temporal de carbón.

Este estudio, no abarcó una evaluación detallada del riesgo que las concentraciones de metales pesados significan para receptores humanos y del ecosistema. No obstante, a pesar de ello, es posible formular algunas medidas para mitigar el efecto del polvo negro.

Es importante mencionar que una medida de mitigación relevante para evitar el polvo negro en la línea férrea y sus alrededores, tiene que ver con que evite en forma eficiente la caída de este material durante el transporte férreo. En este sentido, el anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante, aborda una medida de mitigación importante para este efecto, señalando que para el transporte de preconcentrado por ferrocarril, la empresa deberá reducir la emisión de material particulado que se emite por la apertura de cada vagón e implementar un sistema automático de hidrolavado de todos los vagones y carros, con el fin de que el tren circule sin resuspender y/o con pérdidas del material de carga.

Ahora bien, mientras la medida antes señalada no se concrete en su totalidad, es posible proponer algunas medidas para mitigar el efecto que produce el polvo negro, que se encuentra actualmente sobre y alrededor de la línea del tren:

6.1 Medidas para mitigar el polvo en la ciudad de Huasco.

6.1.1 Implementar ordenanza municipal que considere el lavado de calles, con frecuencia mínima de 1 vez por semana.

Fundamento de la medida:

Esta medida consiste en el lavado de las calles de la zona urbana de la ciudad de Huasco, por cuanto se encontraron evidencias de la presencia de polvo negro en prácticamente toda la ciudad. Se propone lavar en lugar de aspirar, para no aportar al material particulado. El lavado es una acción eficiente para disminuir los niveles de polvo depositado. Se propone una vez por semana por cuanto la percepción de la presencia del polvo negro indicó que las personas perciben que el polvo se deposita entre 1 hora y 1 día después de haber limpiado. La visita a terreno de Octubre de 2015 se realizó a menos de una semana de haber llovido en la zona, por lo que resulta razonable recomendar, que se realice el lavado de calles, al menos una vez a la semana.

Efectos esperados con su implementación:

- Disminuir el polvo depositado en la zona residencial de la ciudad de Huasco.
- Mejorar la limpieza de la ciudad.
- Disminuir la percepción sobre el polvo negro en la ciudad de Huasco, por parte de los residentes en la misma.

Factibilidad de implementación:

Sencilla en su implementación, especialmente considerando que Huasco es una municipalidad que recientemente obtuvo la certificación ambiental⁴⁸. Es una acción que permite combinar el tradicional trabajo de aseo comunal con la mitigación de la presencia de polvo negro.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de la operación de los camiones que limpian las calles.

Costo relativo:

Bajo.

6.1.2 Implementar ordenanza municipal que considere la limpieza diaria de los equipos de juego en áreas de recreación infantil.

Fundamento de la medida:

Esta medida consiste en el lavado (con agua) diario, de los equipos de juego en las áreas de recreación infantil en la zona urbana de la ciudad de Huasco.

En los cuatro sectores estudiados, los valores máximos de algunos metales superaron los Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales (EMEG) para infantes y niños, mientras que no se superaron los EMEG para adultos. Esto indica que los receptores más sensibles a los efectos de los metales estudiados son los niños por la vía de la ingesta accidental de polvo/suelo, donde tiene un aporte relevante el polvo que se encuentra en los juegos ubicados en zonas externas. Habitualmente los niños no utilizan guantes u otra protección adicional que restrinja su exposición a los contaminantes potenciales del polvo. Por eso, una forma efectiva de disminuir el riesgo sería disminuir el polvo de los sectores donde juegan.

Para disminuir el polvo, resultaría efectivo lavar los equipos de juego en las zonas de recreación infantil. Lavar en lugar de sacudir, para no levantar más polvo sino arrastrarlo con agua.

Se recomienda una frecuencia diaria porque la percepción de la presencia del polvo negro indicó que las personas perciben que el mismo se deposita entre 1 hora y 1 día después de haber limpiado.

Efectos esperados con su implementación:

- Disminuir la exposición de los niños al polvo depositado en las áreas de juego ubicadas en el exterior.
- Proteger a los receptores más sensibles a los efectos de los contaminantes potenciales presentes en el polvo, que son los niños.
- Mejorar la limpieza de la ciudad.
- Disminuir la percepción sobre el polvo negro en la ciudad de Huasco, por parte de los residentes en la misma.

Factibilidad de implementación:

⁴⁸ Disponible en <http://portal.mma.gob.cl/seremi-de-atacama-entrega-certificacion-ambiental-a-municipio-de-huasco/>

Sencilla en su implementación, especialmente considerando que Huasco es una municipalidad que recientemente obtuvo la certificación ambiental⁴⁹. Es una acción que permite combinar un aseo comunal dirigido a zonas específicas de la comuna con la mitigación de la presencia de polvo negro.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de las actividades de los aseadores municipales.

Costo relativo:

Bajo.

6.1.3 Implementar ordenanza municipal para la limpieza profunda de techos y exteriores en colegios, jardines infantiles y recintos escolares, usando máquinas hidrolavadoras.

Fundamento de la medida:

Esta medida consiste en la limpieza profunda (con agua, usando hidrolavadoras) de los techos y exteriores de las instalaciones donde estudian y/o residen por largos períodos niños, en diferentes instituciones como colegios, jardines infantiles y recintos escolares de la zona urbana de la ciudad de Huasco.

En los cuatro sectores estudiados, los valores máximos de algunos metales superaron los Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales (EMEG) para infantes y niños, mientras que no se superaron los EMEG para adultos. Esto indica que los receptores más sensibles a los efectos de los metales estudiados son los niños por la vía de la ingesta accidental de polvo/suelo, donde tiene un aporte relevante el polvo que se encuentra depositado en techos, paredes y rejas exteriores de los lugares donde concurren los niños cada día de la semana; esto es, en los recintos educacionales.

Disminuir el polvo depositado es una manera efectiva de disminuir el riesgo potencial.

Para disminuir el polvo, resultaría efectivo lavar con equipos industriales que no levanten polvo tanto los techos como las paredes para retirar el polvo depositado antes de que comience cada curso escolar, tal como se ha realizado en otras ciudades⁵⁰.

Efectos esperados con su implementación:

- Disminuir la exposición de los niños al polvo depositado en el exterior de los recintos educacionales.
- Proteger a los receptores más sensibles a los efectos de los contaminantes potenciales presentes en el polvo, que son los niños.
- Mejorar la limpieza de la ciudad.
- Disminuir la percepción sobre el polvo negro en la ciudad de Huasco, por parte de los residentes en la misma.

