

INFORME FINAL
**“Antecedentes para Elaborar el Plan de Prevención de la
Localidad de Huasco”**

Informe Final

Fecha: 07 de agosto de 2015

SUBSECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE

Contenidos

Resumen Ejecutivo	13
1. Introducción	24
1.1 Diagnóstico de la situación actual de MP ₁₀ en la Localidad de Huasco y su Zona Circundante	25
1.2 Descripción del problema a abordar y justificación del estudio	27
2. Objetivos	29
2.1 Objetivo General	29
2.2 Objetivos Específicos	29
3. Inventario de Emisiones	31
3.1 Fuentes Fijas de Combustión	31
3.1.1 Nivel de Actividad	32
3.1.2 Factores de Emisión	33
3.1.3 Resultados	36
3.2 Fuentes Fijas Fugitivas	40
3.2.1 Nivel de Actividad	40
3.2.2 Factores de Emisión	44
3.2.3 Resultados	47
3.3 Fuentes Móviles de Combustión	52
3.3.1 Niveles de Actividad	52
3.3.1 Factores de Emisión	60
3.3.2 Resultados	60
3.4 Fuentes Móviles Fugitivas	63
3.4.1 Niveles de Actividad	63
3.4.2 Factor de Emisión	63
3.4.3 Resultados	65
3.5 Inventario Consolidado	68
4. Relaciones de Emisión – Calidad del Aire para MP10	72
4.1 Metodología	72
4.1.1 Modelación de la meteorología en la zona	72
4.1.2 Modelación de la dispersión de las emisiones atmosféricas	74
4.2 Resultados	76

4.2.1	Aportes al MP10 por tipo de fuente	79
4.2.2	Máximos aportes diarios al MP10 en Huasco	80
4.2.3	Evaluación del desempeño del modelo de dispersión en la zona de Huasco, para los promedios diarios de MP10.	90
4.3	Aportes anuales al MP10 en Huasco y relación emisión-concentración	95
5.	Caracterización de Medidas (Potencial de Reducción de Emisiones y Costos)	101
5.1	Potencial de Reducción de Emisiones	103
5.1.1	Fuentes Fijas Puntuales	104
5.1.2	Fuentes Fijas Areales	111
5.1.3	Fuentes Móviles Fugitivas	119
5.1.4	Potencial de Reducción Total	120
5.2	Costos de Implementación de Medidas	123
5.2.1	Fuentes Fijas Puntuales	124
5.2.2	Fuentes Fijas Areales	127
5.2.3	Fuentes Móviles Fugitivas	133
6.	Impacto de Medidas de Reducción de Emisiones en la Calidad del Aire	136
7.	Propuesta de Cronogramas de Reducción de Emisiones	140
8.	Bibliografía	145
9.	Anexos	149
9.1	Antecedentes de la Zona en Estudio	149
9.1.1	Emisiones	149
9.1.2	Calidad del Aire	168
9.2	Estudios/Documents Revisados	200
9.3	Factores de Emisión Fuentes Móviles (g/km)	203
9.4	Estimación Cantidad de Preconcentrado, Carbón y Caliza en CAP	206
9.5	Resultados Análisis de Muestras	208
9.6	Listado Ampliado de Medidas	209
9.7	Fichas de Medidas de Reducción	214
9.8	Minuta Visita #1 a la Zona de Huasco	217
9.9	Minuta Visita #2 a la Zona de Huasco	222

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1-1: Mapa de zona latente de Huasco.....	25
Ilustración 9-1: Descarga de pre-concentrado en CAP	159
Ilustración 9-2: Proceso de espesado en CAP	161
Ilustración 9-3: Filtrado de concentrado.....	161
Ilustración 9-4: Horno rotatorio CAP.....	162
Ilustración 9-5: Scrubber en CAP.....	162
Ilustración 9-6: Red de Monitoreo del MMA	176
Ilustración 9-7: Red de Monitoreo Guacolda.....	177
Ilustración 9-8: Red de monitoreo Guacolda SO2.....	177
Ilustración 9-9: Red complementaria CAP minería	178
Ilustración 9-10: Red de Monitoreo Las Losas-CAP.....	179
Ilustración 9-11: Red de monitoreo CAP MPS.....	180
Ilustración 9-12: Precipitador electrostático.....	218
Ilustración 9-13: Sistema de transporte de carbón.....	218
Ilustración 9-14: Vertedero	219
Ilustración 9-15: Zona de descarga CAP	220
Ilustración 9-16: Cancha de acopio CAP.....	220
Ilustración 9-17: Precipitador electrostático en Chimenea 2A; al fondo se ve la chimenea 2B	221
Ilustración 9-18: Scrubber en chimenea 2A.....	221
Ilustración 9-19: Planta de reciclado de pellets aglomerados durante el proceso. Correa de alimentación de pila de acopio	221
Ilustración 9-20: Polígono de Cancha de Carbón Guacolda	223
Ilustración 9-21: Polígono cancha de acopio de cenizas.....	224
Ilustración 9-22: Chimeneas y plumas CAP	225
Ilustración 9-23: Polígono Cancha Acopio de Carbón	226
Ilustración 9-24: Cancha Acopio Materiales	226
Ilustración 9-25: Cancha Rehorneo	227
Ilustración 9-26: Toma de muestra de polvo de calle	228

Índice de Tablas

Tabla 0-1: Inventario consolidado de emisiones (ton/año)	16
Tabla 0-2. Receptores utilizados en las modelaciones de calidad del aire.	17
Tabla 0-3 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 por Fuentes Relevantes (ugMP10/m3)..	19
Tabla 0-4 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 para Punta Alcalde.....	19
Tabla 0-5 Medidas Finales Evaluadas.....	21
Tabla 3-1: Niveles de actividad de fuentes fijas puntuales.....	33
Tabla 3-2: Factores de emisión chimeneas – escenario 2013.....	34
Tabla 3-3: Factores de emisión chimeneas – escenario futuro – emisiones ambientalmente aprobadas.....	34
Tabla 3-4 Mediciones isocinéticas sustancias tóxicas – Guacolda (kg/hr).....	35
Tabla 3-5 Estimación de factores contaminantes vs. MP10	35
Tabla 3-6: Emisiones fuentes fijas de combustión (ton/año)	37
Tabla 3-7: Emisión de Sustancias Tóxicas fuentes fijas de combustión (kg/año)	38
Tabla 3-8: Material utilizado	42
Tabla 3-9: Características de las pilas de acopio	43
Tabla 3-10: Fórmulas utilizadas para estimar factores de emisión de fuentes fijas fugitivas	44
Tabla 3-11: Descripción de parámetros utilizados en las ecuaciones.....	45
Tabla 3-12: Constantes de los factores de emisión de carga, descarga y erosión.....	45
Tabla 3-13 Propiedades de los materiales (%)	45
Tabla 3-14: Tiempo de erosión según altura de la pila	46
Tabla 3-15 Nivel de Implementación Medidas en Fuente Fugitivas - CAP.....	47
Tabla 3-16: Eficiencias de Reducción de Emisiones para Fuentes Fijas Fugitivas.....	48
Tabla 3-17: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para la carga	49
Tabla 3-18: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para la descarga	49
Tabla 3-19: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para el transporte en correas	50
Tabla 3-20: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para la erosión eólica	50
Tabla 3-21: Emisiones Fijas Fugitivas por responsable – MP10 - Escenario Sin Plan – Años 2013, 2020 y 2025 (ton/año)	52
Tabla 3-22: Distancia Promedio por Vehículo en una ciudad con menos de 25.000 Habs.....	53
Tabla 3-23: Parque vehicular en la comuna de Huasco	54
Tabla 3-24: Distribución de vehículos según normativa Euro.....	55
Tabla 3-25: Frecuencia de viajes y distancia recorrida por vehículos empresas	59
Tabla 3-26 Emisiones de Línea Base – Fuentes Móviles – Combustión (ton/año)	61
Tabla 3-27 Multiplicador (k) para ecuaciones según tamaño de partícula.....	64
Tabla 3-28 Fracción de polvo (o carga de finos) según tipo de camino	64

Tabla 3-29 Peso de Vehículos Según Tipo	64
Tabla 3-30 Velocidad Promedio Vehículos Según Tipo	64
Tabla 3-31 Constantes empíricas para FE calles no pavimentadas.....	65
Tabla 3-32: Factores de emisión para fuente móviles fugitivas (gr/km-veh)	65
Tabla 3-33: Emisiones fuentes móviles fugitivas (MP10) (ton/año)	67
Tabla 3-34: Inventario consolidado de emisiones (ton/año)	69
Tabla 3-35: Inventario consolidado de emisiones – Sustancias Tóxicas (kg/año)	70
Tabla 3-36: Distribución de responsabilidad de emisiones por contaminante – Año 2025	71
Tabla 4-1. Receptores utilizados en las modelaciones de calidad del aire.	76
Tabla 4-2 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 por Fuentes Relevantes (ugMP10/m3)..	96
Tabla 4-3 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 para Punta Alcalde	96
Tabla 4-4 Relaciones de Emisión – Concentración (ton/año)/(ugMP10/m3)	97
Tabla 5-1 Medidas Finales Evaluadas.....	103
Tabla 5-2: Medidas de control de costo cero – Año 2025	105
Tabla 5-3 Emisiones y aporte a concentración de MP10 por chimenea de CAP – año 2025.....	106
Tabla 5-4 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas de Combustión - CAP.....	107
Tabla 5-5 Emisiones y aporte a concentración de MP10 por chimenea de Guacolda – año 2025.	108
Tabla 5-6 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas de Combustión - Guacolda.....	109
Tabla 5-7 Emisiones y aporte a concentración de MP10 por chimenea de Punta Alcalde – año 2025	110
Tabla 5-8 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas de Combustión – Punta Alcalde	111
Tabla 5-9 Medidas consideradas para Fuentes Fijas Areales.....	111
Tabla 5-10 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- CAP – Año 2025	112
Tabla 5-11 Características de Tamaños para Domos en CAP	113
Tabla 5-12 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – CAP – Año 2025.....	113
Tabla 5-13 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- Guacolda – Año 2025	114
Tabla 5-14 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – Guacolda – Año 2025.....	114
Tabla 5-15 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- Punta Alcalde – Año 2025.....	115

Tabla 5-16 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – Punta Alcalde – Año 2025.....	115
Tabla 5-17 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- Puerto Las Losas – Año 2025.....	116
Tabla 5-18 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – Puerto Las Losas – Año 2025	116
Tabla 5-19: Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 – Fuentes Fugitivas de Área	118
Tabla 5-20 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Móviles Fugitivas – Año 2025	119
Tabla 5-21 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Móviles Fugitivas – Año 2025.....	120
Tabla 5-22 Parámetros Base para Estandarización de Monedas.....	124
Tabla 5-23 Parámetros de Costo y Vida Útil Tecnologías de Abatimiento Fuentes Fijas.....	124
Tabla 5-24 Parámetros de Eficiencia de Reducción de Emisiones para Tecnologías de Abatimiento Fuentes Fijas.....	124
Tabla 5-25 Parámetros de Eficiencia de Reducción de Emisiones para Tecnologías de Abatimiento Fuentes Fijas.....	125
Tabla 5-26 Horas de Funcionamiento consideradas para Fuentes Fijas en Escenarios Futuros.....	125
Tabla 5-27 Costos Anuales Estimados para Fuentes Fijas Puntuales.....	126
Tabla 5-28 Datos de Costo Tecnologías de Fuentes Fijas de Área (emisiones fugitivas).....	127
Tabla 5-29 Eficiencias de Abatimiento Tecnologías de Fuentes Fijas de Área (emisiones fugitivas)	127
Tabla 5-30 Superficie de Canchas de Acopio	128
Tabla 5-31 Costos Finales Instalación de Domos	128
Tabla 5-32 Largos Considerados para Trayectos de Transporte en Correas.....	129
Tabla 5-33 Costos Estimados para la Instalación de Correas Tubulares	129
Tabla 5-34 # de Acciones de Carga Consideradas.....	130
Tabla 5-35 # de Acciones de Descarga Consideradas	132
Tabla 5-36 Costos de Chutes Optimizados estimados por Empresa y Cancha	133
Tabla 5-37 Distancia a Pavimentar según Tramo.....	134
Tabla 5-38 Costos Estimados para Pavimentación de Caminos.....	134
Tabla 5-39 Costos Estimados para Cobertura de Vagones	135
Tabla 5-40 Costos Estimados para Hidrolavado de trenes	135
Tabla 6-1 Aporte de Concentración (ugMP10/m3) – Año 2025	137
Tabla 6-2 Resumen de Indicadores Medidas Evaluadas	138
Tabla 7-1 Tiempos de implementación de medidas	141

Tabla 7-2 Año de Entrada Medidas.....	142
Tabla 9-1: Emisiones Declaradas en el RETC (ton/año)	150
Tabla 9-2: Emisiones estimadas por fuente (kg/año)	150
Tabla 9-3: Emisiones Estimadas Fuentes Puntuales Principales (ton/año) - 2009	151
Tabla 9-4: Emisiones Estimadas DICTUC – Barcos en Huasco (ton/año) - 2009	151
Tabla 9-5: Descripción unidades de generación eléctrica en CT Guacolda.....	154
Tabla 9-6: Transporte y almacenamiento de combustibles e insumos en Guacolda	155
Tabla 9-7: Sistemas de Control de Emisiones Central Guacolda – Situación Actual.....	156
Tabla 9-8: Sistemas de Control de Emisiones Central Guacolda – Situación Futura	156
Tabla 9-9: Medidas de Control de Emisiones.....	157
Tabla 9-10: Permisos de emisiones actuales de Guacolda (ton/día)	158
Tabla 9-11: Chimeneas Guacolda, condiciones futuras de operación (ton/día).....	158
Tabla 9-12: Flujo de gases en el proceso de endurecimiento.....	161
Tabla 9-13: Sistema actual de control de emisiones en CAP	162
Tabla 9-14: Sistemas de control posterior a la implementación de la fase II - proceso de ampliación de producción de pellets.....	163
Tabla 9-15: Resumen Medidas de Control de Emisiones – Planta de Pellets	164
Tabla 9-16: Chimeneas actuales en CAP	165
Tabla 9-17: Chimeneas operación futura en CAP	165
Tabla 9-18: Resumen Medidas de Control de Emisiones – Puerto Las Losas	166
Tabla 9-19: Generación de Huasco TG y Huasco Vapor	168
Tabla 9-20: Resumen de estudios que han aplicado modelos de calidad del aire para hallar la relación emisión-concentración en la zona de Huasco.....	170
Tabla 9-21: Ubicación y equipamiento de las estaciones de monitoreo complementarias Red CAP Minería	179
Tabla 9-22: Concentración norma diaria percentil 98 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	180
Tabla 9-23: Concentración promedio trienal MP10 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$).....	181
Tabla 9-24: Concentración diaria de MP 2,5 en Huasco ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	181
Tabla 9-25: Concentración de MPS en el año 2013 en red de monitoreo de CAP ($\text{mg}/(\text{m}^2\text{dia})$)....	183
Tabla 9-26: Concentraciones de Hierro en MPS en el año 2013 en red de monitoreo de CAP ($\text{mg}/(\text{m}^2\text{dia})$).....	183
Tabla 9-27: Niveles de concentración de gases	184
Tabla 9-28: Resultados del modelo de receptor en parcela Huasco Bajo, noviembre 1998. (%)... 187	187
Tabla 9-29: Concentración de MP10 y composición de iones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación EME F.....	187
Tabla 9-30: Concentración de MP10 y composición de iones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación EME M	188
Tabla 9-31: Estimación de sulfato antropogénico y aerosol marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), EME F.....	189

Tabla 9-32: Estimación de sulfato antropogénico y aerosol marino (ug/m3), EME M	190
Tabla 9-33: Resumen de las concentraciones de MP2.5 medidas en la campaña de verano 2013.	193
Tabla 9-34: Concentraciones de elementos presentes en el MP2-5 medido en campaña de verano 2013 en el valle del Huasco, [en ug/m3]. BH: Bomberos de Huasco, HB: Huasco Bajo, LT: Las Tablas	195
Tabla 9-35: Documentos Revisados	200
Tabla 9-36 Producción en CAP – Año 2013	206
Tabla 9-37 Cantidad y Características de Materiales – Situación Actual - CAP	206
Tabla 9-38 Razones de Consumo/Producción de Materiales Estimadas para CAP	207
Tabla 9-39 Cantidad de Preconcentrado, Carbón y Caliza Estimado para el año 2013 - CAP	207
Tabla 9-40 Detalle Muestras Tomadas en Visita #1 a Zona de Huasco	208
Tabla 9-40 Resultados Análisis de Muestras Tomadas en Visita #1 a Zona de Huasco	208
Tabla 9-41: Listado Ampliado de Medidas para Localidad de Huasco	209
Tabla 9-42 Costos Considerados en Evaluación de Medidas y Reducción de Emisiones Estimada	214
Tabla 9-43: Georreferencia de Chimeneas de Guacolda	222
Tabla 9-44: Distancias recorridas por camiones para el acopio de las cenizas	223
Tabla 9-45: Georreferencia de Chimeneas de CAP	225