⁴⁹ Disponible en <http://portal.mma.gob.cl/seremi-de-atacama-entrega-certificacion-ambiental-a-municipio-de-huasco/>

⁵⁰ Ver más información en <http://www.elmorrocotudo.cl/noticia/sociedad/detectan-bajos-niveles-de-polucion-por-polimetales-en-8-colegios-que-solo-requieren>

Factibilidad de implementación:

Sencilla en su implementación, especialmente considerando que Huasco es una municipalidad que recientemente obtuvo la certificación ambiental⁵¹. Es una acción profunda de aseo en sectores específicos en periodos específicos para mitigar de la presencia de polvo negro.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de las actividades en los colegios de la ciudad de Huasco.

Costo relativo:

Medio; se requieren hidrolavadoras y un programa de trabajo.

6.2 Medidas para mitigar el polvo en el sector del muestreador MPS-1.

6.2.1 Plantar árboles en el entorno de las casas del sector, para que contribuyan a retener el polvo impidiendo que llegue al contacto con los receptores.

Fundamento de la medida:

Esta medida consiste en implementar una barrera física entre el polvo negro y los receptores ubicados en un sector de aproximadamente 25 casas ubicadas en una zona más baja de la calle, donde llegan directamente el polvo que se deposita en el entorno de la línea del tren más el material sólido no consolidado que está en el sitio eriazado del frente y en el depósito temporal de carbón.

Estas casas se encuentran en calles más bajas que la mayoría de la ciudad y reciben todo el polvo por depositación física del mismo.

Por ello, sembrar árboles que actúen como cortina para recoger el polvo puede cumplir varias funciones ambientales: limitar el trayecto del polvo entre las fuentes y los receptores, mejorar el entorno visual inmediato de estos receptores, contribuir a la imagen verde de la ciudad.

Efectos esperados con su implementación:

- Disminuir la exposición al polvo de los receptores que viven en las aproximadamente 25 casas del sector del muestreador MPS-1.
- Proteger a los receptores de los efectos de los contaminantes potenciales presentes en el polvo.
- Mejorar el paisaje en ese sector de la ciudad.
- Mejorar la limpieza de la ciudad.
- Disminuir la percepción sobre el polvo negro en la ciudad de Huasco, por parte de los residentes en la misma.

Factibilidad de implementación:

⁵¹ Disponible en <http://portal.mma.gob.cl/seremi-de-atacama-entrega-certificacion-ambiental-a-municipio-de-huasco/>

Sencilla en su implementación, aunque se requiere encontrar las especies de plantas que puedan crecer en las condiciones particulares del sector. Requiere incorporar estas acciones a las labores de aseo y ornato de la ciudad de Huasco.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de las actividades de aseo y ornato en la ciudad de Huasco.

Costo relativo:

Medio; se requieren los árboles, trabajo de implementación y mantención de jardinería comunal.

6.2.2 Realizar evaluación de riesgo a la salud en los receptores potencialmente afectados en el sector del muestreador MPS-1.

Fundamento de la medida:

Esta medida pretende evaluar el riesgo a la salud de los receptores potencialmente afectados en el sector del muestreador MPS-1.



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Ilustración 100: Sector donde se ubicó el muestreador MPS-1, ubicado a un nivel bajo de la calle, desde la línea del tren en dirección al mar.

De acuerdo a los resultados de este estudio, este es el sector que presentó las mayores concentraciones de MPS y de metales en el MPS. Por tanto, si los metales contenidos en el mismo pudiesen significar algún riesgo para la salud de las personas, los habitantes de las 25 casas del sector, son los receptores más expuestos. Se requiere de este modo, establecer la exposición real en forma de dosis interna y también sus eventuales efectos. Para ello, se requiere una evaluación de riesgo a la salud de todas las personas que viven en ese sector de la zona urbana de la ciudad de Huasco.

Se presenta en el **Anexo 8** el Estudio de evaluación de riesgo a la salud en el sector del muestreador MPS-1 como Medida de Mitigación Piloto para este estudio. El estudio se realizó según las indicaciones de la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes del Ministerio de Medio Ambiente, en lo concerniente a la Fase III, considerando la información disponible de composición química del Material Particulado Sedimentable en el muestreador identificado como MPS-1, así como del polvo depositado en la mencionada zona, que fuera medido de manera sistemática durante las diferentes actividades de muestreo. Se consideró el riesgo crónico no cancerígeno, en virtud de la representatividad de los resultados (3 meses para medición de MPS), en nueve escenarios genéricos de exposición que abarcan diferentes edades de los receptores potenciales.

Los resultados de la evaluación (**Anexo 8**) demuestran que existe **riesgo crónico no cancerígeno no aceptable** para receptores niños, adolescentes, adultos expuestos a los metales en el Material Particulado Sedimentable (MPS) de composición igual a la obtenida en el mes de diciembre de 2015 y niños expuestos al polvo sedimentado (escenarios de exposición 1, 3, 5 y 7) vinculados a las concentraciones de los metales **vanadio, cobalto y hierro**. La vía de exposición que más aporta al Índice de Peligrosidad en todos los escenarios analizados es la ingesta accidental de material (polvo).

Según la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con potencial presencia de contaminantes aprobada por la Resolución N° 406/2013 del MMA, una vez que se comprueba que el sitio en estudio puede representar un riesgo para la salud de las personas, se hace necesaria la implementación de un Plan de Acción, que contempla actividades y medidas de control a corto, mediano y largo plazo. En virtud de los resultados obtenidos, se requieren al menos dos medidas inmediatas para este sector en particular de toda la zona de estudio:

1. Implementar una estrategia de comunicación del riesgo a las autoridades y receptores potencialmente afectados para establecer los efectos de dichos contaminantes en la salud de las personas del sector.
2. Implementar un estudio de las condiciones de salud de la población que vive en el sector del muestreador MPS-1 en la ciudad de Huasco, pesquisando inicialmente las siguientes afectaciones en salud: problemas hematológicos (vinculados a superar la dosis de referencia para vanadio), problemas gastrointestinales (vinculados a superar la dosis de referencia para hierro) y atrofia testicular (vinculado a superar la dosis de referencia para cobalto) en receptores niños, adolescentes y adultos.