Índice de Figuras

Figura 0-1: Concentraciones de MP10 en Huasco	14
Figura 0-2 Proyección de la Calidad del Aire (concentración de MP10) en el escenario base	20
Figura 0-3: Potencial de reducción de Concentración de MP10	22
Figura 0-4 Reducción de Concentración de MP10 acumulado según # medidas incorporadas	22
Figura 0-5 Concentración de MP10 Proyectada según Escenario	23
Figura 1-1: Concentraciones de MP10 en Huasco	27
Figura 3-1 Distribución Emisiones MP10 fuentes fijas de combustión	39
Figura 3-2: Emisiones Fijas Fugitivas – MP10 – Escenario Sin Plan – Años 2013, 2020 y 2025 (ton/año)	51
Figura 3-3 Tramos de Puerto las Losas a CAP – Tierra (rojo) y Pavimento (verde)	56
Figura 3-4 Tramos de Entrada de Huasco a CAP – Ferrocarril (rojo) y Pavimento (verde)	57
Figura 3-5 Tramos de Entrada de Huasco a Guacolda (amarillo), Guacolda a Vertedero Pavimento (rojo) y Guacolda a Vertedero Tierra (verde)	58
Figura 3-6: Emisiones de MP10 de Fuentes Móviles de Combustión	62
Figura 3-7: Emisiones de NOx de Fuentes Móviles de Combustión	62

Figura 3-8: Emisiones de MP10 de Fuentes Móviles Fugitivas	68
Figura 4-1: Dominio de modelación del modelo WRF para la zona de Huasco. Los cuadrados verdes representan las ubicaciones de las estaciones de monitoreo de meteorología disponibles en el año 2013.....	73
Figura 4-2: Ejemplo de fuentes emisoras modeladas. Se muestran las canchas de acopio (en azul), los receptores incluidos en la modelación (puntos amarillos), las chimeneas de Guacolda y CMP y la ruta hacia el vertedero de cenizas de Guacolda.	75
Figura 4-3. Desempeño del modelo CALPUFF para el año 2013 en Huasco.....	77
Figura 4-4 Principales aportes de Guacolda a las concentraciones anuales de MP10 en Huasco, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	79
Figura 4-5 Principales aportes de CMP a las concentraciones anuales de MP10 en Huasco, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	80
Figura 4-6: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones fugitivas por resuspensión de polvo del camino no pavimentado desde Guacolda hacia el vertedero de cenizas.	81
Figura 4-7: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones de la línea férrea que lleva concentrado a CMP.....	81
Figura 4-8: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de carbón de Guacolda, considerando solamente operaciones de carga y descarga de carbón.	82
Figura 4-9: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de carbón de Guacolda, considerando solamente erosión eólica de las pilas de acopio.....	82
Figura 4-10: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de concentrado, pellets y granza de CMP, considerando solamente operaciones de carga y descarga de materiales.....	83
Figura 4-11: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de concentrado, pellets y granza de CMP, considerando solamente la erosión eólica... ..	83
Figura 4-12: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones fugitivas por operaciones de carga y descarga en el vertedero de cenizas de Guacolda.....	84
Figura 4-13: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones fugitivas por erosión eólica en el vertedero de cenizas de Guacolda.....	84
Figura 4-14: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones fugitivas por resuspensión de polvo en el camino de acceso a Puerto Las Losas.....	85
Figura 4-15: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m^3) asociados a las emisiones fugitivas por operaciones de carga y descarga en cancha de acopio de Puerto Las Losas.....	85

Figura 4-16: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones fugitivas por operaciones de carga y descarga en cancha de re-harneo de CMP.	86
Figura 4-17: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones fugitivas por erosión eólica en cancha de re-harneo de CMP.	86
Figura 4-18: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones de MP10 del transporte en la ciudad de Huasco.	87
Figura 4-19: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones de MP10 de las chimeneas de las unidades generadoras 1, 2, 3 y 4 de Guacolda.....	87
Figura 4-20: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a la generación de sulfatos a partir de las emisiones de SO2 de las chimeneas de las unidades generadoras 1, 2, 3 y 4 de Guacolda.	88
Figura 4-21: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a la generación de nitratos a partir de las emisiones de NOx de las chimeneas de las unidades generadoras 1, 2, 3 y 4 de Guacolda.	88
Figura 4-22: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones de MP10 de las chimeneas 2A y 2B de CMP.	89
Figura 4-23: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a la generación de sulfatos a partir de las emisiones de SO2 de las chimeneas 2A y 2B de CMP.....	89
Figura 4-24: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a la generación de nitratos a partir de las emisiones de NOx de las chimeneas 2A y 2B de CMP.	90
Figura 4-25 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación 21 de Mayo, año 2013.	91
Figura 4-26 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación EME F, año 2013.	92
Figura 4-27 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación EME M, año 2013.....	92
Figura 4-28 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación Huasco II, año 2013.....	93
Figura 4-29 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación Puerto Las Losas, año 2013.....	94
Figura 5-1 Proceso esquemático de estimación de reducción de emisiones	101
Figura 5-2: Potencial de Reducción de Emisiones de MP10	121
Figura 5-3: Potencial de reducción de NOx.....	122
Figura 5-4: Potencial de reducción de SOx.....	122
Figura 5-5: Potencial de reducción de Concentración de MP10.....	123
Figura 6-1 Proyección de la Calidad del Aire (concentración de MP10) en el escenario base	136

Figura 6-2 Reducción de Concentración de MP10 acumulado según # medidas incorporadas	139
Figura 7-1 Concentración de MP10 Proyectada según Escenario.....	144
Figura 9-1: Ubicación de los puntos de monitoreo de concentración del MP _{2.5}	191
Figura 9-2: Serie cronológica con los datos monitoreados de MP2.5, en [ug/m ³].....	192
Figura 9-3: Fracción de carbono en el MP2.5, campaña de verano 2013.....	196
Figura 9-4: Línea de tiempo de las contribuciones al MP2.5 [μg/m ³] medidas en los tres sitios de monitoreo de la campaña de verano 2013 en el valle del Huasco.	197
Figura 9-5: Gráficos de aportes de fuentes al MP2.5 (%) en los tres sitios de monitoreo de la campaña de verano 2013 en el valle del Huasco, incluyendo promedio global de aportes al MP2.5	198

Resumen Ejecutivo

La presente consultoría se enmarca en una serie de estudios y acciones que lleva a cabo el Ministerio de Medio Ambiente para iniciar de manera adecuada un Plan de Prevención o Descontaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP10.

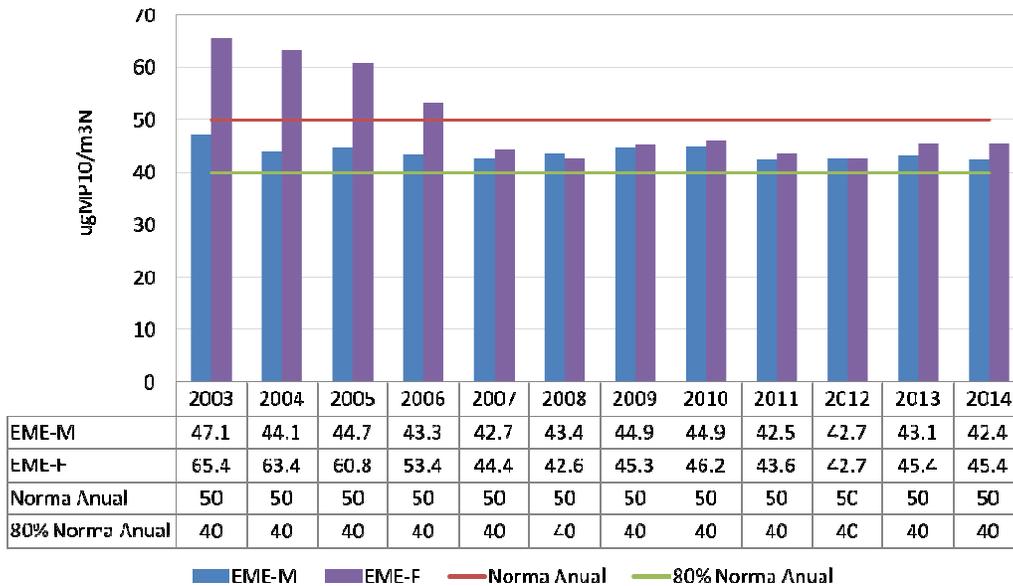
La localidad de Huasco, la cual se ubica en la zona costera de la III Región de Atacama, representa la zona de estudio del presente proyecto. Se localiza en una pequeña bahía que está abierta hacia el norte, ocupando la vertiente sur de la desembocadura del Río Huasco. La provincia de Huasco, incluye además las comunas de Freirina, Vallenar y Alto del Carmen.

El 23 de mayo de 2012 se publica en el Diario Oficial de la República de Chile (DS 40) la declaración de la localidad de Huasco y su zona circundante como zona latente por material particulado respirable MP₁₀, como concentración anual¹.

La declaración de dicha zona se basó en el análisis de los resultados de las mediciones de la red de monitoreo de MP₁₀ perteneciente a la Empresa Eléctrica Guacolda. Los monitores considerados en el DS40 son EME-M (sector Escuela José Miguel Carrera y alrededores) y EME-F (sector Cuerpo de Bomberos y alrededores). Como se observa en la siguiente figura, el promedio tri-anual entre 2003 y 2014 supera el 80% de la norma anual de 50 (ugMP/m³). Hasta el año 2006, las mediciones de la estación EME-F superaban el 100% de la norma, aunque se observa una mejora a partir del año 2005, donde en ambos sitios se mide prácticamente lo mismo.

¹ La norma anual es de 50 µg/m³, como promedio aritmético de tres años consecutivos.

Figura 0-1: Concentraciones de MP10 en Huasco



Fuente: SINCA²

Entre las principales fuentes emisoras de la zona se incluyen:

- La planta de Pellet de la Compañía Minera del Pacífico
- El complejo Termoeléctrico de la Empresa Eléctrica Guacolda (4 unidades en operación y 1 en construcción)
- La pequeña central de Endesa
- Los tres puertos marítimos de Huasco: Puerto Las Losas, Puerto Guacolda I y Puerto Guacolda II.
- Transporte ferroviario FERRONOR

Además, fue aprobado el proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde” perteneciente a Endesa, cuyas emisiones afectan potencialmente a la zona de estudio en un futuro cercano.

La presente consultoría consistió en realizar una serie de análisis que permitiesen identificar las fuentes emisoras más relevantes en la localidad, además de estudiar distintas opciones y/o tecnologías de reducción de emisiones para proponer cronogramas que permitiesen que la calidad del aire de la Localidad de Huasco bajara de los niveles de saturación que se han monitoreado los últimos años. En una primera instancia se realizaron viajes a la zona de estudio, donde el consultor se reunió con profesionales de la SEREMI de Medio Ambiente y visitó las principales empresas

² <http://airviro.r9.cl/sinca/index.php/region/index/id/III>

(CAP Minería y Complejo Termoeléctrico Guacolda). Se realizó una exhaustiva revisión de antecedentes, documentos y bibliografía especializada, que permitió realizar una adecuada identificación y caracterización de las principales fuentes emisoras además de una recopilación de antecedentes que permitiesen analizar medidas de reducción de emisiones.

Una vez realizada la recopilación de antecedentes se procede a estimar el inventario de emisiones para el año 2013, debido a que ese año se contaba con la mayor cantidad de información relativa al funcionamiento de las diversas fuentes, emisiones monitoreadas y registros de la calidad del aire de la zona y variables meteorológicas. Además, se evalúa una proyección de emisiones al año 2020 y 2025 considerando un escenario base, donde no existe un plan de prevención (escenario Sin Plan). Para la proyección de emisiones se realiza una proyección de los niveles de actividad considerando la entrada de fuentes que hasta la fecha estaban contempladas (ej. Chimenea 3 de CAP, Unidad 5 de Guacolda, y ambas unidades de Punta Alcalde). Se proyectan los factores de emisión considerando los impactos de los instrumentos de gestión vigentes, como por ejemplo el cumplimiento de la Norma de Emisiones de Centrales Termoeléctricas. También se asume, que los titulares cumplen cabalmente con los compromisos estipulados en las Resoluciones de Calificación Ambiental, suponiendo la aplicación de buenas prácticas operacionales.

Con el inventario (Tabla 0-1) se identifica que las fuentes más relevantes en términos de emisiones de MP10 son las fuentes fijas de CAP, seguida por las chimeneas de la Central Guacolda y luego las fuentes de área (emisiones fugitivas) de CAP. En términos de NOx y SO2 la principal fuente es la Central Termoeléctrica Guacolda. Destacan también las emisiones fugitivas producto de flujo de vehículos en ciudad (levantamiento de polvo en caminos pavimentados) y emisiones por transporte de camiones en caminos no pavimentados.

Tabla 0-1: Inventario consolidado de emisiones (ton/año)

Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Responsable	2013					2020					2025				
			MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
Fuentes Fijas	Combustión	CAP	271	271	103	38	487	1,446	1,446	547	1,075	1,701	1,446	1,446	547	1,075	1,701
		Guacolda	286	286	108	6,279	25,034	919	919	348	7,535	8,469	919	919	348	7,535	8,469
		Punta Alcalde						317	317	120	2,337	2,337	633	633	240	4,673	4,673
	Fugitivas	CAP	7,848	565	170			10,713	692	220			10,713	692	220		
		Guacolda	131	32	5			147	33	5			147	33	5		
		Puerto Las Losas	19	2.58	0.36			65	9	1			65	8.64	1.25		
Punta Alcalde						152	20	4			303	41	8				
Fuentes Móviles	Combustión	CAP	0.66	0.66	0.59	26.02	0.01	1.06	1.06	0.95	40.91	0.04	1.06	1.06	0.95	40.91	0.04
		Guacolda	0.11	0.11	0.10	3.83	0.01	0.14	0.14	0.12	4.79	0.02	0.14	0.14	0.12	4.79	0.02
		Otros	0.67	0.67	0.61	21.38	0.16	0.53	0.53	0.48	20.04	0.21	0.43	0.43	0.39	19.47	0.25
		Puerto Las Losas	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00
		Punta Alcalde						0.13	0.13	0.12	4.68	0.01	0.27	0.27	0.24	9.36	0.03
	Fugitivas	CAP	32	12	1.81			71	23	4			71	23	3.60		
		Guacolda	92	33	3.45			115	42	4			115	42	4.31		
		Otros	36	6.88	1.66			47	9	2			57	10.93	2.65		
		Puerto Las Losas	1.26	0.35	0.05			1	0	0			1.26	0.35	0.05		
Punta Alcalde						180	67	7			360	133	13				
Total			8,718	1,210	395	6,369	25,522	14,175	3,579	1,263	11,016	12,507	14,833	3,984	1,394	13,357	14,844

Fuente: Elaboración propia

Luego, se procede a realizar una modelación de calidad del aire con la finalidad de construir relaciones de emisión – calidad del aire para las fuentes más relevantes. Para poder estimar adecuadamente el impacto de cada tipo de emisión en una zona dada, es necesario aplicar modelos de dispersión al inventario de emisiones del año base escogido (en este caso, 2013), de manera de simular las fuentes más relevantes en la zona y así ordenarlas de acuerdo a la magnitud de los impactos en calidad del aire. Esto es relevante porque una reducción de MP10 de 1 t/año en una fuente ‘A’ no causa el mismo beneficio (en términos de mejora en la calidad de aire) que si se redujera en la fuente ‘B’.

Se realiza una modelación de la calidad de aire utilizando el modelo CALPUFF (versión 5.8.4), con la meteorología simulada con una resolución de 1km horizontal. Se modeló cada fuente específica de forma individual, obteniendo como resultado de salida la concentración anual de MP10 en cada uno de los receptores presentados a continuación:

Tabla 0-2. Receptores utilizados en las modelaciones de calidad del aire.