La medida propuesta de una evaluación de la salud, pretende conocer el detalle de las afectaciones que se hayan manifestado o se estén manifestando en los receptores inmediatos de esta zona que presentó las mayores concentraciones de MPS.

Efectos esperados con su implementación:

- Conocer si la exposición estimada en los receptores del sector, se han convertido en dosis interna mediante un análisis de muestras biológicas acometido por las instituciones que corresponda según la legislación vigente
- Evaluar los efectos de la exposición de los receptores a los contaminantes en el MPS.
- Diseñar las acciones para disminuir los efectos de una eventual exposición a los contaminantes presentes en el polvo.

Factibilidad de implementación:

Sencilla por cuanto es una cantidad acotada de viviendas (aproximadamente 25 casas) y se pueden establecer los protocolos para la evaluación en salud de los mismos. No obstante a ello, la comunicación de estos resultados y del riesgo calculado, puede ser un fenómeno complejo en sí mismo, por cuanto los receptores afectados no conocen los resultados de este estudio, aunque saben de su existencia.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de las actividades del programa de evaluación y seguimiento en salud.

Costo relativo:

Medio; se puede requerir exámenes especializados en clínicas en Santiago, que se dediquen a estudios de metales en muestras biológicas y a su tratamiento.

6.3 Medidas para mitigar el polvo en el valle de Huasco.

6.3.1 Incorporar acciones de lavado profundo del material que cae del tren y en el entorno de la línea del tren.

Fundamento de la medida:

Esta medida consiste en el lavado profundo de los carros del tren y del entorno de la línea del tren, por cuanto constituyen la principal fuente de polvo negro en la zona.

Esta medida es similar en intención a la medida de encapsulamiento e hidrolavado de vagones del tren, evaluada para CAP en el documento “Análisis General del Impacto Económico y Social para el Anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP10 para la localidad de Huasco y su zona circundante⁵²”. Es importante señalar que en el mismo documento se señala “en el proceso de elaboración de este AGIES no se evalúan medidas para las que no hay efectos directamente cuantificables o para las que no existe información de línea base disponible”. Por lo que se puede asumir que el lavado de los vagones del tren se reconoce como una medida efectiva para disminuir los niveles de material particulado, especialmente MP10, pero que tendría efecto además en disminuir los niveles de MPS.

Efectos esperados con su implementación:

⁵² Disponible en

http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/965_117_AGIES_PDA_Huasco_v.4.pdf

- Disminución de los niveles de polvo grueso (MPS) en la zona, conjuntamente con disminuir los niveles de MP10.
- Mejora de la calidad ambiental de la zona.
- Limpiar el entorno cercano a la línea del ferrocarril.
- Disminuir los efectos de una eventual exposición a los contaminantes presentes en el polvo.

Factibilidad de implementación:

Sencilla por cuanto ha sido comprometida en el Plan de Prevención de la Contaminación elaborado para la zona de Huasco.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de las actividades de lavado.

Costo relativo:

Medio; se requiere mantener las maquinas lavadoras, pero de cualquier forma es una actividad comprometida en el Plan de Prevencion de la Contaminación que se requiere implementar independientemente de las recomendaciones de este estudio.

6.3.2 Incentivar prácticas agrícolas que incentiven la diversificación agrícola de los cultivos en el valle, utilizando invernaderos y cobertura que proteja las plantas de la exposición al polvo.

Fundamento de la medida:

Esta medida pretende compensar los efectos del polvo sedimentable en la agricultura, disminuyendo la exposición de los cultivos al polvo, implementado barreras físicas como invernaderos y cobertura de plástico que aisle a las plantas del polvo. Esta medida implica diversificar la agricultura que se realiza en el valle, incorporando cultivos que puedan desarrollarse en condiciones de invernadero, como las hortalizas o las flores, ampliando los rubros productivos además de la tradicional aceituna.

De acuerdo a los resultados de este estudio, la presencia de MPS y de metales en el MPS es una realidad a lo largo del valle del Huasco, independientemente de los niveles de actividad del complejo industrial de Huasco. Debe recordarse que el polvo de los caminos y las condiciones de suelo seco, también contribuyen a la presencia de MPS en esta zona. Por tanto, la gestión más efectiva para reducir el impacto de este polvo en las plantaciones supone aislar ambos componentes: MPS y cultivos. Para ello, una forma relativamente sencilla son las barreras físicas tipo coberturas plásticas o cultivos en invernadero que permitan una actividad económica a pesar de la presencia de polvo.

Se requiere, no obstante, investigar cuáles son los cultivos concretos que pueden desarrollarse de manera favorable en tales condiciones.

Efectos esperados con su implementación:

- Disminuir la exposición de los cultivos al MPS.
- Mantener en funcionamiento la agricultura del sector, diversificando la producción más allá de los tradicionales olivos.

•
Factibilidad de implementación:

Media. Se requiere investigar los cultivos que serían viables para introducir en condiciones de invernadero, apoyar la nueva inversión de los productores y gestionar alternativas para una incorporación favorable en el mercado.

Factibilidad de seguimiento de su implementación:

Sencillo, mediante el registro de las actividades de investigación y de implementación así como mediante la comercialización de los productos.

Costo relativo:

Medio; se requiere financiamiento para la investigación inicial y para la implementación.

6.4 Otras medidas generales.

6.4.1 Incorporar acciones de mitigación en los planes de producción limpia que implementan los industriales en la zona.

Fundamento de la medida:

El Plan de Prevención de la Contaminación Atmosférica (PPCA)⁵³ para la localidad de Huasco y su zona circundante, tiene como objetivo fundamental reducir las concentraciones del MP10 como concentración anual y salir del estado de latencia.

Aunque este plan está expresamente diseñado para implementar un conjunto de acciones tendientes a disminuir las emisiones de MP10, es de esperar que muchas de dichas acciones disminuyan, además, los niveles de polvo grueso por cuanto el MP10 es una parte del polvo en su conjunto.

Es importante destacar que el Plan de Prevención contiene, además, el compromiso de los sectores industriales de implementar acciones tecnológicas y de gestión que permitan disminuir las emisiones de material particulado.

Efectos esperados con su implementación:

- Disminución de los niveles de polvo grueso (MPS) en la zona, como una vía para disminuir los niveles de MP10.
- Mejora en la calidad del aire en la zona.
- Mejora de la calidad ambiental de la zona.
- Mejora en la percepción respecto de la condición del aire en la zona.
- Mejora en la calidad de vida y de salud de las personas.

Factibilidad de implementación:

Sencilla respecto del polvo negro por cuanto la implementación del Plan de Prevención es obligatoria para disminuir los niveles de MP10 de la zona y salir de la condición de zona latente en que se encuentra.

Factibilidad e indicadores de seguimiento de su implementación:

Factibilidad sencilla, mediante el seguimiento de la implementación del Plan de Prevención.

Costo relativo:

Medio, pero es una necesidad asumida y factible según se demuestra en el “Análisis General del Impacto Económico y Social para el Anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP10 para la localidad de Huasco y su zona circundante⁵⁴” desarrollado por el Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente en su versión del 25 de noviembre de 2015 (última versión disponible a la fecha del presente estudio). En la localidad de Huasco y su zona circundante las concentraciones ambientales de material particulado respirable (MP10) se encuentran entre un 80% y un 100% del valor de la norma de calidad primaria anual, situación por la que se origina la declaración de Zona Latente (ZL). Los principales emisores son la Compañía Minera del Pacífico S.A (CAP), y la empresa eléctrica Guacolda. Ambas industrias aportan en conjunto un 99% de las emisiones de MP10 para las fuentes identificadas, por lo que las medidas de reducción de emisiones propuestas en el anteproyecto han sido diseñadas considerando a ambas empresas. Las principales medidas del plan se asocian al control de emisiones fugitivas de las empresas CAP y Guacolda a través de instalación de chutes de transferencia de carga y descarga; cubierta de correas transportadoras; encapsulamiento de canchas; encapsulamiento e hidrolavado de vagones del tren; pavimentación de caminos y programas de barrido de calles. También existen medidas para el control de emisiones de fuentes fijas a través del límite de emisiones de MP. Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían salir de la condición de latencia el año 2019.
- La reducción de emisiones generará los siguientes beneficios: reducción de casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como en agricultura, ecosistemas, visibilidad, materiales, mejoras en salud en otras comunas (fuera del área de estudio), imagen país y co-beneficios asociados al cambio climático por reducción de por reducción de Black Carbon.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$2,4 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años.
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$26,4 millones

6.4.2 Presentar al Fondo Nacional de Desarrollo Regional, un proyecto de innovación que considere el uso de la ceniza actualmente depositada en los cenizales.

Fundamento de la medida:

⁵⁴ Disponible en

http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/965_117_AGIES_PDA_Huasco_v.4.pdf

El uso de cenizas de termoeléctricas en diferentes aplicaciones está ampliamente documentado en la literatura internacional y también en Chile. Se presentan a continuación algunos de los ejemplos de ello:

Estudios desarrollados y publicados por el EULA-Universidad de Concepción respecto de la gestión integral de cenizas:
http://www.eula.cl/giba/images/contenidos/publicaciones/libros/Gestion_Integral_de%20Cenizas.pdf

Proyecto Corfo (2012) Valorización de cenizas volantes de termoeléctricas para la fabricación de zeolitas. Ejecutado por la Universidad de Santiago de Chile. Sus objetivos fueron: Evaluar las alternativas tecnológicas existentes y proponer una tecnología con ventajas competitivas para fabricar zeolitas a partir de cenizas volantes. Formular un proyecto Línea 2 para desarrollar un proceso que permita valorizar las cenizas volantes provenientes de plantas térmicas en la fabricación de zeolitas sintéticas. Modelo de negocios de producción y comercialización de zeolitas en el área agropecuario. Prospectar diversas alternativas tecnológicas existentes para la fabricación de zeolitas a partir de cenizas volantes y su aplicación en el sector agropecuario. Proyecto Línea I+d Aplicadas de un proceso para valorización de cenizas mediante la fabricación de zeolitas sintéticas. Resumen disponible en <http://repositoriodigital.corfo.cl/handle/11373/9766>

Memoria de Título Ingeniero Civil. (2008) Claudia A. Cid Perley. “Aprovechamiento de cenizas de combustión de lecho fluidizado (FBC) para elaboración de áridos livianos”. Dpto Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/cid_c/sources/cid_c.pdf

Proyecto Conicyt (2006) desarrollado por la Universidad de la Frontera. Investigador Responsable: Francisco Salazar. “Desarrollo de un adsorbente a partir de residuos industriales de interés nacional y su uso en la retención de metales pesados presentes en efluentes líquidos”. <http://w1.conicyt.cl/bases/fondecyt/proyectos/01/2006/1060309.html>

Proyecto Fondecyt (2012) desarrollado por la Universidad de la Frontera. Investigador responsable: Aixa González Ruiz. “Captura de dióxido de carbono a través de la carbonatación mineral de cenizas volantes de la combustión de coque de petróleo” Código de Proyecto: 3120136. <http://investigacion.ufro.cl/index.php/proyectos/79-proyectos/81-resultados-proyectos-fondecyt-postdoctorado-2012>

Proyecto Fondecyt (2013) desarrollado por la Universidad de Santiago de Chile. Investigador responsable: Silvio Montalvo. “Development and modeling of a new methodology for anaerobic sewage sludge treatment: Enhancement of hydrolysis and methanogenesis by application of micro aeration and solid waste as trace elements supplement” Código de Proyecto: 1130315. Algunas presentaciones de resultados parciales se encuentran disponibles en:

https://www.researchgate.net/publication/285574633_Efecto_del_tamano_de_particula_de_las_cenizas_volantes_sobre_la_digestion_anaerobia_de_lodos_de_aguas_servidas

https://www.researchgate.net/publication/285574416_Estimulacion_de_la_digestion_anaerobia_de_lodos_secundarios_con_cenizas_de_termoelectricas

https://www.researchgate.net/publication/285574619_Efecto_simultaneo_de_la_Micro_Aireacion_y_suplementacion_de_cenizas_volantes_sobre_la_digestion_anaerobia_de_lodos_residuales

https://www.researchgate.net/publication/285538271_Use_of_fly_ash_as_stimulant_for_sludg_e_anaerobic_digestion

https://www.researchgate.net/publication/281673475_Biodegradability_and_methane_producti_on_from_secondary_paper_and_pulp_sludge_Effect_of_fly_ash_and_modeling

La Estrategia Regional (de Atacama) de Desarrollo al 2017 establece como lineamiento N° 3 la Promoción de la Investigación e Innovación, descrito como “la capacidad del sector público y privado para impulsar y llevar a cabo los procesos mediante los cuales productos, procesos productivos, y servicios desarrollados en base a nuevos conocimientos o a la combinación novedosa de conocimiento preexistente, son introducidos eficazmente en los mercados, y en la vida social”.