Receptor	UTM E, m	UTM N, m	Descripción
1	281958	6848903	Estación 21 de Mayo
2	282520	6849122	Estación EME-F
3	282774	6848697	Estación EME-M
4	281653	6849248	Estación Huasco II
5	280218	6848417	Estación Puerto Las Losas
6	282686	6848726	Estación SIVICA-MMA
7	281976	6849505	Punto adicional: Huasco norponiente
8	282372	6849469	Punto adicional: Costanera Municipalidad
9	282881	6849248	Punto adicional: Bajada hacia el faro
10	279366	6845292	Estación SM1
11	286430	6849342	Estación SM2
12	286764	6848599	Estación SM3
13	287841	6847571	Estación SM4
14	289917	6847258	Estación SM5
15	291874	6845164	Estación SM6
16	294837	6845843	Estación SM7
17	296289	6844810	Estación SM8

Los primeros seis receptores corresponden a las estaciones de monitoreo de calidad del aire (públicas y privadas) existentes en la zona para verificación de cumplimiento de la normativa primaria de calidad del aire. Las tres siguientes estaciones se ubicaron hacia el borde costero para así cubrir la zona urbana de Huasco de manera más completa. Finalmente, los últimos ocho receptores corresponden a la red de monitoreo de SO₂ de termoeléctrica Guacolda, y están ubicadas para verificar el cumplimiento de la norma secundaria de calidad del aire en la zona agrícola del valle de Huasco.

El modelo no fue capaz de modelar completamente la calidad del aire de la zona, y destacan principalmente las siguientes limitaciones:

- i) Incertidumbres en las estimaciones de emisiones desde las distintas fuentes emisoras, ya que normalmente se asume un patrón de emisiones fijo, salvo cuando se conoce que hubo periodos de inactividad, lo cual es el caso de CMP el año 2013, en donde el proceso térmico no operó los 365 días del año, sino en 209 de ellos.
- ii) Incertidumbres en el modelo de dispersión asociados a la meteorología modelada e ingresada posteriormente a CALPUFF.
- iii) Incertidumbres en la forma en que el modelo CALPUFF simula la generación de material particulado secundario (nitratos y sulfatos)³.
- iv) Incertidumbre en los parámetros que usa el modelo para estimar la velocidad de depositación del MP10 al suelo, los parámetros de las propiedades del suelo, etc.
- v) Incertidumbre asociado a los niveles basales (naturales) de MP10, como por ejemplo el aerosol marino y el polvo superficial levantado por el viento.⁴

Los aportes a la concentración de MP10 de cada una de las fuentes modeladas se presenta a continuación, donde destaca el aporte de 5 fuentes principalmente: 1) Emisiones fugitivas por vehículos que circulan en la ciudad, 2) Emisiones fugitivas de los procesos de carga, descarga y transporte en correas en las canchas de acopio de material de CAP, 3) Emisiones fugitivas producto del transporte de material en ferrocarril, 4) Emisiones por combustión en las chimeneas de CAP, y 5) Emisiones por combustión en las chimeneas de la central termoeléctrica Guacolda.

³ La única información disponible de mediciones de sulfatos y nitratos corresponde al estudio CENMA 2006.

⁴ Idem nota al pie de página anterior, las únicas mediciones disponibles son las del estudio de CENMA 2006.

Tabla 0-3 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 por Fuentes Relevantes (ugMP10/m3)

ID Fuente	Descripción Fuente	MP	Nitratos	Sulfatos	Total
1	Emisiones Fugitivas – Guacolda a Vertedero	0.8	no aplica	no aplica	0.81
2	Emisiones Fugitivas - Línea de Tren a CAP	1.7	no aplica	no aplica	1.73
3	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Cancha Carbón Guacolda	0.07	no aplica	no aplica	0.07
4	Proceso de Erosión – Cancha Carbón Guacolda	0.0025	no aplica	no aplica	0.00
5	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Cancha Material CAP	3.9	no aplica	no aplica	3.86
6	Proceso de Erosión – Cancha Material CAP	0.32	no aplica	no aplica	0.32
7	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Vertedero Guacolda	0.0060	no aplica	no aplica	0.01
8	Proceso de Erosión – Vertedero Guacolda	0.116	no aplica	no aplica	0.12
9	Emisiones Fugitivas – Transporte Camión Pto Las Losas y CAP	0.2	no aplica	no aplica	0.16
10	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Puerto Las Losas	0.12	no aplica	no aplica	0.12
11	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Cancha de Reharneo CAP	0.57	no aplica	no aplica	0.57
12	Proceso de Erosión – Cancha de Reharneo CAP	0.501	no aplica	no aplica	0.50
13	Emisiones Fugitivas – Transporte Vehicular en Ciudad (no empresas)	3.9	no aplica	no aplica	3.88
14	Emisiones por Combustión – Guacolda	0.30	0.56	0.4	1.27
15	Emisiones por Combustión - CAP	1.5	0.005	0.025	1.58
Total		14	0.6	0.4	15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-4 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 para Punta Alcalde

ID Fuente	Descripción Fuente	MP10	NOx	SOx	Total
16	Emisiones por Combustión – Punta Alcalde	0.62	0.097	0.404	1.122

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta el promedio de los resultados de salida de los primeros cuatro monitores, que efectivamente se encuentran en la zona urbana de la localidad de Huasco, se estimaron relaciones de emisiones calidad del aire para cada una de las fuentes modeladas.

Utilizando las relaciones de emisión – calidad del aire estimadas (ver sección 4), se puede simular la calidad del aire que tendrá la localidad de Huasco a futuro. La Figura 0-2 muestra la manera en que evolucionará la calidad del aire en un escenario base, en donde se proyecta sobrepasar los niveles de saturación de norma anual, debido a varias razones:

- 1) Potencial operación de chimeneas de acuerdo a emisiones ambientalmente aprobadas (bastante mayores que la operación actual)
- 2) Entrada en funcionamiento de la chimenea 3 de CAP

3) Entrada en funcionamiento de la central Punta Alcalde

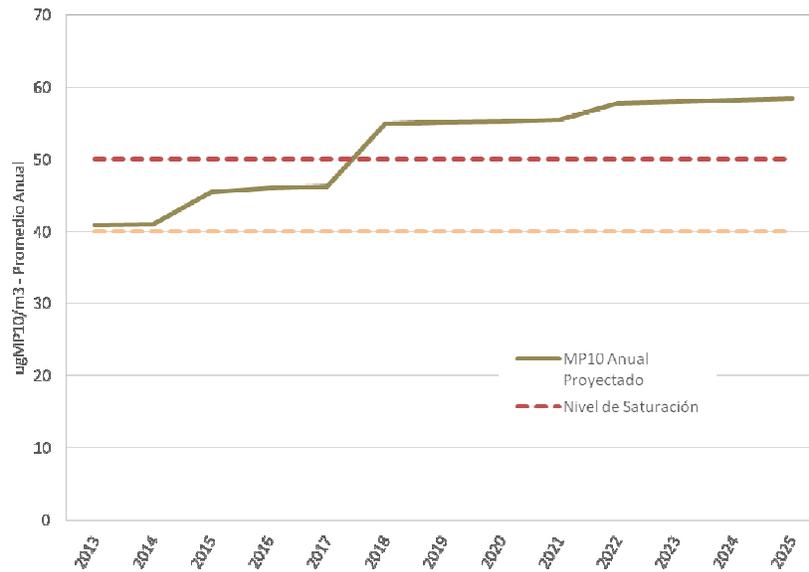


Figura 0-2 Proyección de la Calidad del Aire (concentración de MP10) en el escenario base

A continuación, se procedió a realizar un análisis del potencial de reducción de emisiones (y concentración de MP10), mediante la evaluación del siguiente listado de medidas:

Tabla 0-5 Medidas Finales Evaluadas

Tipo Fuente	Medida	CAP	Guacolda	Puerto Las Losas	Punta Alcalde	Otros
Fija Fugitiva	Chutes optimizados	x	x	x		
	Correas tubulares	x	x		x	
	Domos	x	x	x	x	
Fijas Combustión	Desulfurizador Seco Circulante		x			
	Precipitador Electrostatico	x	x		x	
	Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)		x		x	
	Planta Desulfurizadora Humeda		x		x	
Móvil Fugitiva	Cobertura de Vagones	x				
	Hidrolavado de Vagones	x				
	Pavimentacion	x	x	x		
	Mejoramiento Espacio Urbano					x

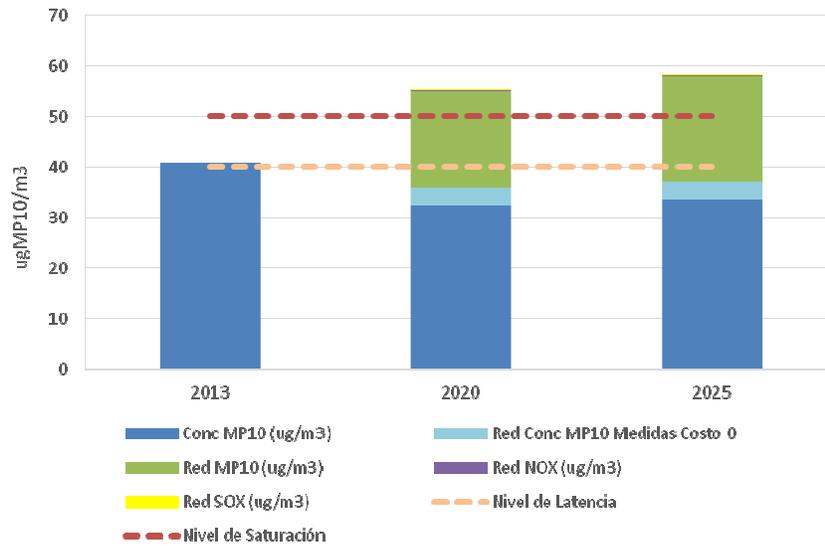
Fuente: Elaboración Propia

NOTA: Estas medidas son adicionales a lo considerado en la “línea base” o escenario sin plan, que ya considera la implementación de sistemas para el cumplimiento de los instrumentos de gestión ambiental vigentes (ej. Norma de Emisiones de Termoeléctrica).

NOTA: “Otros” se refiere a las fuentes móviles que circulan en la localidad de Huasco y que no pertenecen a las empresas CAP, Guacolda, Puerto Las Losas y Punta Alcalde, es decir, vehículos particulares, buses, taxis, etc.

Para cada medida se procedió a estimar tanto el potencial de reducción de emisiones como los costos anuales asociados a la implementación de ellas. Luego, en base a las relaciones de emisión calidad del aire se estimó el potencial de reducción de concentración de MP10 al aplicar cada medida. En la figura a continuación se observa que la implementación de las medidas evaluadas antes del año 2020, permitirá alcanzar niveles de calidad del aire aceptables, con concentraciones de MP10 por debajo de los niveles de latencia de la norma.

Figura 0-3: Potencial de reducción de Concentración de MP10



Fuente: Elaboración propia

Destaca la aplicación de 7 medidas: 1) Precipitadores electrostáticos en CAP (principalmente chimenea 3), 2) chutes optimizados en las canchas de material de CAP, 3) Mejoramiento del Espacio Urbano, 4) pavimentación del camino hacia Punta Alcalde, 5) Cobertura de vagones de CAP, 6) Pavimentación del camino al vertedero de Guacolda, y 7) Precipitadores Electrostáticos en Punta Alcalde. De hecho, como se aprecia en la Figura 0-4, la implementación de estas 7 medidas comprende el 90% del potencial de reducción, equivalente a 19.4 (ug/m3) de MP10

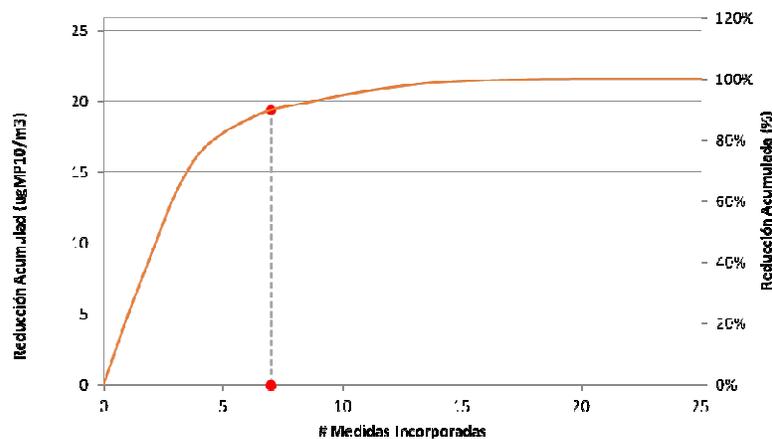


Figura 0-4 Reducción de Concentración de MP10 acumulado según # medidas incorporadas

NOTA: Se define la incorporación de medidas en orden decreciente según potencial de reducción de concentración de MP10.

Otros de los aspectos relevantes al momento de evaluar y caracterizar medidas de reducción de emisiones es la consideración de los tiempos de implementación de estas mismas. En base estos tiempos, se generaron 3 cronogramas de implementación de medidas siguiendo los siguientes criterios:

- 1) **Fuentes nuevas:** aquellas fuentes/chimeneas que no existen todavía en el parque y cuya construcción todavía no ha comenzado (chimenea 3 de CAP y ambas chimeneas de Punta Alcalde). Se asume que el tiempo de implementación es 0 en el escenario optimista, y por lo tanto pueden estar efectivas una vez que entren en operación las fuentes. Para los escenarios esperados y conservador se consideran tiempos de implementación desde la entrada en operación de las chimeneas de 1 y 2 años.
- 2) **Fuentes existentes con equipos de abatimiento nuevos:** se utiliza el mismo criterio que para fuentes nuevas, asumiendo que los equipos de abatimiento no han sido diseñados ni construidos todavía (ej. Precipitador electrostático en la chimenea 2B de CAP), y que todavía hay tiempo suficiente para que una vez que entren en operación las chimeneas, los equipos estén operativos.
- 3) **Fuentes existentes:** se verificaron los tiempos mínimos de implementación de las medidas, valor que se utilizó como cota mínima (ver Tabla 7-1). Sobre este valor se construyeron los escenarios optimista, esperado y conservador, adicionando 0, 1 y 2 años respectivamente.

Con esto, es posible definir años específicos para la introducción de cada medida bajo distintos escenarios obteniéndose la figura presenta a continuación. En ella se observa que es perfectamente factible alcanzar niveles de buena calidad del aire, y el año en que estos se logren dependerá principalmente del momento en que se implemente cada medida.

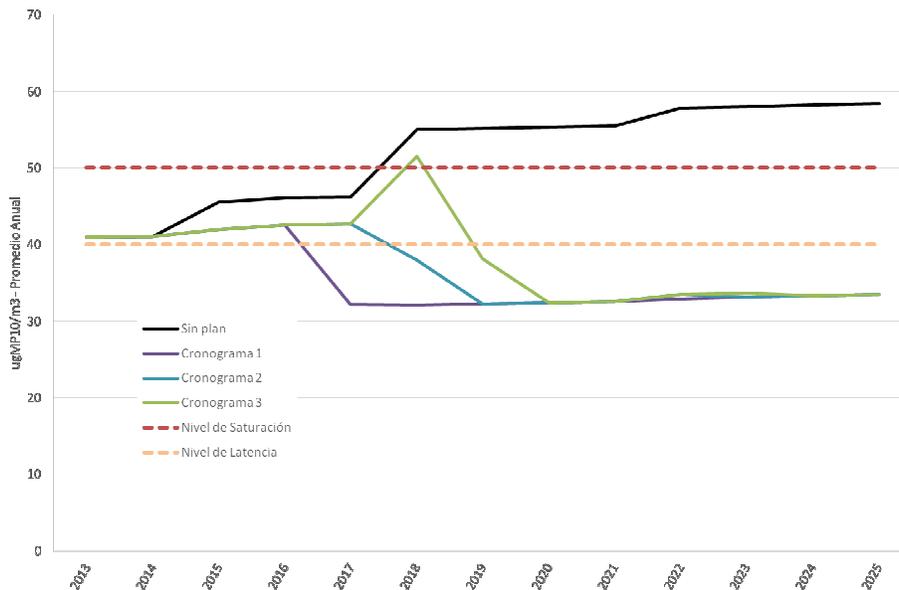


Figura 0-5 Concentración de MP10 Proyectada según Escenario

1. Introducción

La recuperación de la calidad del aire en los centros urbanos de Chile ha sido una de las prioridades gubernamentales de los últimos años, debido a su gran incidencia en la salud de la población, con el consiguiente deterioro de la calidad de vida por un lado y los elevados costos asociados en que incurre el Estado y los particulares. Es por ello que se encuentran, por parte del Ministerio del Medio Ambiente, en aplicación y desarrollo una serie de políticas y programas orientados a mejorar la calidad del aire en todas las regiones de Chile focalizando los esfuerzos según la fuente preponderante (fuentes móviles, industrias, quema de leña, mega fuentes, etc.). Se han realizado diagnósticos e inventarios de emisiones en las principales ciudades del país, lo que ha permitido iniciar las gestiones de solución para aquellos problemas detectados, como por ejemplo la contaminación generada por la combustión de leña y por la intensa actividad industrial.

La legislación ambiental vigente en Chile, ha establecido normas primarias y normas secundarias de calidad del aire. Cuando en un territorio se constata que una norma de calidad ambiental (primaria o secundaria) se encuentra por sobre los valores límites establecidos, se debe declarar, vía Decreto Supremo, ese territorio como zona saturada por el contaminante que se encuentra sobre norma; y si los valores se encuentran entre el 80 y 100% del valor límite, se debe declarar el territorio como zona latente. Dentro de las normas primarias se cuenta con norma para los siguientes contaminantes: Monóxido de Carbono (CO₂); Dióxido de Azufre (SO₂); Dióxido de Nitrógeno (NO₂); Ozono (O₃); Plomo (Pb) y material particulado respirable total (MP₁₀) y la fracción fina de él (MP_{2,5}).

El Ministerio del Medio Ambiente está impulsando el desarrollo de siete anteproyectos para la implementación de planes de prevención o descontaminación atmosférica:

- Huasco (MP₁₀)
- Puchuncaví y Quintero (SO₂)
- Talca – Maule (MP₁₀)
- Chillán – Chillán Viejo (MP₁₀ y MP_{2,5})
- Temuco – Padre Las Casas (MP_{2,5})
- Osorno (MP₁₀ y MP_{2,5})
- Coyhaique (MP₁₀)

La localidad de Huasco, la cual se ubica en la zona costera de la III Región de Atacama, representa la zona de estudio del presente proyecto. Se localiza en una pequeña bahía que está abierta hacia el norte, ocupando la vertiente sur de la desembocadura del Río Huasco. La provincia de Huasco, incluye además las comunas de Freirina, Vallenar y Alto del Carmen.

1.1 Diagnóstico de la situación actual de MP₁₀ en la Localidad de Huasco y su Zona Circundante

El principal motor económico de la zona, corresponde a actividades agrícolas, industriales, mineras y de generación termoeléctrica; todas representando actividades que generan un gran impacto ambiental local. En las décadas de los 80 y 90 se identifican los primeros problemas de calidad del aire, principalmente por material particulado respirable y sedimentable (MPS y MP₁₀).

El 23 de mayo de 2012 se publica en el Diario Oficial de la República de Chile (DS 40) la declaración de la localidad de Huasco y su zona circundante como zona latente por material particulado respirable MP₁₀, como concentración anual⁵.

Ilustración 1-1: Mapa de zona latente de Huasco



Fuente: SEREMI de Medio Ambiente, Región de ATACAMA

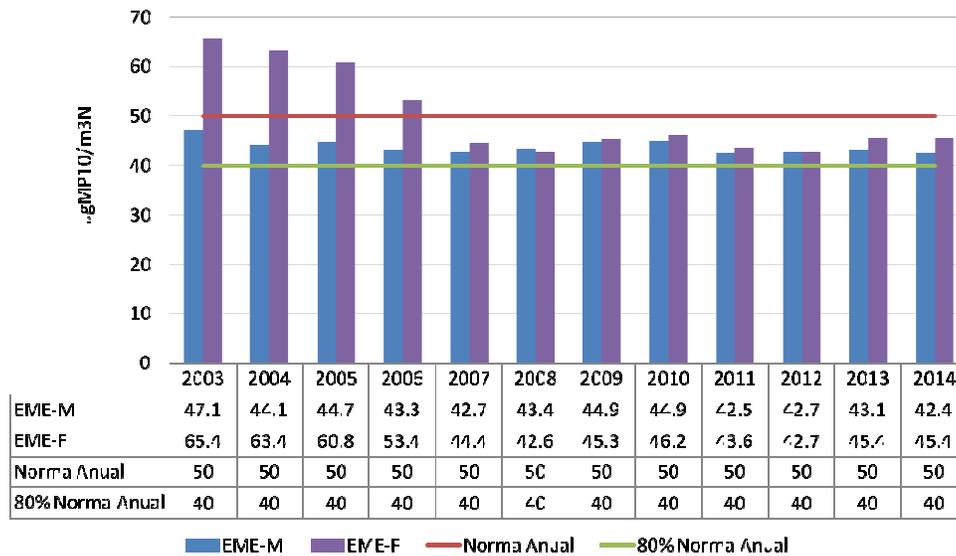
⁵ La norma anual es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como promedio aritmético de tres años consecutivos.

De acuerdo al Diario Oficial, los límites geográficos son los siguientes: 1) La zona latente inicia en el sector de Punta Alcalde (Vértice 1: UTM E= 273.661; UTM N= 6.837.886), se extiende a través del límite sur de la comuna de Huasco hasta la intersección con la Ruta C- 480 (Vértice 2: UTM E= 275.234; UTM N= 6.835.687); 2) Sigue hacia el norte a través de la Ruta C-480 (La Aguada de Tongoy - El Pino) hasta la intersección de la Ruta C-480 con la Ruta C-46 (Vértice 3: UTM E= 289.031; UTM N= 6.847.172); 3) Sigue a través de la Ruta C-46 hasta el límite comunal Este de Huasco (Vértice 4: UTM E= 289.889; UTM N= 6.846.526); 4) Se extiende a través del límite comunal Este de Huasco hacia el Norte hasta la Ruta C-462 (Vértice 5: UTM E= 289.890; UTM N= 6.847.741); 5) Sigue a través de la Ruta C-462 hacia la costa hasta la intersección con el sendero "Quebrada Romualdo" (Vértice 6: UTM E= 287.464; UTM N= 6.849.545); 6) Sigue hacia el norte a través del sendero "Quebrada Romualdo" hasta la intersección con el sendero "Quebrada Panulcillo" (Vértice 7: UTM E= 289.662; UTM N= 6.853.276); 7) Se extiende hacia el norte a través del sendero "Quebrada Panulcillo" hasta la intersección con el sendero "Quebrada El Romero" (Vértice 8: UTM E= 292.284; UTM N= 6.859.813); 8) Continúa hacia el norte por el sendero "Quebrada El Romero" hasta la quebrada "Carrizalillo" (Vértice 9: UTM E= 292.295; UTM N= 6.860.569); 9) Se extiende por la zona norte a través de la quebrada "Carrizalillo" hasta la línea de costa (Vértice 10: UTM E= 288.229; UTM N= 6.860.998); y 10) Finalmente, se extiende por la línea de costa hacia el sur hasta el Vértice 1 en la zona Punta Alcalde.

La declaración de dicha zona se basó en el análisis de los resultados de las mediciones de la red de monitoreo de MP₁₀ perteneciente a la Empresa Eléctrica Guacolda. Los monitores considerados en el DS40 son EME-M (sector Escuela José Miguel Carrera y alrededores) y EME-F (sector Cuerpo de Bomberos y alrededores). Como se observa en la siguiente figura, el promedio tri-anual entre 2003 y 2014 supera el 80% de la norma anual de 50 (ugMP/m³). Hasta el año 2006, las mediciones de la estación EME-F superaban el 100% de la norma, aunque se observa una mejora a partir del año 2005, donde en ambos sitios se mide prácticamente lo mismo.

La razón para la mayor concentración medida en la estación EME F antes del año 2007 no está clara, aunque este tema fue mencionado en el estudio realizado por CENMA para la I. Municipalidad de Huasco ese año, atribuyéndose a una mala ubicación del monitor en ese sitio; sin embargo ya en el año 2007 se había llegado a una similitud entre ambos monitores, por lo que no está claro por qué se produjo ese cambio de tendencia a partir del año 2007.

Figura 1-1: Concentraciones de MP10 en Huasco



Fuente: SINCA⁶

Entre las principales fuentes emisoras de la zona se incluyen:

- La planta de Pellet de la Compañía Minera del Pacífico
- El complejo Termoeléctrico de la Empresa Eléctrica Guacolda (4 unidades en operación y 1 en construcción)
- La pequeña central de Endesa
- Los tres puertos marítimos de Huasco: Puerto Las Losas, Puerto Guacolda I y Puerto Guacolda II.
- Transporte ferroviario FERRONOR

Además, fue aprobado el proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde” perteneciente a Endesa, cuyas emisiones afectan potencialmente a la zona de estudio en un futuro cercano.

La presente propuesta, pretende responder a las necesidades levantadas en los términos de referencia (TDR), con la finalidad de generar antecedentes técnicos que permitan realizar una completa elaboración del Anteproyecto del Plan de Prevención.

1.2 Descripción del problema a abordar y justificación del estudio

Con todos los antecedentes disponibles se puede concluir que en la localidad de Huasco y su zona circundante, la norma primaria de calidad ambiental para MP₁₀ se encuentra con niveles de entre el 80% y 100% de esta, y por tanto, de acuerdo a la Ley N° 19.300 de Bases del medio Ambiente

⁶ <http://airviro.r9.cl/sinca/index.php/region/index/id/III>

corresponde la declaratoria de zona latente por este contaminante. La declaración de una zona como latente, gatilla una serie de mecanismos para evitar que dichos niveles de contaminación sigan aumentando. En este caso, corresponde la elaboración de un Plan de Prevención que tiene como finalidad evitar la superación de la norma primaria de calidad ambiental para MP₁₀, y reducir la concentración de MP₁₀ por debajo del 80% de la norma.

Como parte de dicho proceso, el presente estudio tiene el objetivo de levantar la información sobre emisiones, medidas de abatimiento, costos asociados, meteorología, etcétera, que permitan servir de antecedentes para la elaboración del Plan de Prevención para la localidad de Huasco y su zona circundante.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Contar con un análisis técnico y económico de un conjunto de medidas de reducción y de control de emisiones al aire, que permitan evaluar las reducciones esperadas en términos de concentraciones, para salir de la latencia y no sobrepasar el valor del estándar anual de MP₁₀ en la localidad de Huasco y su zona circundante.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Recopilar y sistematizar los resultados y las principales conclusiones de los estudios disponibles y realizados en la zona, que hayan sido ejecutados con financiamiento público y/o privado, desde el año 2000 en adelante.
- b) Identificar las actividades emisoras al aire presentes en la zona declarada latente, e identificar potenciales nuevas fuentes y/o futuras ampliaciones de industrias existentes.
- c) Conocer el aporte y responsabilidad en las emisiones totales de las fuentes emisoras presentes en la zona.
- d) Estimar el potencial de reducción de emisiones de las fuentes emisoras.
- e) Determinar la relación emisión-calidad del aire para material particulado y el peso relativo de las fuentes emisoras, según el escenario actual ("Business as Usual") y el escenario futuro con las medidas de reducción de emisiones implementadas, con el fin de estar bajo la condición de latencia.
- f) Proponer por lo menos dos cronogramas que permitan reducir las emisiones de MP y de sus precursores (SO₂, NOX), con el fin de estar bajo la condición de latencia.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de un seminario, que se debe realizar en Huasco.

La presente entrega corresponde al informe final del estudio e incluye todos los objetivos específicos del a) al f).

El informe se estructura de la siguiente manera. En primer lugar se presenta el inventario de emisiones calibrado al año 2013 y proyectado hasta el año 2025 considerando un escenario "Sin Plan". Se estima el inventario a un gran nivel de detalle diferenciando las fuentes por tipo de emisión (combustión/fugitiva), por tipo de fuente (fija/móvil) y detallando cada fuente específica (ej. Chimenea 3 o tramo CAP a Puerto Las Losas). A continuación se presenta el capítulo de estimación de relaciones de emisión – calidad del aire. Se estima en esta sección, un factor para las principales fuentes modeladas. Se considera para la modelación de la calidad del aire los datos de emisión, calidad de aire y meteorología para el año 2013, lo que permite realizar una calibración del modelo. Luego, se presenta la sección de estimación del potencial de reducción de emisiones, evaluando diversas medidas para las distintas fuentes. A continuación, en la sección 6

se analiza el impacto de las medidas evaluadas sobre la calidad del aire, combinando el potencial de reducción de emisiones con las relaciones de emisión – calidad del aire estimados en las secciones anteriores, analizando el potencial total y comparando con los niveles de calidad de aire que persigue el plan de prevención de la localidad de Huasco. Finalmente, se realiza una propuesta de cronogramas de reducción de emisiones tomando en consideración los tiempos mínimos de implementación de medidas.

En la sección de anexos se presentan las secciones asociadas a la recopilación y revisión de antecedentes y a la identificación de las principales fuentes emisoras (objetivo a y b).

3. Inventario de Emisiones

El inventario de emisiones para la Localidad de Huasco se calculó con año base 2013, ya que era el año más reciente con el que se contaba con la información más completa. Además, se estimaron las emisiones desde el año 2013 al 2025 para construir una línea de base (escenario sin plan de prevención) e identificar posteriormente como afectan las medidas de mitigación planteadas en las emisiones totales de las fuentes. Estos resultados se encuentran disponibles para todos los años en dos archivos digitales adjuntos: PPA-HUASCO – Resultados.xlsx y PPA-HUASCO – Inventario con calculos.xlsx. El primero contiene todas las estimaciones a nivel anual (2013 – 2025) como resultado de una modelación realizada con la herramienta Lumina Analytica, sin contener todas las fórmulas asociadas a las estimaciones. El segundo archivo presenta los resultados para los años 2013, 2020 y 2025 con todas las fórmulas utilizadas para estimar el inventario. Por simplicidad, en este capítulo se presentarán la mayoría de los resultados solamente para esos tres años.

Se distinguen emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles que pueden ser producto de la combustión o de emisiones fugitivas. Las fuentes fijas de combustión son aquellas provenientes de la quema de combustibles en chimeneas mientras que las fuentes fijas fugitivas son producto del manejo y almacenamiento de materiales (también conocidas como fuentes areales). Las fuentes móviles de combustión corresponden a las emisiones de gases desde los tubos de escape de los vehículos y las móviles fugitivas al levantamiento de polvo por el tránsito de los vehículos.

3.1 Fuentes Fijas de Combustión

Para las fuentes fijas de combustión se consideraron las emisiones de la Central Termoeléctrica Guacolda, la planta de pellets de CAP minería para el escenario 2013 y para los escenarios futuros se incluyó además la central Termoeléctrica Punta Alcalde. La central Termoeléctrica Huasco de Endesa no se considera ya que los registros indican que en los últimos 5 años ha funcionado en promedio 9 (hrs/año) y se supone que con la instalación de la central Punta Alcalde su funcionamiento cesará completamente (ver sección 9.1.1 para mayor detalle).

La estimación de emisiones para el caso de las chimeneas, se realizó utilizando la siguiente ecuación (Ecuación 3-1).

Ecuación 3-1: Emisión de contaminantes según la concentración del gas de salida.

$$E_i^c \left[\frac{kg_{contaminante}}{año} \right] = FE_i^c \left[\frac{kg}{hr} \right] * T_i \left[\frac{hr}{año} \right]$$

Donde,

- $E_i^c \left[\frac{kg_{contaminante}}{año} \right]$: Emisión del contaminante c en la chimenea i
- $FE_i^c \left[\frac{kg}{hr} \right]$: Factor de emisión del contaminante c en la chimenea i
- $T_i \left[\frac{hr}{año} \right]$: Tiempo de funcionamiento de la chimenea i.

Los valores utilizados para el nivel de actividad y factores de emisión se detallan a continuación.

3.1.1 Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde al tiempo (en horas) que funciona cada chimenea. Para el año 2013 se utilizaron los valores proporcionados por las empresas o bien las horas de funcionamiento estimadas en base a la generación bruta para el año 2013 (CDEC-SIC, 2013).

Para estimar el total de horas de funcionamiento para los años futuros, y bajo el principio precautorio, se utilizó el valor máximo de los últimos 5 años (desde 2009 a 2013) con la finalidad de modelar la condición más desfavorable de calidad del aire.

La Unidad 5 de Guacolda se asume que funcionará la misma cantidad de horas que la Unidad 4 mientras que para la chimenea 3 de CAP se supone que funcionará la misma cantidad de horas que las otras 2 chimeneas (2A y 2B). Este último supuesto asume que efectivamente se lleva a cabo la Fase 2 del proyecto de la planta de pellets de CAP Minería, y que solamente cambiaría la cantidad de horas de funcionamiento en base a cambios en la demanda por productos finales del proceso térmico. Para el caso de la Central Punta Alcalde, también se asume que ésta tiene un tiempo de funcionamiento similar a la Unidad 4 de Guacolda. Para verificar la futura construcción de esta última central, se procedió a revisar el último informe de Precio Nudo Definitivo de abril de 2015 para el Sistema Interconectado Central (SIC). En este documento, no se encontró mención alguna a la futura central propuesta por Endesa. Sin embargo, y bajo un criterio conservador desde el punto de vista de la regulación ambiental, se procedió a incluir la central dentro del análisis del presente estudio.

Tabla 3-1: Niveles de actividad de fuentes fijas puntuales

Responsable	Chimenea	Tiempo Funcionamiento (hrs/año)	
		2013	Años Futuros
CAP	2A	5016	8.400
	2B	5016	8.400
	3	-	8.400
Guacolda	U1_U2	8.287	8.287
	U3	8.517	8.517
	U4	8.559	8.559
	U5	-	8.559
Punta Alcalde	PA1	-	8.559
	PA2	-	8.559

Fuente: Elaboración propia a partir a información de generación bruta (CDEC, 2013) y a información entregada por CAP Minería (información relativa a horas de paralización del proceso de endurecimiento térmico).