En este contexto tanto los fondos concursables FNDR⁵⁵-FIC⁵⁶ (Ver ejemplo de los alcances del concurso 2016 en <https://goreatacama.gob.cl/wp-content/uploads/Bases-Concurso-FIC-Regi%C3%B3n-de-Atacama-a%C3%B1o-2016.pdf>) como los fondos nacionales vía Corfo, Fondecyt u otros ofrecen espacio para postular proyectos que contribuyan a fortalecer las capacidades regionales y locales, en el aprovechamiento de recursos dispuestos hoy en forma de residuos como es el caso de las cenizas de las termoeléctricas.

En particular, la aplicación de estas cenizas para mejorar los procesos de tratamiento de aguas servidas es relevante para la zona de Huasco, porque en las comunas que conforman la cuenca del Río Huasco no existen grandes plantas de tratamiento de aguas servidas y sería altamente beneficioso para toda la zona, que los pequeños sistemas puedan operar de la manera más eficiente posible.

Efectos esperados con su implementación:

- Aprovechar las cenizas de termoeléctricas en otros usos ambientalmente sostenibles.
- Mejorar la gestión ambiental comunal, provincial y regional.
- Fortalecer las capacidades de investigación aplicada, innovación y competitividad de actores locales como la Universidad de Atacama.
- Transformar la imagen negativa de la generación eléctrica usando carbón de un proceso que genera desechos a un proceso que contribuye al mejoramiento ambiental de la región.

Factibilidad de implementación:

Media en su implementación. Requiere de un esfuerzo coordinador para convocar a los especialistas, preparar la postulación y obtener los patrocinios requeridos.

Requiere incorporar investigadores de la Universidad de Atacama con experiencia en las postulaciones FNDR-FIC para liderar el proceso.

Factibilidad e indicadores de seguimiento de su implementación:

Factibilidad sencilla, mediante el seguimiento del proceso de postulación y sus resultados.

⁵⁵ FNDR: Fondo Nacional de Desarrollo Regional

⁵⁶ FIC: Fondo de Innovación para la Competitividad

Costo relativo:

Bajo, en la etapa de formulación del proyecto se requieren horas de trabajo para escribir el proyecto.

La implementación del proyecto ganado, dispondrá de sus propios fondos para ello.

7 OBJETIVO 6 DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En desarrollo.

8 CONCLUSIONES GENERALES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se pueden formular las siguientes conclusiones:

Recopilar, sistematizar y evaluar antecedentes existentes acerca de la comuna de Huasco y la presencia de polvo negro en esta comuna. (Objetivo específico 1)

- Los datos históricos indican una distribución irregular del Material Particulado Sedimentable (MPS) en el valle del Huasco, semejante al patrón de velocidad del viento y al patrón de dispersión del SO₂ en la zona.
- Los valores promedio mensuales de MPS en toda la zona de estudio, entre los meses de diciembre/2015 y febrero/2016, considerando 15 muestreadores instalados en la zona de estudio, no superaron el valor promedio mensual de 150 mg/m²/día establecido en el Decreto Exento 4 de 1992 del Ministerio de Agricultura.
- En algunos sectores específicos, no obstante, los valores mensuales superaron el límite de 100 mg/m²/día.

Caracterizar el polvo negro presente en la comuna de Huasco en base a información existente y realización de muestreos. (Objetivo específico 2)

- Las concentraciones de metales en la fracción soluble del MPS resultaron muy pequeñas, lo que indica la baja solubilidad de los componentes el polvo negro.
- Los metales Se, Ag y Be resultaron no detectables en todas las muestras de MPS insoluble.
- El MPS insoluble presentó concentraciones de Cd, Zn, Cr, Cu, As, V, Ni, Pb, Co, Mo, B, Fe, Al, Mn, Ba.
- Los metales Fe, Mn, V, Zn presentaron las mayores concentraciones en el polvo negro depositado en la zona de estudio.
- Los patrones de distribución para Cd, Fe, V resultaron muy semejantes entre sí, con sectores de altas concentraciones en la ciudad de Huasco, en un sector del valle (Freirina) y también en la zona del límite comunal entre Freirina y Vallenar, coincidiendo con el movimiento del tren que transporta el mineral rico en Fe y V, para CAP Minerals.
- Los metales Pb, Mn y Cu presentaron sus mayores concentraciones desde Freirina hacia Vallenar, más que en la ciudad de Huasco, lo que indica su vinculación con otras fuentes, ya sean naturales o antropogénicas.
- 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).
- 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, lo cual sugiere que el principal mecanismo de movilización del polvo es por transporte de partículas a nivel de suelo. Este resultado podría explicar que las mediciones de MPS entreguen valores bajos, cuando la presencia de polvo negro en la zona es evidente por su impacto visual.
- El polvo negro depositado es igual al material que transporta el tren de Ferronor para Cd, Ni, Mn, V, Co y Fe. Para algunos metales, como Pb y Ba en varios sectores, el polvo depositado tiene mayor concentración que el material del tren, lo que induce a

pensar que tal sector está bajo la influencia de alguna fuente adicional de polvo negro, ya sea una fuente areal o una fuente difusa.

- Los metales Cd, Cr, Cu, Mn y V en polvo depositado superaron los Valores Guía para evaluación de medios ambientales (EMEG) para infantes y niños, lo que los individualiza como contaminantes de interés potencial.
- Se determinaron los niveles background de metales en los suelos de la zona de estudio, considerando los tres tipos de suelo con mayor representatividad en la zona.
- 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.
- Para los metales Cd, Pb, V y Fe en suelo superficial, existe un enriquecimiento tanto en la ciudad de Huasco como en su zona industrial.
- Las concentraciones de metales en aguas superficiales son muy bajas y no parecen tener relación con la presencia de polvo negro en la comuna de Huasco.
- Mediante un cuestionario aplicado a 23 personas residentes en las comunas de Huasco, Freirina y Vallenar, entre 15 y 86 años, se estableció que el polvo negro se percibe como constante (no hay diferencia entre el día y la noche), igual en invierno que en verano, con presencia de hierro, ácidos, venenos, tóxicos; se percibe en las casas, techumbres, olivos, que vuelve a depositarse entre 1 hora y 1 día después de haber limpiado.
- El cuestionario aplicado reveló que las personas creen que el polvo negro produce afectaciones a la salud (en la ciudad de Huasco) y a la economía (en el valle de Huasco).
- Las principales fuentes contaminantes identificadas en la percepción de las personas, son: la Planta de Pellets, las termoeléctricas y el tren.

Definir la zona de influencia del polvo negro a través de modelación. (Objetivo específico 3)

- Mediante simulación se estableció que las concentraciones de partículas en el aire emitidas desde tres fuentes aereales (consideradas como fuentes fugitivas), depósito temporal de carbón, zona expuesta de Planta de Pellets/CAP y línea del tren, disminuyen a medida que aumenta la distancia entre el receptor y la fuente de emisión, ratificando que en condiciones atmosféricas estables, de poca difusión de los contaminantes, los mismos llegan a sectores interiores del valle así como a la ciudad de Huasco, donde no existen registros históricos de las concentraciones ni de la composición del MPS.
- Se estableció un balance de masa para el contaminante Hierro, en la ciudad de Huasco obteniendo que la mayor parte (expresado como Fe_2O_3) se deposita en el suelo superficial, y una parte menor se incorpora al aire transportándose como aerosol.
- La zona de influencia del polvo negro, abarca tres sectores, como se ha demostrado con los resultados obtenidos en muestras puntuales y con la modelación usando herramienta kriging: la zona industrial de Huasco, la ciudad de Huasco y el valle de Huasco hasta Vallenar, en el entorno de la línea del tren.

Definir el modelo conceptual de la incidencia de las sustancias potencialmente contaminantes que puedan producir efectos negativos en la salud y el medio ambiente (aire, suelo, agua, sedimento, biota y/o alimentos). (Objetivo específico 4)

- Se elaboró y mejoró según la evidencia experimental, un modelo conceptual del problema de contaminación para la presencia de polvo negro en la zona de Huasco.
- De acuerdo a la presencia de metales en el suelo superficial, los contaminantes de interés, para cada una de las zonas son: Cd, Cr y V para el sector de la ciudad de Huasco y para el sector de la zona industrial de Huasco; Cd, Cr, Cu y Mn para el sector del valle del Huasco y Cd, Cr y Cu para el sector de Vallenar.
- Los contaminantes anteriormente mencionados deberán estudiarse en escenarios de exposición para infantes y niños.
- Preliminarmente, ninguno de los contaminantes estudiados supone riesgo preliminar para receptores adultos.

Diseñar e implementar medidas de gestión piloto orientadas a la mitigación del polvo negro, verificando su eficiencia en los receptores sensibles. (Objetivo específico 5)

- Se proponen algunas medidas que ayuden a mitigar los efectos del polvo negro en la zona, tanto en la salud como en la economía.
- Se implementó, como medida piloto, la evaluación de riesgos a la salud en el entorno del muestreador MPS-1, en la ciudad de Huasco. Los resultados demuestran que existe **riesgo crónico no cancerígeno no aceptable** para receptores niños, adolescentes, adultos expuestos al material del Material Particulado Sedimentable (MPS) de composición igual a la obtenida en el mes de diciembre de 2015 y niños expuestos al polvo sedimentado (escenarios de exposición 1, 3, 5 y 7) vinculados a las concentraciones de los metales **vanadio, cobalto y hierro**. La vía de exposición que más aporta al Índice de Peligrosidad en todos los escenarios analizados es la ingesta accidental de material.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

9.1 Libros

Hernán Danús V. “Crónicas Mineras de Medio Siglo (1950 – 2000)”. Ril Editores (2007) ISBN: 978-956-284-555-7

The Encyclopedia of the Environment. 1994

Contaminación e Ingeniería Ambiental. II.- Contaminación atmosférica (1997). J. L. Bueno, H. Sastre, A. G. Lavín

Handbook on the Toxicology of Metals, G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg, y L.T. Friberg. Third edition, 2007. Academic Press/Elsevier.

R. Hernández Sampieri, C. Fonseca Collado, M. del P. Baptista Lucio “Metodología de la investigación”. Quinta edición. 2010. ISBN: 978-607-15-0291-9 página 217.

Present Knowledge of Nutrition. Seventh edition. E.E. Ziegler and L.J. Filer, editors. ILSI Press, Washington, DC, 1996.

9.2 Publicaciones científicas

Vásquez J.A., Matsuhira, B., Vega, M.A., Pardo, L.M. and Veliz, D. (2000) “The effects of mining pollution on subtidal habitats of northern Chile”. *Int J. Environment and Pollution, Vol. 13. Nos 1-3.* 000-000.

González, S.A.; Stotz, W., and Lancellotti, D., 2014. Effects of the discharge of iron ore tailings on subtidal rocky-bottom communities in northern Chile. *Journal of Coastal Research*, 30(3), 500–514. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Oswaldo Urrutia Silva, “Jurisprudencia nacional, nuevos Tribunales Ambientales y derecho internacional del medio ambiente”. *Revista de Derecho XL* [pp. 475 - 507]. Valparaíso, Chile, 2013,

Bernhard Dold, “On-Land or Submarine Tailings Disposal? – Pros and Cons. 2015. Sustainable Mining Research & Consultancy”, Chile

Rosas German. “Desarrollo Social de la Ciudad-Región”. *Revista de Psicología de la Universidad de Chile*. Vol. X N°2.

Durán Hernán. 1990. “Impacto ambiental de la minería en Chile: Balance preliminar”. *Ambiente y Desarrollo*. Vol VI; 65-76.

R. Imhof, M. Battersby, F. Parra, S. Sanchez-Pino. The Successful Application of Pneumatic Flotation Technology for the Removal of Silica by Reverse Flotation at the Iron Ore Pellet Plant of Compañía Minera Huasco, Chile. Brisbane, QLD, 6-9 June 2005

L. Valderrama, J. Chamorro, B. Zazzali, A. Rodríguez, A. Díaz ESTUDIOS DE REACTIVOS PARA LA FLOTACIÓN DE SILICATOS

CONTENIDOS EN CONCENTRADOS DE HIERRO Revista de la Facultad de Ingeniería UDA
28 (2012) 27-34

Alessandra Fortuna Neves. (2005). “Vanadio no material particulado atmosférico na regio de resurgencia de Cabo Frio –RJ.”. Niterói.