3.1.2 Factores de Emisión

Los factores de emisión para el inventario 2013 corresponden a las concentraciones registradas en las mediciones del muestreo isocinético para CAP y se calculan en base a los resultados de monitoreo continuo y de las horas de funcionamiento para el Complejo Termoeléctrico Guacolda.

Ecuación 3-2: Cálculo de factor de emisión

$$FE_i^c \left[\frac{kg}{hr} \right] = \frac{\sum_{d=1}^{365} MC_{d,i}^c \left[\frac{ton}{dia} \right]}{T_i \left[\frac{hr}{año} \right]}$$

- $FE_i^c \left[\frac{kg}{hr} \right]$: Factor de emisión del contaminante c en la chimenea i
- $MC_{d,i}^c \left[\frac{ton}{dia} \right]$: Emisión diaria del contaminante c en la chimenea i en el día d, medido en el monitoreo continuo.
- $T_i \left[\frac{hr}{año} \right]$: tiempo que funciona la chimenea i.

La Tabla 3-2 presenta los factores de emisión estimados para el año 2013, mientras que la Tabla 3-3 presenta los factores de emisión considerados para los años futuros, correspondientes principalmente a las emisiones ambientalmente aprobadas en los instrumentos de gestión ambiental vigentes para regular cada una de las fuentes. En el caso de CAP Minería, corresponde a la RCA N°215/2010 del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” (RCA N° 215/2010, 2010). En el caso de Guacolda se considera la RCA N°44/2014 del proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas” (COREMA III Región, 2014). Finalmente, para el caso de la central Punta Alcalde se considera la RCA

Nº138/2012 del proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde” (COREMA III Región, 2012). Se desprende de ambas tablas, que el comportamiento actual de las empresas en términos de emisiones unitarias se encuentra en valores considerablemente por debajo de los permisos ambientales de las RCA. Esto indica que las empresas en la actualidad tienen un crédito de emisiones, y por lo tanto podrían lograr reducciones importantes sin incurrir en ningún costo para la empresa.

Tabla 3-2: Factores de emisión chimeneas – escenario 2013

Responsable	Chimenea	(kg/hr)				Referencia
		MP	MP10	NOx	SOx	
CAP	2A	4.4	4.4	4.1	10.5	Estimado en base a mediciones isocinéticas de año 2013 entregados por la empresa (Sercoamb Ltda., 2013a, 2013b)
	2B	49.8	49.8	3.5	86.7	
	3	0	0	0	0	
Guacolda	U1_U2	18	18	513	2155.9	Estimado en base a Monitoreo Continuo del año 2013 entregados por la empresa (Guacolda) y generación bruta (CNE)
	U3	11.1	11.1	210.9	95.8	
	U4	4.9	4.9	27.1	742.2	
	U5	No está en funcionamiento				
Punta Alcalde	PA1	No está en funcionamiento				
	PA2					

Tabla 3-3: Factores de emisión chimeneas – escenario futuro – emisiones ambientalmente aprobadas

Responsable	Chimenea	(kg/hr)				Referencia
		MP	MP10	NOx	SOx	
CAP	2A	31.7	31.7	49.5	45.8	RCA Nº215/2010 del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” (RCA Nº 215/2010, 2010)
	2B	82.1	82.1	33	87.9	
	3	58.3	58.3	45.4	68.8	
Guacolda	U1_U2	38.3	38.3	550	440	RCA Nº44/2014 del proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas” (COREMA III Región, 2014)
	U3	25	25	282.5	225.8	
	U4	28.3	28.3	33.3	225.8	
	U5	17.1	17.1	33.3	112.9	
Punta Alcalde	PA1	37	37	273	273	MP10: Compromiso de Endesa de emitir 10% menos que norma de emisiones de termoeléctricas ⁷ NOx y SOx: cumplimiento de norma de emisiones de termoeléctricas (Numeral 4.2.52. de RCA Nº138/2012 “Central Termoeléctrica Punta Alcalde” (COREMA III Región, 2012))
	PA2	37	37	273	273	

⁷ <http://www.sea.gob.cl/noticias/comite-de-ministros-resuelve-recurso-de-reclamacion-de-endesa-por-punta-alcalde>

Además de los contaminantes anteriores, se utilizó una metodología sencilla para estimar la fracción fina del material particulado MP2.5 y la emisión de sustancias tóxicas (Arsénico, Vanadio, Mercurio, Níquel, Plomo y Cadmio). Para el único caso que se contaba con información oficial para estimar factores de emisión era para Guacolda que registra emisiones o factores de emisión para Arsénico, Vanadio, Mercurio y Níquel en las mediciones isocinéticas de los años 2011, 2013 y 2014 como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3-4 Mediciones isocinéticas sustancias tóxicas – Guacolda (kg/hr)

Chimenea	Contaminante	2011	2013	2014
Unidad 1 y 2	Arsénico	0.03972		0.01000
	Vanadio	0.03494		0.03000
	Mercurio	0.00100		0.00200
	Níquel	0.01017		0.02000
Unidad 3	Arsénico	0.01125	0.10000	0.01500
	Vanadio	0.02000	0.01333	0.03500
	Mercurio	0.00063	0.00100	0.00250
	Níquel	0.00588	0.01000	0.02500
Unidad 4	Arsénico	0.16333	0.07667	0.00500
	Vanadio	0.01844	0.01000	0.01000
	Mercurio	0.00014	0.00100	0.00100
	Níquel	0.00656	0.01000	0.01000

Fuente: Informes de Mediciones Isocinéticas proporcionados por Guacolda

Se consideraron dos escenarios: presente y futuro. Para el presente, se consideraron las mediciones del año 2013 y de 2014 para las Unidad 1 y 2. Para el futuro, se consideraron las mediciones del año 2014.

Para el resto de los casos, se consultó bibliografía nacional e internacional para construir factores entre emisiones de MP10 y otros contaminantes o sustancias tóxicas, para fuentes fijas de combustión que utilizan carbón como combustible base. Se consideraron principalmente dos fuentes de información, según lo que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3-5 Estimación de factores contaminantes vs. MP10

Contaminante	FE original (kg/kg carbón)	Factor vs. MP10	Fuente
MP10	0.00296		(CONAMA, 2009)
MP2.5	0.00112	37.8%	(CONAMA, 2009)
As	8.40E-06	0.28%	(CONAMA, 2009)
V	3.06628E-08	0.001%	(US-EPA, 1993)
Hg	2.75E-07	0.009%	(CONAMA, 2009)
Ni	2.22714E-07	0.008%	(US-EPA, 1993)
Pb	5.46E-08	0.0018%	(US-EPA, 1993)
Cd	5.03488E-08	0.0017%	(US-EPA, 1993)

En base a los “factores vs. MP10” estimados, se procedió a estimar la emisión de MP2.5 y sustancias tóxicas de las fuentes fijas de combustión consideradas, para los cuales no se contaba con información disponible.

3.1.3 Resultados

La siguiente tabla muestra las emisiones de cada chimenea de las fuentes fijas puntuales, y la Figura 3-1 muestra la distribución de emisiones, para los años 2013, 2020 y 2025 por responsable. Además, en la Tabla 3-7 se presenta la emisión estimada de sustancias tóxicas (en kg/año) para ambos años.

Tabla 3-6: Emisiones fuentes fijas de combustión (ton/año)

Empresa	Chimenea	2013					2020					2025				
		MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
CAP	2A	22	22	8	21	53	266	266	101	416	385	266	266	101	416	385
	2B	250	250	95	18	435	690	690	261	277	738	690	690	261	277	739
	3	0	0		0	0	490	490	185	381	578	490	490	185	381	578
CAP Total		271	271	1.3	38	487	1,446	1,446	547	1,075	1,701	1,446	1,446	547	1,075	1,701
Guacolda	U1_U2	149	149	57	4,251	17,866	318	318	120	4,558	3,646	318	318	120	4,558	3,646
	U3	95	95	36	1,796	816	213	213	81	2,406	1,923	213	213	81	2,406	1,923
	U4	42	42	16	232	6,353	243	243	92	285	1,933	243	243	92	285	1,933
	U5	0	0		0	0	146	146	55	285	966	146	146	55	285	966
Guacolda Total		286	286	108	6,279	25,034	919	919	348	7,535	8,469	919	919	348	7,535	8,469
Punta	PA1	0	0		0	0	317	317	120	2,337	2,337	317	317	120	2,337	2,337
Alcalde	PA2	0	0		0	0	0	0	0	0	317	317	120	2,337	2,337	
Punta Alcalde Total		0	0		0	0	317	317	120	2,337	2,337	633	633	240	4,673	4,673
Total Fuentes Fijas Combustión		557	557	211	6,317	25,522	2,681	2,681	1,015	10,946	12,507	2,998	2,998	1,134	13,282	14,843

Fuente: Elaboración propia

NOTA: Las emisiones futuras (año 2025) fueron estimadas en base a factores de emisión de emisiones ambientalmente aprobadas según RCA N°215/2010 del proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets" (RCA N° 215/2010, 2010), RCA N°44/2014 del proyecto "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas" (COREMA III Región, 2014) y RCA N°138/2012 "Central Termoeléctrica Punta Alcalde" (COREMA III Región, 2012))

Tabla 3-7: Emisión de Sustancias Tóxicas fuentes fijas de combustión (kg/año)

Empresa	Chimenea	2013						2020						2025					
		As	V	Hg	Ni	Pb	Cd	As	V	Hg	Ni	Pb	Cd	As	V	Hg	Ni	Pb	Cd
CAP	2A	61.1	0.2	2.0	1.6	0.4	0.4	754.9	2.8	24.7	20.0	4.9	4.5	754.9	2.8	24.7	20.0	4.9	4.5
	2B	709.0	2.6	23.2	18.8	4.6	4.2	1,956.7	7.1	64.1	51.9	12.7	11.7	1,956.7	7.1	64.1	51.9	12.7	11.7
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,390.5	5.1	45.5	36.9	9.0	8.3	1,390.5	5.1	45.5	36.9	9.0	8.3
CAP Total		770.1	2.8	25.2	20.4	5.0	4.6	4,102.1	15.0	134.3	108.8	26.7	24.6	4,102.1	15.0	134.3	108.8	26.7	24.6
Guacolda	U1_U2	82.9	248.6	16.6	165.7	2.8	2.5	82.9	248.6	16.6	165.7	5.9	5.4	82.9	248.6	16.6	165.7	5.9	5.4
	U3	851.7	113.6	8.5	85.2	1.7	1.6	127.8	298.1	21.3	212.9	3.9	3.6	127.8	298.1	21.3	212.9	3.9	3.6
	U4	656.2	85.6	8.6	85.6	0.8	0.7	42.8	85.6	8.6	85.6	4.5	4.1	42.8	85.6	8.6	85.6	4.5	4.1
	U5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.8	85.6	8.6	85.6	2.7	2.5	42.8	85.6	8.6	85.6	2.7	2.5
Guacolda Total		1,590.8	447.8	33.7	336.5	5.3	4.9	296.2	717.9	55.0	549.8	17.0	15.6	296.2	717.9	55.0	549.8	17.0	15.6
Punta	PA1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	898.7	3.3	29.4	23.8	5.8	5.4	898.7	3.3	29.4	23.8	5.8	5.4
Alcalde	PA2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	898.7	3.3	29.4	23.8	5.8	5.4
Punta Alcalde Total		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	898.7	3.3	29.4	23.8	5.8	5.4	1,797.4	6.6	58.8	47.7	11.7	10.8
Grand Total		2,360.9	450.6	58.9	356.9	10.3	9.5	5,297.0	736.1	218.7	682.4	49.5	45.6	6,195.7	739.4	248.1	706.3	55.3	51.0

Fuente: Elaboración propia

NOTA: Las emisiones futuras (año 2025) fueron estimadas en base a factores de emisión de emisiones ambientalmente aprobadas según RCA N°215/2010 del proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets" (RCA N° 215/2010, 2010), RCA N°44/2014 del proyecto "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas" (COREMA III Región, 2014) y RCA N°138/2012 "Central Termoeléctrica Punta Alcalde" (COREMA III Región, 2012))

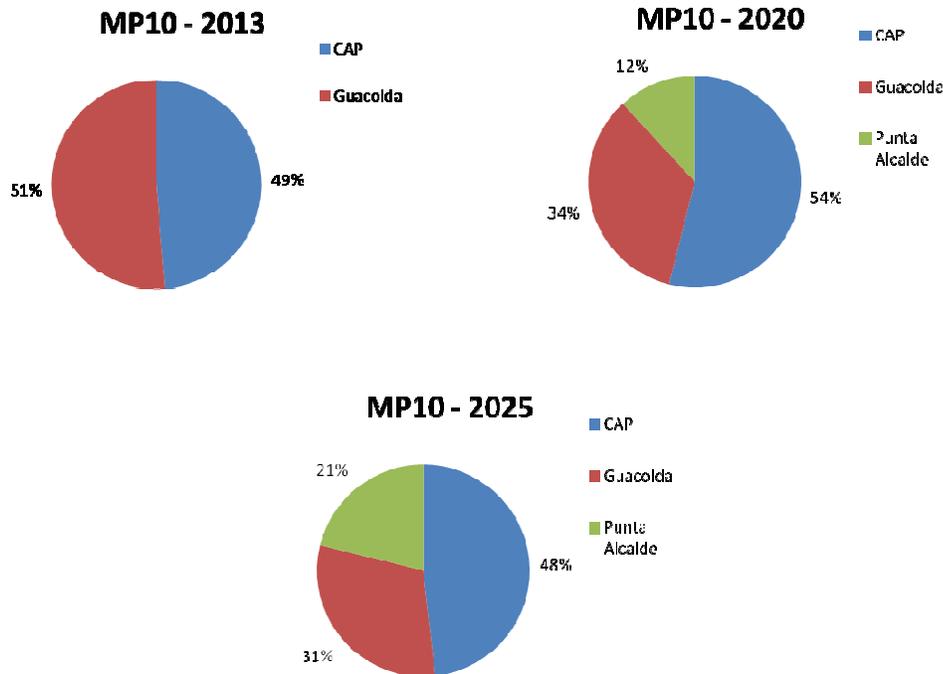


Figura 3-1 Distribución Emisiones MP10 fuentes fijas de combustión

En primer lugar se observa un importante incremento de las emisiones de MP, MP10 y NOx. Esto se debe principalmente a las siguientes razones:

- 1) Entrada en operación de la chimenea 3 de CAP
- 2) Entrada en operación de la unidad 5 de Guacolda
- 3) Entrada en operación de ambas unidades de Punta Alcalde
- 4) Estimación de emisiones futuras en base a las ambientalmente aprobadas (que en varios casos son considerablemente mayores que las emisiones que presentan las unidades en la actualidad)

En el caso de la reducción de emisiones de SO₂, ésta se debe principalmente al impacto por la instalación de equipos de abatimiento en las chimeneas asociadas a la Unidad1/Unidad2 y Unidad 4 del complejo Guacolda, para cumplir con las exigencias de la norma de emisiones de centrales termoeléctricas.

En la Figura 3-1 se observa que el actor más relevante en términos de emisiones de MP10 es CAP, seguido por Guacolda y finalmente Punta Alcalde. Cabe destacar sin embargo, que hay varios factores a considerar al momento de interpretar estos resultados:

- 1) Es probable que Punta Alcalde no se termine construyendo, por lo menos la evidencia indica eso (revisión de Informe de Precio Nudo de Abril de 2015).

- 2) Existe una probabilidad de que la chimenea 3 de CAP no se construya y que las emisiones de las chimeneas 2A y 2B sean menores, esto debido a la baja en la producción de pellet y por lo tanto un menor nivel de actividad en las chimeneas actuales (relacionado con el bajo precio del producto final).
- 3) El comportamiento actual de las empresas indica que sus emisiones futuras estarán muy por debajo de las emisiones ambientalmente aprobadas.

3.2 Fuentes Fijas Fugitivas

Las emisiones de material particulado de las fuentes fijas de área o emisiones areales corresponden principalmente a la dispersión de polvo producto de la carga, descarga, transporte en correas y erosión por el viento de insumos y productos en las distintas plantas (pellets y complejos termoeléctricos).

En la planta de pellets de CAP Minería se manipula preconcentrado, pellet, pellet feed, pellet chips, carbón y caliza mientras que en las termoeléctricas Guacolda y Punta Alcalde los materiales que se manipulan son carbón, caliza y cenizas.

3.2.1 Nivel de Actividad

Los niveles de actividad en este caso corresponden a la cantidad de material procesado en cada industria (para el caso de movimiento de material por carga, descarga y operación de correas) y a la superficie de las canchas de acopio para el cálculo de las emisiones de erosión.

Para el caso de CAP, el año 2013, se consideró información entregada al consultor por la empresa. Para los años futuros se consideran dos opciones: 1) cantidad de material procesado el 2013 modificado según las horas de funcionamiento consideradas y capacidad de los hornos, y 2) Una vez implementada la fase II del proyecto (en que se pone en marcha un segundo horno), se considera la cantidad de material declarado en la RCA del proyecto.

Para calcular la cantidad de insumos utilizados en Guacolda se utilizó información entregada por la misma empresa, que corresponden a la cantidad de material utilizado en 2013. Para los años posteriores se consideró que la cantidad de insumos sería proporcional al tiempo de funcionamiento de las unidades.

Para Punta Alcalde en tanto, se utilizaron los datos señalados en el EIA del proyecto (ENDESA-Chile, 2009). En este documento se indica que la central Punta Alcalde tendrá un consumo mensual de carbón de 331.200 toneladas/mes (considerando ambas unidades), equivalente a 3.974 miles de toneladas/año (ver Tabla 3-8). También se menciona que el consumo de caliza será de 11,8 ton/hora, lo que suma un total de 100,996 ton/año para las dos unidades. En el caso de las

cenizas, se menciona una producción diaria de 1,656 ton/día (equivalente al 15% en peso con respecto al carbón), lo que suma un total de 604,440 ton/año.

Las superficies sometidas a la erosión del viento y la cantidad de pilas se obtuvieron del EIA de la planta de Pellet para el caso de CAP (GAC consultores & CAP, 2010) y del EIA de la central Termoeléctrica Punta Alcalde para el caso de Punta Alcalde (ENDESA-Chile, 2009). En el caso de la central Guacolda, la superficies de la cancha acopio de carbón fue medida mediante la herramienta Google Earth, mientras que la superficie del vertedero de cenizas se obtuvo del EIA “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Termoeléctrica Guacolda S.A.” (Illanes y Asociado & Energía, 2007). Finalmente, la superficie de la cancha de acopio de caliza de la central Guacolda, se estima base a la superficie de la cancha de acopio de caliza de Punta Alcalde y la cantidad de material almacenado en ambos casos con la siguiente ecuación:

$$Sup_{Caliza_{Guacolda}} = Sup_{Caliza_{PtaAlcalde}} * Material_{Caliza_{Guacolda}} / Material_{Caliza_{PtaAlcalde}}$$

En la Tabla 3-9 se muestra un resumen de las características de las pilas de acopio para cada empresa.

Tabla 3-8: Material utilizado

Material	Material Utilizado (M ton/año)										
	2013			2020				2025			
	CAP	Guacolda	Puerto Las Losas	CAP	Guacolda	Punta Alcalde	Puerto Las Losas	CAP	Guacolda	Punta Alcalde	Puerto Las Losas
Preconcentrado (*)	6,976	0	0	9,150	0	0	0	9,150	0	0	0
Pellets	2,202	0	0	6,275	0	0	0	6,275	0	0	0
Pellets Chips	113	0	0	665	0	0	0	665	0	0	0
Pellets Feed	3,465	0	0	627	0	0	0	627	0	0	0
Carbón (*)	47	3,551	47	128	4,128	1,987	128	128	4,128	3,974	128
Caliza (*)	97	55	65	264	66	50.5	264	264	66	101	264
Ceniza	0	643	0	0	747	302	0	0	747	604	0
Granos	0	0	21	0	0	0	21	0	0	0	21
Referencias:	CAP y PLL: Información Proporcionada por CAP Guacolda: Información Proporcionada por Guacolda			CAP y PLL: EIA de ampliación planta de Pellets (GAC consultores & CAP, 2010) Guacolda: Estimado en base a información entregada por la empresa Punta Alcalde: EIA de la Central Termoeléctrica Punta Alcalde (ENDESA-Chile, 2009)							

NOTA: la información entregada por la empresa se adjunta en un anexo digital al presente informe

(*) La cantidad de preconcentrado, carbón y caliza total almacenado en las canchas de acopio no se conoce para el año 2013. Sin embargo, la empresa (CAP), entregó información acerca de la producción total de ese año. En base a esa información y a información presentada en el EIA “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” se estimó la cantidad de preconcentrado según se detalla en la sección 9.4 de Anexos.

Tabla 3-9: Características de las pilas de acopio

Responsable	Característica	Unidad	Preconcentrado	Pellets	Pellets Chips	Pellets Feed	Carbón	Caliza	Ceniza
CAP	Numero pilas	#	2	3	6	6	2	10	
	Altura Pila	m	12	12	6	10	10	6	
	Superficie 2013 – 2017	has	0.9454	0.9335	0.4207	7.003	0.671	0.438	
	Superficie 2018 - 2025	has	1.24	2.66	2.48	1.268	1.81	1.63	
Guacolda	Numero pilas	#					6	2	1
	Altura Pila	m					8	3	
	Superficie 2013 - 2015	has					4.84	0.23	80
	Superficie 2016 – 2025	has					5.6	0.27	80
Punta Alcalde	Numero pilas	#					4	4	1
	Altura Pila	m					10	4	
	Superficie 2018 – 2021	has					2.7	0.20	45.2
	Superficie 2022 – 2025	has					5.4	0.39	90.4
Puerto Las Losas	Numero pilas	#					1	1	
	Altura Pila	m					8	8	
	Superficie 2013 -2017	has					0.04078	0.03	
	Superficie 2018 - 2025	has					0.12	0.08	
Referencias:	<p>CAP y PLL: Información entregada por la empresa. Para valores futuros se utilizó EIA de ampliación planta de Pellets (GAC consultores & CAP, 2010)</p> <p>Guacolda: Información entregada por la empresa. Para valores futuros se utilizó el EIA “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Termoeléctrica Guacolda S.A.” (Illanes y Asociado & Energía, 2007) para el vertedero de cenizas, la cancha de carbón fue medida mediante Google Earth, y la superficie de la cancha de caliza fue estimación propia.</p> <p>Punta Alcalde: EIA de la Central Termoeléctrica Punta Alcalde (ENDESA-Chile, 2009)</p>								

NOTA: la información entregada por la empresa se adjunta en un anexo digital al presente informe

3.2.2 Factores de Emisión

Para calcular los factores de emisión se utilizaron las fórmulas señaladas por documentos expertos. De la EPA se utilizó el AP-42 específicamente los documentos:

- (i) (US-EPA, 1998): AP-42 de la EPA, Capítulo 11.9 "Western Surface Coal Mining", Tabla 11.9-2
- (ii) (US-EPA, 1995): AP-42 de la EPA, Capítulo 12.5 "Iron Steel production, Tabla 12.5-4
- (iii) (US-EPA, 2006): AP-42 de la EPA, Capítulo.13.2.4 "Aggregate Handling and Storage Piles"
- (iv) (Contess Environmental, 2006): WRAP Fugitive Dust Handbook, Countess Environmental 2006

Las tablas a continuación presentan las fórmulas que se utilizaron para construir los factores de emisión, una descripción de los parámetros de las distintas fórmulas, y los valores considerados para las distintas constantes y variables utilizadas.

Tabla 3-10: Fórmulas utilizadas para estimar factores de emisión de fuentes fijas fugitivas

Tipo de Acción	Acción	Fórmula MP [kg/ton]	Fórmula MP10 [kg/ton]	Fórmula MP2.5 [kg/ton]	Fuente
Carga	Torre de transferencia	$\frac{K_1}{H^{1.2}}$	$\frac{K_1}{H^{0.9}}$	$\frac{K_1}{H^{1.2}}$	(i)
	Pila				
	Camión				
Descarga	Correa a pila	$K_2 * \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{H}{2}\right)^{1.4}}$			(iii)
	Correa a área molienda				
	Correa a cancha acopio				
	Correa a pluma embarque				
	Camión a tolva de quemado	$K_3 * \frac{d^{1.1}}{H^{0.3} * \rho}$	$K_3 * \frac{d^{0.7}}{H^{0.3} * \rho}$	$K_3 * \frac{d^{1.1}}{H^{0.3} * \rho}$	(i)
	Camión a tolva de molienda				
	Camión a cancha de acopio				
	Ferrocarril a tolva				
Camión a pila					
Transporte en correas	Transporte	$5.5 * 10^{-4}$	$4.1 * 10^{-4}$	$1.5 * 10^{-4}$	(ii)
Erosión	Erosión por el viento	$K_4 * \frac{s}{1.5} * \frac{f}{15} \left[\frac{kg}{ha - dia} \right]$			(iv)

Tabla 3-11: Descripción de parámetros utilizados en las ecuaciones

Carácter	Parámetro	Valor
K1	Constante carga	Se muestran en la Tabla 3-12
H	Humedad	Se muestran en la Tabla 3-13
K2	Constante descarga desde correa	Se muestran en la Tabla 3-12
U	Velocidad del viento a la altura de descarga	3,01 m/s
K3	Constante de descarga desde camión o ferrocarril	Se muestran en la Tabla 3-12
d	Altura de descarga desde camión o ferrocarril	1 mt desde camión y 0.5 m desde ferrocarril.
ρ	Densidad de material	Se muestran en la Tabla 3-13
K4	Constante para el cálculo de erosión del viento	Se muestran en la Tabla 3-12
s	Porcentaje de finos	Se muestran en la Tabla 3-13
f	Tiempo en que el viento es superior a 5,3 m/s.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-12: Constantes de los factores de emisión de carga, descarga y erosión

Constante	MP	MP10	MP2.5
K1	0.58	0.0447	0.01102
K2	1.184e-003	5.6e-004	8.48e-005
K3	4.60E-03	2.18E-03	8.74e-005
K4	1.904	0.952	0.1428

Fuente: (US-EPA, 1995, 1998, 2006)

Tabla 3-13 Propiedades de los materiales (%)

Material	Densidad	Humedad		Porcentaje de finos	
	Todos	CAP y Puerto Las Losas	Guacolda y Punta Alcalde	CAP y Puerto Las Losas	Guacolda y Punta Alcalde
	ton/m ³	%	%	%	%
Preconcentrado	2.95	0.2 (*)	No aplica	14 (*)	No aplica
Pellets	2.18	1.5	No aplica	0.5	No aplica
Pellets Chips	2.6	1.5	No aplica	10	No aplica
Pellets Feed	2.45	8.5	No aplica	95.3	No aplica
Carbón	0.95	5.6 (*)	13.05 (*)	17 (*)	7.33 (*)
Caliza	2.3	5	0.2	3	1
Ceniza	2.26	27	27	80	80

Fuente: (Guacolda Energia, 2013; US-EPA, 2006)

(*) Estos valores fueron obtenidos como resultado del análisis de muestras tomadas durante la primera visita a la zona de estudio.

Para el caso de la humedad y porcentaje de finos, los valores estándar declarados por las empresas o utilizados a nivel internacional se actualizaron en base a los resultados de un análisis de muestras que se tomó en la zona de estudio durante la primera visita a terreno por parte del consultor. El detalle de las muestras y resultados se presenta en la sección 9.5 de Anexos.

Tabla 3-14: Tiempo de erosión según altura de la pila

Altura (m)	Tiempo erosión (%)
1	4.4
2	9.6
3	13.3
4	16.5
5	18.7
6	20.5
7	22.1
8	23.5
9	25
10	26.1
11	27
12	28

Fuente: EIA Punta Alcalde, Anexo U.3 pág. 9.

A pesar de que en el EIA de ampliación planta de Pellets (GAC consultores & CAP, 2010) se señala que se utilizarán determinadas medidas de control de emisiones en la implementación de la fase I y la fase II del proyecto, durante la visita se observó de que estas medidas no están siendo implementadas apropiadamente por lo que se consideró que para el inventario 2013 un nivel de control menor al señalado en el EIA. De acuerdo a lo presentado en la siguiente tabla, durante la visita se verificó que por lo menos las medidas de humectación en canchas de acopio de material y aplicación de bischofita o humectación en todos los caminos no pavimentados no han sido implementadas de manera adecuada.

Tabla 3-15 Nivel de Implementación Medidas en Fuente Fugitivas - CAP

Fuente	Medida comprometida	Nivel de implementación observado
Cancha de Acopio	Instalación de cortinas eólicas en tres caras de los acopios en zonas de almacenamiento a granel.	Completo
	Humectación de material en zonas de transferencia.	No se observó humectación, aun cuando estaban instalados los aspersores.
	Humectación de las canchas de acopio.	No se observó humectación, aun cuando estaban instalados los aspersores.
	Cierre perimetral completo, de altura superior (1 metro) a la altura máxima declarada del acopio respectivo en los acopios de carbón, caliza, pre-concentrado y pellets.	Completo
Transporte	Encapsulamiento y automatización del sistema de descarga de preconcentrado desde cancha acopio.	No se verificó
	Aplicación de bischofita o humectación de todos los caminos.	No se observó aplicación completa
	Instalación de cúpulas de fibra de vidrio en todos los carros que transporten preconcentrado desde Maitencillo a Planta de pellets.	Las cúpulas no cierran completamente los carros.
	Mejoramiento de la vía férrea: mejoramiento de rieles y limpieza de la faja ferroviaria.	No se verificó
	Correas nuevas con cobertura 100% de su superficie.	No se verificó

Fuente: Elaboración Propia

En relación al abatimiento se observó durante la visita que para Guacolda si existen diversas medidas que están implementadas. Al no contar con valores de eficiencia de reducción de contaminantes oficiales, se consideran para el caso de Guacolda, los mismos valores de eficiencia de abatimiento presentadas en el EIA de Punta Alcalde.

3.2.3 Resultados

A continuación se presentan los resultados del inventario de emisiones al año 2013 para fuentes fijas fugitivas y las emisiones proyectadas (2020 y 2025) en un escenario base que no considera la implementación de un plan de prevención (escenario "Sin Plan"). Las eficiencias de reducción de emisiones consideradas para los sistemas de control actualmente implementados se presentan en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16: Eficiencias de Reducción de Emisiones para Fuentes Fijas Fugitivas

Medida	Eficiencia Reducción	Referencia
Humectación del material para carga y descarga	50%	(COREMA III Región, 2010)
Encapsulamiento en la carga y descarga	50%	(COREMA III Región, 2010)
Correas Tubulares	90% (*)	(Gobierno Vasco, 2012a)
Instalación de Mallas Raschel	50%	(COREMA III Región, 2010)
Humectación en canchas de acopio	50%	(COREMA III Región, 2010)
Solución costrante para canchas de acopio	37,5%	(E.H. Pechan & Associates, 2006)
Humectación y Compactación de cenizas	90%	(Contess Environmental, 2006)

(*): Se menciona una eficiencia de 100% en la aplicación de correas nuevas con cobertura de 100% en su superficie. Sin embargo, se considera una eficiencia menor de 90% de manera conservadora.

En las tablas a continuación (Tabla 3-16 a Tabla 3-20) se presenta un detalle de las eficiencias finales consideradas a nivel de cada fuente en las distintas etapas de emisión consideradas (carga y descarga de material, transporte en correas y erosión eólica).

Tabla 3-17: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para la carga

Responsable	Emisiones Sin Control Línea de Base(kg/año)			Porcentaje de control aplicado		Emisiones Reales Año 2013 (kg/año)		
	2013	2020	2025	Humectación del material	Encapsulamiento de la carga	2013	2020	2025
CAP	1,517,659	2,183,887	2,183,887	50%	50%	379,415	545,972	545,972
Guacolda	27,621	32,499	32,499	50%	50%	7,275	8,555	8,555
Punta Alcalde	0	19,105	37,402	0%	50%	0	9,900	19,800
Puerto Las Losas	2,261	7,976	7,976	0%	0%	2,261	7,976	7,976
Otros	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,547,541	2,243,466	2,261,764			388,951	572,402	582,302

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-18: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para la descarga

Responsable	Emisiones Sin Control Línea de Base(kg/año)			Porcentaje de control aplicado		Emisiones Reales Año 2013 (kg/año)		
	2013	2020	2025	Humectación del material	Encapsulamiento de la descarga	2013	2020	2025
CAP	323,127	451,003	451,003	50%	50%	80,782	112,751	112,751
Guacolda	4,376	5,094	252	50%	50%	1,152	1,340	63
Punta Alcalde	-	2,490	243	0%	50%	-	1,245	121
Puerto Las Losas	281	570	241	0%	0%	281	570	241
Otros	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	327,784	459,156	451,738			82,214	115,905	113,176

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-19: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para el transporte en correas

Responsable	Emisiones Sin Control Línea de Base(kg/año)			Nivel de control aplicado						Emisiones reales Línea de Base (kg/año)		
	2013	2020	2025	Preconc	Pellets	P-Chips	P-Feed	Carbón	Caliza	2013	2020	2025
CAP	3,892	6,799	6,799	30%	30%	30%	30%	0%	0%	2,702	4,699	4,699
Guacolda	1,487	1,730	1,730	0%	0%	0%	0%	90%	90%	149	173	173
Punta Alcalde	-	841	1,681	0%	0%	0%	0%	90%	90%	0	84	168
Puerto Las Losas	-	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
Otros	-	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0
Total	5,379	9,369	10,210							2,851	4,956	5,040

Fuente: Elaboración propia

NOTA: para el caso de CAP, y de acuerdo a lo observado en terreno, se hace el supuesto que las medidas aplicadas en la actualidad (escenario “Sin Plan”) logran una reducción solamente de un 30% de las emisiones (o 1/3 del potencial de reducción de 90%).