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, 39 (1) 20-31

9.3 Normativas ambientales

Decreto Exento N° 4 de 1992, Ministerio de Agricultura, “Establece Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del Río Huasco III Región”

Decreto 40 de mayo de 2012. Declara zona latente por material particulado respirable MP10, como concentración anual, a la localidad de Huasco y su zona circundante Disponible en <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1040270&idParte=0>.

Resolución Exenta 542 de julio de 2014. Inicia el proceso de elaboración del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP10 para la localidad de Huasco y su zona circundante.

Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter) (2010)

Análisis General del Impacto Económico y Social para el Anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP10 para la localidad de Huasco y su zona circundante” Disponible en http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/965_117_AGIES_PDA_Huasco_v.4.pdf

Plan de Prevención de la Contaminación Atmosférica⁵⁷ para la localidad de Huasco y su zona circundante, Disponible en http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=926046

9.4 Páginas web consultadas

<http://www.capmineria.cl/operacione/valle-del-huasco/>

<http://www.cooperativa.cl/noticias/pais/energia/generacion-electrica/comunidad-de-huasco-denuncia-graves-efectos-de-contaminacion-por-punta-alcalde/2012-12-13/140942.html>

<http://soshuasco.blogspot.com/>

<http://eldesconcierto.cl/relaves-en-el-mar-la-opcion-de-las-mineras-que-es-apuntada-como-irracionalidad-ambiental/>

<http://www.eldinamo.cl/ambiente/2014/10/28/oceana-exige-que-endesa-cancele-definitivamente-el-proyecto-punta-alcalde-en-huasco/>

<http://www.eldinamo.cl/ambiente/2014/05/09/tras-manifestacion-en-la-moneda-nuevo-portazo-de-gobierno-a-las-comunidades-del-huasco/>

<http://www.eldinamo.cl/ambiente/2014/05/05/comunidades-del-huasco-llegan-a-la-moneda-con-su-no-a-agrosuper-pascua-lama-y-punta-alcalde/>

<http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyectoAction.php>

http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2016/03/cap_mineria_memoria_2015.pdf

<http://agromet.inia.cl/estaciones.php>

<http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/III>

<http://www3.epa.gov/ttn/scram/aqmindex.htm>

<http://portal.mma.gob.cl/seremi-de-atacama-entrega-certificacion-ambiental-a-municipio-de-huasco/>

<http://www.elmorrocotudo.cl/noticia/sociedad/detectan-bajos-niveles-de-polucion-por-polimetales-en-8-colegios-que-solo-reguieren>

http://platina.inia.cl/uvaconcaqua/docs/literatura/Suelo_Clima_Valle_del_Huasco.pdf

<http://atacamanoticias.cl/2016/08/29/vecinos-de-llanos-de-lagarto-de-huasco-se-certificaron-en-manejo-y-cultivo-de-hortalizas/>

<http://portalweb.vallenardigital.cl/cat-vallenar/sence-certifica-a-operadores-de-cultivos-de-hortalizas-en-invernadero-de-vallenar/>

<http://atacama.minagri.gob.cl/2013/09/11/seremi-de-agricultura-visita-a-agricultores-de-huasco-evaluando-produccion-en-temporada-invernal/>

<http://repositoriodigital.corfo.cl/handle/11373/2025?show=full>

<http://elnoticierodelhuasco.cl/author/jose-andres/page/546/>

http://www.eula.cl/giba/images/contenidos/publicaciones/libros/Gestion_Integral_de%20Cenizas.pdf

<http://repositoriodigital.corfo.cl/handle/11373/9766>

<http://w1.conicyt.cl/bases/fondecyt/proyectos/01/2006/1060309.html>

<http://investigacion.ufro.cl/index.php/proyectos/79-proyectos/81-resultados-proyectos-fondecyt-postdoctorado-2012>

https://www.researchgate.net/publication/285574633_Efecto_del_tamano_de_particula_de_las_cenizas_volantes_sobre_la_digestion_anaerobia_de_lodos_de_aguas_servidas

<https://www.researchgate.net/publication/285574416> Estimulación de la digestión anaerobia de lodos secundarios con cenizas de termoelectricas

<https://www.researchgate.net/publication/285574619> Efecto simultaneo de la Micro - Aireación y suplementación de cenizas volantes sobre la digestión anaerobia de lodos residuales

<https://www.researchgate.net/publication/285538271> Use of fly ash as stimulant for sludge anaerobic digestion

<https://www.researchgate.net/publication/281673475> Biodegradability and methane production from secondary paper and pulp sludge Effect of fly ash and modeling

<https://goreatacama.gob.cl/wp-content/uploads/Bases-Concurso-FIC-Regi%C3%B3n-de-Atacama-a%C3%B1o-2016.pdf>

9.5 Informes de estudios realizados

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. CITUC.

Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco, (2006) desarrollado por CENMA para la Ilustre Municipalidad de Huasco.

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, (2012-2013) desarrollado por CENMA para la Subsecretaría de Medio Ambiente.

Informe Proyecto FIC 2013. “Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica, II temporada, y prospección de las condiciones edáficas sobre el rubro olivícola, sector costero valle del Huasco” DICTUC 2013

CENMA 2013. “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

CENMA, Caracterización física y química del material particulado en Huasco. Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco. Febrero 2006

Informe Proyecto FIC 2013. “Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica, II temporada, y prospección de las condiciones edáficas sobre el rubro olivícola, sector costero valle del Huasco” DICTUC 2013

9.6 Tesis y documentos universitarios

Carolina Andrea Campos Briones, 2014, “Evolución de la calidad de aguas superficiales para uso agrícola en una cuenca hidrográfica del Norte Chico, en el período 2003-2013” Seminario para obtener el Título de Químico Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.

Pablo Enrique Cabello Espinoza, 2014, “Análisis de metales pesados presentes en sedimentos de las cuencas de los ríos Huasco, Elqui y Limarí, con el objeto de completar la evaluación del estado ecológico” Seminario de Título del estudiante como requisito para obtener el Título de Químico Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.

Lilian Ruiz Pinto, 2009, “Sociedad civil, Sistema de Gestión Ambiental y Empresariado Energético en un territorio socio-ambientalmente complejo. Una aproximación a la problemática de Huasco”. Tesis para optar al título profesional de Socióloga. 2009. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Sociales. Departamento de Sociología

Natalia Castro Aravena, 2015. “Manifestación e impacto capitalista en economías locales. Mundo Olivarero en la localidad rural de Huasco Bajo, III región de Atacama”. Tesis para optar al grado de Licenciado en Antropología Social. Tesis para optar al título de Antropólogo. Universidad Academia de Humanismo Cristiano.