Tabla 3-20: Emisiones MP10 de base y abatimiento implementado para la erosión eólica

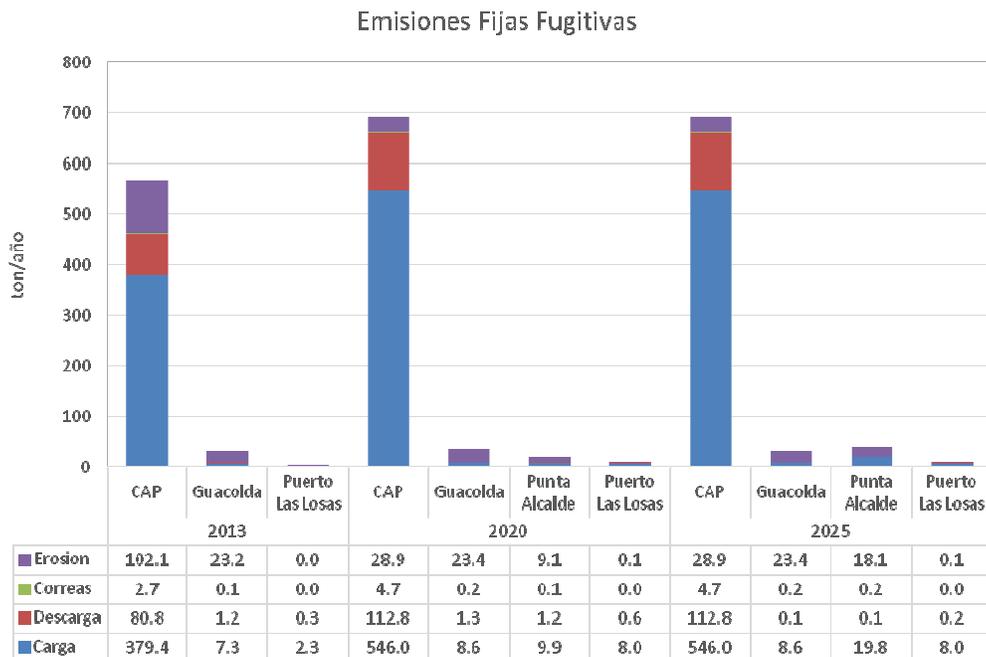
Responsable	Emisiones Sin Control Línea de Base (kg/año)			Nivel de control aplicado				Emisiones reales Línea de Base (kg/año)		
	2013	2020	2025	Mallas Raschel	Humectación	Solución Costrante	Compactación y Humectación Cenizas	2013	2020	2025
CAP	204,526	58,768	58,768	50%	0%	0%	0%	102,111	28,865	28,865
Guacolda	226,613	228,086	228,086	50%	50%	37.5%	90%	23,178	23,409	23,409
Punta Alcalde	0	128,753	257,373	50%	0%	0%	90%	0	9,091	18,116
Puerto Las Losas	38	95	95	0%	0%	0%	0%	38	95	95
Otros	0	-	0	0%	0%	0%	0%	0	0	0
Total	431,176	415,702	544,322					125,328	61,460	70,485

Fuente: Elaboración propia

Llama la atención el gran aporte de CAP, en relación a las otras fuentes a las emisiones de material particulado, lo que es consecuencia de la gran cantidad de material tratado y de las pocas medidas de mitigación implementadas. Esto se aprecia mejor en la tabla Tabla 3-21 donde se presentan las emisiones totales de MP10 por responsable.

Como se explica en la sección 9.5 de Anexos, durante la visita #1 a la zona de Huasco se realizó una toma de muestras que luego fueron analizadas. Se identificó una humedad muy baja para el preconcentrado (0.2 %) y bastante más baja que el valor utilizado por la empresa para la estimación de emisiones en el EIA (2,6%). La humedad tienen un gran impacto sobre las emisiones fugitivas. A modo de ejemplo, al estimar las emisiones de carga con una humedad de 2,6%, el total de emisiones llegaría a 811 ton/año para el proceso de carga. Sin embargo, con una humedad de 0.2% la emisión alcanza un total de 7.468 ton/año, es decir más de 9 veces más. La implementación de buenas prácticas operacionales y el cumplimiento de los compromisos adquiridos en la RCA, podrían llevar la humedad del material a valores más altas reduciendo significativamente las emisiones fugitivas.

Figura 3-2: Emisiones Fijas Fugitivas – MP10 – Escenario Sin Plan – Años 2013, 2020 y 2025 (ton/año)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-21: Emisiones Fijas Fugitivas por responsable – MP10 - Escenario Sin Plan – Años 2013, 2020 y 2025 (ton/año)

Responsable	2013	2020	2025
CAP	565	692	692
Guacolda	32	33	33
Puerto Las Losas	3	9	9
Punta Alcalde		20	41
Total	599	755	775

Fuente: Elaboración propia

3.3 Fuentes Móviles de Combustión

Las emisiones de fuentes móviles de combustión corresponden a las emisiones de los tubos de escape de los distintos vehículos tales como buses, autos, motos que circulan por la localidad de Huasco y el ferrocarril y los camiones que funcionan para las distintas industrias. Para esta categoría de fuentes se estiman las siguientes subcategorías: Otros móviles (aquellos vehículos no pertenecientes a empresas), CAP (camiones pesados de la empresa), Guacolda (camiones pesados de la empresa) y Punta Alcalde (camiones pesados de la empresa).

La estimación de emisiones de fuentes móviles por combustión se realiza utilizando una función genérica de la forma:

$$Emisiones_{ij} = NA_j \times FE_{ij} \times \frac{1}{1.000.000}$$

Donde,

- $Emisiones_{ij}$: es la emisión anual del contaminante i en la fuente j (ton/año)
- NA_j : es el nivel de actividad de la fuente j (kms recorridos/año)
- FE_{ij} : es el factor de emisión de la fuente j para el contaminante i (g/km)

A continuación se presentan los niveles de actividad y factores de emisión considerados para realizar la estimación de emisiones.

3.3.1 Niveles de Actividad

Los niveles de actividad corresponden a los kms recorridos anualmente (kms/año) por cada tipo de vehículo en total. Para los vehículos que no corresponden a los camiones de las empresas (CAP, Guacolda y Punta Alcalde), este valor se obtiene multiplicando el número de vehículos (Tabla 3-23) de cada tipo por la distancia recorrida promedio por vehículo (Tabla 3-22).

Para proyectar el parque vehicular, se considera que un crecimiento vehicular anual equivalente al promedio anual de acuerdo a los anuarios del INE de Parque de Vehículos equivalente a un 5,67% anual para vehículos motorizados. También, se supone una renovación vehicular del 4%, lo que implica que cada año un 4% de los vehículos salen del parque y la misma cantidad entra pero cumpliendo con la nueva normativa de emisiones de fuentes móviles. Esto hace que la distribución de vehículos según normativa cambie drásticamente entre 2013 y 2025 (ver Tabla 3-24).

Se sabe que las distancias recorridas no se realizan en su totalidad en la localidad de Huasco, si no que gran parte de estas se realizan en el camino a otras localidades (Freirina, Vallenar o Alto del Carmen) por lo que se asumió que un 20%⁸ de los recorridos de los buses y camiones se realizaba en la localidad mientras que un 50% de los recorridos de los demás vehículos (taxis, motos y vehículos particulares y comerciales).

Tabla 3-22: Distancia Promedio por Vehículo en una ciudad con menos de 25.000 Habs

Tipo Vehículo	Distancia Recorrida Promedio	Proporción Distancia atribuible a Huasco (*)	Distancia Recorrida Final
	<i>kms/año</i>	%	<i>kms/año</i>
Bus	30.212	20	6,042
Camión liviano	3.789	20	758
Camión mediano	3.789	20	758
Comerciales	7.990	50	3,995
Motos	1.796	50	898
Particulares	5.592	50	2,796
Taxi-Taxi colectivo	31.677	50	15,839

Fuente: (CONAMA, 2009)

(*): Supuesto del consultor

⁸ Este valor se estimó en base a un recorrido tipo entre Vallenar y Huasco, considerando un circuito de 20 kms aproximadamente atribuibles a la localidad de Huasco.

Tabla 3-23: Parque vehicular en la comuna de Huasco

Vehículos	2013	2020	2025
Vehículos Particulares	1.216	1.594	1.933
Vehículos Comerciales	862	1.130	1.371
Taxi	56	73	89
Motos	30	39	48
Buses	61	80	97
Camiones Livianos	185	243	295
Camiones Medianos	1.656	2.170	2.632
Total	4.066	5.329	6.465

Fuente: Elaboración propia a partir del Anuarios de Parque vehiculares de los años 2002 - 2014⁹

NOTA: No se consideran los camiones pesados, ya que se asume que estos pertenecen a las empresas CAP, Guacolda y Punta Alcalde.

9

http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/transporte_y_comunicaciones/parque_evehiculos.php

Tabla 3-24: Distribución de vehículos según normativa Euro

Año	Tipo de Vehículo	Standard del Vehículo							Total
		No Cat	Convencional	E1	E2	E3	E4	E5	
2013	Vehículos Particulares	4%	0%	33%	0%	34%	26%	3%	100%
	Vehículos Comerciales	4%	0%	37%	0%	20%	29%	10%	100%
	Taxi	4%	0%	35%	0%	35%	25%	2%	100%
	Motos	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	Buses	0%	26%	8%	15%	34%	16%	0%	100%
	Camiones Livianos	0%	17%	13%	33%	20%	17%	0%	100%
	Camiones Medianos	0%	17%	13%	33%	21%	17%	0%	100%
2020	Vehículos Particulares	2.08%	0%	18.15%	0%	18.91%	14.34%	46.52%	100%
	Vehículos Comerciales	2.37%	0%	20.59%	0%	10.72%	15.94%	50.38%	100%
	Taxi	1.93%	0%	19.28%	0%	19.27%	13.49%	46.03%	100%
	Motos	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	Buses	0%	14.41%	4.50%	8.10%	18.91%	15.06%	39.01%	100%
	Camiones Livianos	0%	9.18%	6.99%	18.07%	11.22%	9.47%	45.06%	100%
	Camiones Medianos	0%	9.17%	6.93%	18.03%	11.31%	9.49%	45.06%	100%
2025	Vehículos Particulares	1%	0%	11%	0%	11%	9%	68%	100%
	Vehículos Comerciales	1%	0%	12%	0%	6%	9%	70%	100%
	Taxi	1%	0%	11%	0%	11%	8%	68%	100%
	Motos	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	Buses	0%	9%	3%	5%	11%	10%	62%	100%
	Camiones Livianos	0%	5%	4%	11%	7%	6%	67%	100%
	Camiones Medianos	0%	5%	4%	11%	7%	6%	67%	100%

Fuente: (GreenLabUC & Sistemas Sustentables, 2012)

NOTA: La distribución de vehículos según normativa euro al año 2025 se estimó al sacar de circulación un 4% de los vehículos anualmente, y reingresándolos como vehículos nuevos que cumplen norma Euro V.

Para los camiones de las empresas CAP, Guacolda y Punta Alcalde se utilizó la frecuencia del tránsito de los camiones o ferrocarriles obtenido de los EIA respectivos y se proyectó para los demás años según el material que necesita transportar. Se trazaron y registraron las distancias recorridas en tierra y pavimento por estos camiones y se calculó de esta forma a distancia recorrida total por los vehículos de las empresas.

En las figuras a continuación (Figura 3-3, Figura 3-4 y Figura 3-5) se presentan los tramos modelados para CAP, Guacolda y Puerto Las Losas. Para Punta Alcalde se consideró las distancias en el EIA del complejo termoeléctrico (RCA-Nº138/2012, 2012). Por otro lado, en la Tabla 3-25 se presentan los valores de distancia considerados y las frecuencias de viaje.



Figura 3-3 Tramos de Puerto las Losas a CAP – Tierra (rojo) y Pavimento (verde)



Figura 3-4 Tramos de Entrada de Huasco a CAP – Ferrocarril (rojo) y Pavimento (verde)



Figura 3-5 Tramos de Entrada de Huasco a Guacolda (amarillo), Guacolda a Vertedero Pavimento (rojo) y Guacolda a Vertedero Tierra (verde)

Tabla 3-25: Frecuencia de viajes y distancia recorrida por vehículos empresas

Responsable	Tramo	Distancia Recorrida (km/viaje)			Frecuencia Camiones (viajes/año)			Observaciones
		Pavimento	Tierra	Línea Tren	2013	2020	2025	
CAP	Entrada a CAP	14	0	0	23,543	67,084	67,084	2013: Información proporcionada por CAP. 2025: Se estima la cantidad de viajes de manera proporcional a la producción del producto Pellet
	Puerto Las Losas a CAP	1.99	0.6	0	23,543	67,084	67,084	2013: Información proporcionada por CAP. 2025: Se estima la cantidad de viajes de manera proporcional a la producción del producto Pellet.
	Línea de Tren	0	0	15	4,759	6,242	6,242	2013: En el inventario del 2005 (CENMA, 2006) se estiman 4.432 viajes/año para transportar 6.647.000 ton/año de material (preconcentrado y granzas). Al año 2013 se estima el transporte de 7.137.126 entre preconcentrado y granza. 2025: Se estima el transporte de 9.361.251 ton de preconcentrado y granza.
Guacolda	Entrada a Guacolda	12.24	0	0	3,212	4,015	4,015	Se estima la cantidad de viajes en base a información del EIA de la Unidad 5 de Guacolda, equivalente a 11 viajes/día para el transporte de caliza. De acuerdo a esto, se estima para el año 2025 con las 5 unidades funcionando un total de $11 \times 365 = 4,015$ viajes/año, mientras que para el año 2013 se estima proporcional a la potencia instalada $(4,015 \times 608\text{MW}/760\text{MW}) = 3,212$ viajes/año.
	Guacolda a Vertedero	3.9	8.76	0	19,410	24,263	24,263	2013: Información proporcionada por Guacolda. 2025: Se escaló la cantidad de camiones de manera proporcional a la potencia instalada (proxy de producción de cenizas)
Punta Alcalde	Entrada a Punta Alcalde	0	50	0	0	5,700	11,400	Distancia: Se considera distancia de tabla 12 del EIA de Punta Alcalde. Frecuencia: Se suman los viajes/mes para todas las actividades excluyendo el vertedero en la tabla 12 del EIA de Punta Alcalde.
	Punta Alcalde a Vertedero	0	6.3	0	0	10,032	20,064	Distancia: Se considera distancia de tabla 12 del EIA de Punta Alcalde. Frecuencia: Se suman los viajes/mes para las actividades asociadas al transporte a vertedero de la tabla 12 del EIA de Punta Alcalde.
Puerto Las Losas	Otros Puerto Las Losas	10	0.6	0	1,873	1,873	1,873	2013: Información proporcionada por CAP. 2025: Se repite dato del 2013, asumiendo mismo nivel de actividad..

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Factores de Emisión

Los factores de emisión dependen del tipo de vehículo y del combustible que estos utilicen y señalan los gramos de contaminante emitido por km recorrido. Los utilizados en este estudio fueron obtenidos de GreenLabUC & Sistemas Sustentables (2012) y se muestran en la sección 9.3.

3.3.2 Resultados

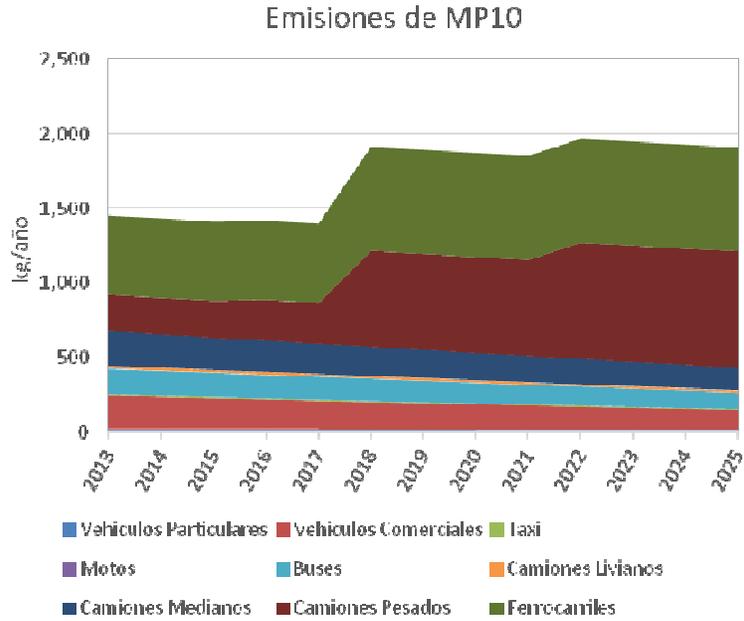
En la Figura 3-6 se observa que la mayoría de las emisiones de las fuentes móviles de los tubos de escape provienen de los ferrocarriles y camiones medianos y pesados. Además, el mayor responsable en las emisiones es CAP Minería. Sin embargo, al observar el agregado y comparar con las emisiones de otros tipos de fuentes, estas emisiones pierden relevancia.