Claudia A. Cid Perley, 2008. “Aprovechamiento de cenizas de combustión de lecho fluidizado (FBC) para elaboración de áridos livianos”. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Dpto Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

9.7 Documentos ambientales varios.

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>

VII Censo Nacional Agropecuario Forestal 2006 – 2007, del INE

Reporte de Estadísticas Ambientales de Chile, 2014, MEDIO AMBIENTE, INFORME ANUAL 2014. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_medio_ambiente/2014/informe-medio-ambiente2014.pdf

<http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1040270&idParte=0>

MEDIO AMBIENTE, INFORME ANUAL 2014. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_medio_ambiente/2014/informe-medio-ambiente2014.pdf

Información disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/consejo-de-recuperacion-ambiental-y-social-de-huasco-identifico-y-priorizo-soluciones-para-el-pras/> Información disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/consejo-de-recuperacion-ambiental-y-social-de-huasco-identifico-y-priorizo-soluciones-para-el-pras/>

Informe Ambiental CAP Minería (2002) Disponible en: http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2011/04/cap_mineria_informe_ambiental_2002.pdf

Estudio de Impacto Ambiental “Uso de mezclas de carbón y petcoke en la Central Térmica Guacolda de EEGSA”, Fuente: Información obtenida en: http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013071501/EIA_2120_DOC_8359356.pdf

El Informe Ambiental de CAP Minería⁵⁸ en 2002 Informe Ambiental CAP Minería (2002) Disponible en: http://www.capmineria.cl/wp-content/uploads/2011/04/cap_mineria_informe_ambiental_2002.pdf

Ordinario N° 1448 la SEREMI de Salud de Valparaíso comunicó al Subsecretario de Educación el “informe de análisis de metales en polvo y suelo en colegios de Puchuncavi”.

DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Cierre y Sellado Vertedero Comuna de Huasco Aprobada por la Resolución Exenta N° 27 Copiapó, 30 de Enero de 2013, que Califica Ambientalmente el proyecto "Cierre y Sellado Vertedero Comuna de Huasco Vertedero Huasco"

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” (disponible en: <https://www.e-seia.cl/archivos/20090331.151058.pdf>)

DIA Plan Regulador Comunal Huasco, Región de Atacama, presentado en diciembre de 2003

Informe de la Comisión Especial Investigadora de la Situación Ambiental del Valle del Huasco por los trabajos de Instalación del Proyecto Pascua Lama. Valparaíso, Chile, 2014

RCA N° 215. 2010. Proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets"

CAP Minería. 2015. "Disposición submarina de relaves. La experiencia de CAP Minería. Ensenada Chapaco 1978-2015 "

CAP. 2008. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LOS INDICADORES GRI AMBIENTALES

Bravo M., Gallardo MA., Núñez P., Thiel M., Vásquez N (2008) Primer Muestreo Nacional de la Basura. Informe No publicado. Universidad Católica del Norte. Coquimbo. Chile 33 pp

Carolina Andrea Uribe Zazzali 2014 “El impacto social del proceso judicial contra la instalación de la termoeléctrica Castilla en la comunidad de Totoral” 2014

REPÚBLICA DE CHILE COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE LA III REGIÓN DE ATACAMA, “Informe técnico final de la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto "Mejoramiento tecnológico para la producción de concentrados de minerales de hierro", Compañía Minera del Pacífico

REPÚBLICA DE CHILE COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE LA III REGIÓN DE ATACAMA, “RCA Minera Los Colorados”, Copiapó 28 de octubre de 2010

Estudio impacto ambiental “EIA 952 Línea base medio físico” Ciudad De Huasco

Estudio impacto ambiental “EIA 952 Línea base zona de riesgo” Ciudad De Huasco

Puerto las Losas. “Anexo 1 Estimación de emisiones y análisis de calidad del aire” DIA recepción y embarque de graneles minerales. Región de Atacama Chile. Diciembre 2014

58

Puerto Las Losas. "Anexo 5 Estimación de emisiones y análisis de calidad del aire" DIA recepción y embarque de graneles minerales. Región de Atacama Chile. Agosto 2014

Puerto Las Losas "Anexo 2-3 Estimación de emisiones y análisis de calidad del aire". Atacama Chile 2013

Puerto Las Losas. "Declaración de Impacto Ambiental recepción y embarque de graneles minerales". Región de Atacama. GAC Octubre-2013

Compañía Minera del Pacifico. "Especificaciones técnicas para implementación de red de monitoreo material particulado sedimentable en cuenca Rio Huasco". Proyecto P-914 Informe final. CIMM Junio 1992

Municipalidad de Huasco - Universidad de La Serena "Memoria Plan Regulador comunal de Huasco" Escuela de Arquitectura Universidad de La Serena.

D.S. N°. 4 de 1992, del Ministerio de Agricultura. (D.O. 26.05.1992) Establece normas de calidad del aire para Material particulado sedimentable en la Cuenca del rio Huasco III región

CONAMA. "Informe Técnico Declaración Zona latente por MP-10 en Huasco III Región". Copiapó Septiembre 2010.

CENMA. "Informe Polvo y Suelo, Huasco, muestras tomadas 2 de abril 2014". Santiago 2014.

SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión1.0, 2003). Santiago. Disponible en <http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf>

Clases de Estabilidad Atmosférica (Pasquill 1961, Turner 1970) Determinación basada en observaciones de velocidad del viento, radiación solar y nubosidad.

Programa Level1. Centro para la Modelación Química y Ambiental de la Universidad de Trento, Ontario, Canadá (Centre for Environmental Modelling and Chemistry *an academic research group of Trent University, Peterborough, Ontario, Canada*). Disponible en <http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/models/L1300.html>

Ministerio de Medio Ambiente (2012) Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes.

Chile: Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos. Instituto Nacional de Estadísticas. 2005. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php

ATSDR, Marzo 2016, Minimal Risk Levels (MRLs) disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/index.asp>

IRIS, 1996 for Manganese. Disponible en <https://extranet.who.int/iris/restricted/handle/10665/42992>

Madhavan et, al, (1989) Environ Res 49: 136-142

Estrategia Regional de Desarrollo de Atacama (2007 – 2017) disponible en http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/desarrollo_de_atacama.pdf