Tabla 3-26 Emisiones de Línea Base – Fuentes Móviles – Combustión (ton/año)

Responsable	2013					2020					2025				
	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
CAP	0.66	0.66	0.59	26.02	0.01	1.06	1.06	0.95	40.91	0.04	1.06	1.06	0.95	40.91	0.04
Guacolda	0.11	0.11	0.10	3.83	0.01	0.14	0.14	0.12	4.79	0.02	0.14	0.14	0.12	4.79	0.02
Puerto Las Losas	0.67	0.67	0.61	21.38	0.16	0.53	0.53	0.48	20.04	0.21	0.43	0.43	0.39	19.47	0.25
Otros	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00
Punta Alcalde						0.13	0.13	0.12	4.68	0.01	0.27	0.27	0.24	9.36	0.03
TOTAL	1.45	1.45	1.31	51.50	0.19	1.87	1.87	1.68	70.68	0.28	1.91	1.91	1.71	74.79	0.33

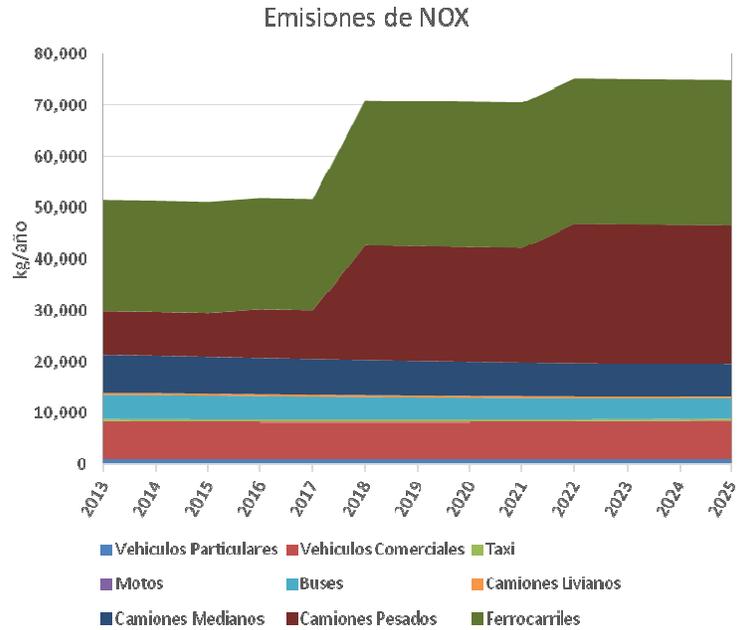
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-6: Emisiones de MP10 de Fuentes Móviles de Combustión



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-7: Emisiones de NOx de Fuentes Móviles de Combustión



Fuente: Elaboración Propia

3.4 Fuentes Móviles Fugitivas

Las fuentes fugitivas corresponden a las emisiones de MP10 provenientes del levantamiento de polvo al transitar los vehículos en las calles pavimentadas y no pavimentadas.

3.4.1 Niveles de Actividad

Los niveles de actividad son equivalentes a los niveles de actividad de las fuentes móviles señalados en las Tabla 3-22, Tabla 3-23 y Tabla 3-25.

3.4.2 Factor de Emisión

Los factores de emisión dependen del tipo de camino, las características del polvo, y del peso del vehículo. Para las calles pavimentadas se utilizó la Ecuación 3-3 y para los caminos de tierra se utilizó la Ecuación 3-4, ambas obtenidas del AP-42 de la EPA.

Ecuación 3-3: Factor de emisión para calles pavimentadas

$$e \left[\frac{gr}{veh - km} \right] = k * (sL)^{0.91} * (W)^{1.02}$$

Ecuación 3-4: Factor de emisión para calles no pavimentadas

$$e \left[\frac{gr}{veh - km} \right] = \frac{k * \left(\frac{sL}{12} \right)^a * \left(\frac{V}{30} \right)^d}{\left(\frac{H_c}{0.5} \right)^c}$$

Donde,

- $k \left[\frac{gr}{veh - km - ton} \right]$: Constante multiplicadora según tamaño de partícula (ver valores en Tabla 3-27).
- $sL \left[\frac{g}{m^2} \right]$: Fracción de polvo en la calle, o carga de finos (ver valores en Tabla 3-28)
- W : Peso del vehículo (ver valores en Tabla 3-29)
- V : velocidad promedio del vehículo (km/hr) (ver valores en Tabla 3-30)
- a, c, d : constantes empíricas (ver valores en Tabla 3-31)
- H_c : contenido de humedad promedio (%). Se utiliza un valor por defecto de 0.5%, de acuerdo a información obtenida del EIA de Punta Alcalde.

Tabla 3-27 Multiplicador (k) para ecuaciones según tamaño de partícula

Tamaño de partícula	Calles Pavimentadas	Calles No Pavimentadas
	<i>gr/vkt</i>	
PM-2.5	0.15	50.7
PM-10	0.62	507.4
PM-30	3.23	1691.4

Fuente: AP-42 – Calles Pavimentadas y Calles No Pavimentadas

Tabla 3-28 Fracción de polvo (o carga de finos) según tipo de camino

Tipo de camino	Valor (gr/m ²)	Fuente
Pavimentado	0.2	AP-42 – Calles Pavimentadas, suponiendo un flujo vehicular diario de 500 – 5.000 veh/día
No Pavimentado	6	AP-42 – Calles no pavimentadas, se asume promedio de “Producción de Hierro y Acero”

Tabla 3-29 Peso de Vehículos Según Tipo

Tipo de Vehículo	Peso (ton)
Vehículos Particulares	1.2
Vehículos Comerciales	2
Taxi	2
Motos	0.2
Buses	17.2
Camiones Livianos	7.5
Camiones Medianos	12
Camiones Pesados	45

Fuente: (CONAMA, 2009)

Tabla 3-30 Velocidad Promedio Vehículos Según Tipo

Tipo de Vehículo	Velocidad (km/hr)
Vehículos Particulares	35
Vehículos Comerciales	36
Taxi	27
Motos	35
Buses	20
Camiones Livianos	31
Camiones Medianos	31
Camiones Pesados	35

Fuente: (CONAMA, 2009)

Tabla 3-31 Constantes empíricas para FE calles no pavimentadas

Tamaño de partícula	a	c	d
PM-2.5	1	0.2	0.5
PM-10	1	0.2	0.5
PM-30	1	0.3	0.3

Fuente: AP-42 – Calles No Pavimentadas

Para el caso de los ferrocarriles se usó un factor de emisión obtenido de un estudio de emisión de polvo desde vagones que transportan carbón (Ferreira, Viegas, & Sousa, 2003), equivalente a 1,2 g/km-vagón para material particulado¹⁰. Para estimar los valores para MP10 y MP2.5, se utilizan multiplicadores de 0.5 y 0.075 obtenidos del AP-42 para erosión en acopios industriales. Los factores de emisión se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-32: Factores de emisión para fuente móviles fugitivas (gr/km-veh)

Tipo de Camino	Tipo de Vehículo	MP	MP10	MP2.5
Pavimento	Buses	13.6	2.6	0.6
	Camiones Livianos	5.8	1.1	0.3
	Camiones Medianos	9.4	1.8	0.4
	Camiones Pesados	36.3	7.0	1.7
	Motos	0.1	0.0	0.0
	Taxi	1.5	0.3	0.1
	Vehículos Comerciales	1.5	0.3	0.1
	Vehículos Particulares	0.9	0.2	0.0
Tierra	Buses	437.5	144.8	14.5
	Camiones Livianos	498.9	180.2	18.0
	Camiones Medianos	498.9	180.2	18.0
	Camiones Pesados	517.4	191.5	19.1
	Motos	517.4	191.5	19.1
	Taxi	478.7	168.2	16.8
	Vehículos Comerciales	521.8	194.2	19.4
	Vehículos Particulares	517.4	191.5	19.1
Línea Tren	Ferrocarril(*)	188.1	94	14.1

Fuente: Estimación Propia

(*): Se considera que 1 tren tiene 33 vagones

3.4.3 Resultados

En la Tabla 3-33 se aprecia que el gran responsable por levantamiento de polvo en **calles pavimentadas** son los vehículos que recorren la ciudad y no pertenecen a alguna de las grandes

¹⁰ Este valor considera un vagón semicubierto. Se utilizó un factor de 5.7 g/km-vagón para trenes sin control, asumiendo una reducción de 79% con la cubierta.

empresas, alcanzando un total de 6.9 ton/año de MP10, seguidos por CAP alrededor de 2 ton/año. Sin embargo, pesa más el levantamiento de polvo en calles no pavimentadas producto de la circulación de los camiones, específicamente de Guacolda por el transporte de cenizas al vertedero alcanzando un total de 33.4 ton/año de MP10. Al año 2025 las responsabilidades cambian principalmente porque se considera que la entrada de Punta Alcalde producirá un gran levantamiento de polvo nuevamente por el transporte de cenizas al vertedero y otros tipos de transporte (cenizas, personal, etc.) desde Huasco hacia la central.

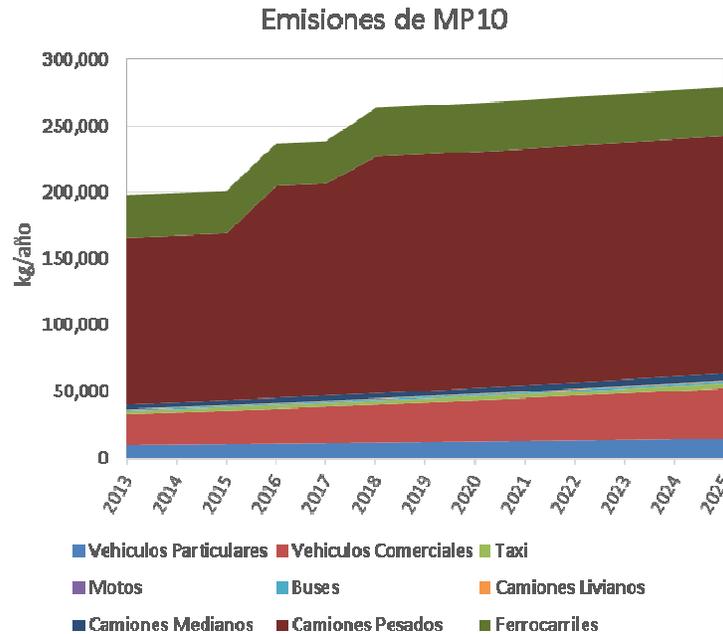
Tabla 3-33: Emisiones fuentes móviles fugitivas (MP10) (ton/año)

Responsable	2013			TOTAL 2013	2020			TOTAL 2020	2025			TOTAL 2025
	Pavimento	Tierra	Línea Tren		Pavimento	Tierra	Línea Tren		Pavimento	Tierra	Línea Tren	
CAP	2.18	2.71	7.90	12.79	6.22	7.71	8.81	22.73	6.22	7.71	10.36	24.29
Guacolda	0.80	32.56	-	33.36	1.00	40.70	0.00	41.70	1.00	40.70	-	41.70
Punta Alcalde	-	-	-	0.00	0.00	66.68	0.00	66.68	-	133.36	-	133.36
Puerto Las Losas	0.13	0.22	-	0.35	0.13	0.22	0.00	0.35	0.13	0.22	-	0.35
Otros	6.88	-	-	6.88	9.01	0.00	0.00	9.01	10.93	0.00	-	10.93
Total	9.99	35.48	7.90	53.37	16.36	115.31	8.81	140.48	18.28	181.99	10.36	210.63

Fuente: Elaboración propia

En los resultados presentados en la Figura 3-8 se observa que el gran responsable de las emisiones fugitivas son camiones pesados y que hay un aumento en el tiempo por la entrada de Punta Alcalde principalmente y aumento de actividad en CAP Minería y Guacolda.

Figura 3-8: Emisiones de MP10 de Fuentes Móviles Fugitivas



Fuente: Elaboración propia

3.5 Inventario Consolidado

Según lo que se observa en el inventario consolidado en la Tabla 3-34, el principal responsable en emisiones de MP10 el año 2013 vendría siendo CAP con sus emisiones de fuentes fijas fugitivas, seguido por las emisiones de fuentes fijas de combustión (chimeneas) de Guacolda y luego CAP.

En relación al NOx y al SOx se aprecia que los responsables de casi el 100% de las emisiones son las fuentes industriales fijas puntuales, específicamente la central termoeléctrica Guacolda, y que las fuentes móviles, si bien aportan una parte, esta no alcanza a ser significativa.

La Tabla 3-36 muestra la responsabilidad en emisiones de cada contaminante al año 2025, y se observa una responsabilidad decreciente para MP10 en el siguiente orden: 1) CAP – Fuentes Fijas de Combustión, 2) Guacolda – Fuentes Fijas de Combustión, 3) CAP – Fuentes Fijas Fugitivas y 4) Punta Alcalde – Fuentes Fijas de Combustión.

Tabla 3-34: Inventario consolidado de emisiones (ton/año)

Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Responsable	2013					2020					2025				
			MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
Fuentes Fijas	Combustión	CAP	271	271	103	38	487	1,446	1,446	547	1,075	1,701	1,446	1,446	547	1,075	1,701
		Guacolda	286	286	108	6,279	25,034	919	919	348	7,535	8,469	919	919	348	7,535	8,469
		Punta Alcalde						317	317	120	2,337	2,337	633	633	240	4,673	4,673
	Fugitivas	CAP	7,848	565	170			10,713	692	220			10,713	692	220		
		Guacolda	131	32	5			147	33	5			147	33	5		
		Puerto Las Losas	19	2.58	0.36			65	9	1			65	8.64	1.25		
	Punta Alcalde						152	20	4			303	41	8			
Fuentes Móviles	Combustión	CAP	0.66	0.66	0.59	26.02	0.01	1.06	1.06	0.95	40.91	0.04	1.06	1.06	0.95	40.91	0.04
		Guacolda	0.11	0.11	0.10	3.83	0.01	0.14	0.14	0.12	4.79	0.02	0.14	0.14	0.12	4.79	0.02
		Otros	0.67	0.67	0.61	21.38	0.16	0.53	0.53	0.48	20.04	0.21	0.43	0.43	0.39	19.47	0.25
		Puerto Las Losas	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.27	0.00
		Punta Alcalde						0.13	0.13	0.12	4.68	0.01	0.27	0.27	0.24	9.36	0.03
	Fugitivas	CAP	32	12	1.81			71	23	4			71	23	3.60		
		Guacolda	92	33	3.45			115	42	4			115	42	4.31		
		Otros	36	6.88	1.66			47	9	2			57	10.93	2.65		
		Puerto Las Losas	1.26	0.35	0.05			1	0	0			1.26	0.35	0.05		
	Punta Alcalde						180	67	7			360	133	13			
Total			8,718	1,210	395	6,369	25,522	14,175	3,579	1,263	11,016	12,507	14,833	3,984	1,394	13,357	14,844

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-35: Inventario consolidado de emisiones – Sustancias Tóxicas (kg/año)

Año	Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Responsable						
				As	V	Hg	Ni	Pb	Cd
2013	Fuentes Fijas	Combustión	CAP	770.1	2.8	25.2	20.4	5.0	4.6
			Guacolda	1,590.8	447.8	33.7	336.5	5.3	4.9
			Punta Alcalde						
	Total 2013		2,360.9	450.6	58.9	356.9	10.3	9.5	
2020	Fuentes Fijas	Combustión	CAP	4,102.1	15.0	134.3	108.8	26.7	24.6
			Guacolda	296.2	717.9	55.0	549.8	17.0	15.6
			Punta Alcalde	898.7	3.3	29.4	23.8	5.8	5.4
	Total 2020		5,297.0	736.1	218.7	682.4	49.5	45.6	
2025	Fuentes Fijas	Combustión	CAP	4,102.1	15.0	134.3	108.8	26.7	24.6
			Guacolda	296.2	717.9	55.0	549.8	17.0	15.6
			Punta Alcalde	1,797.4	6.6	58.8	47.7	11.7	10.8
	Total 2025		6,195.7	739.4	248.1	706.3	55.3	51.0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-36: Distribución de responsabilidad de emisiones por contaminante – Año 2025

Responsable	Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	As	V	Hg	Ni	Pb	Cd
CAP	Fuentes Fijas	Combustión	9.7%	36.3%	39.2%	8.0%	11.5%	66.2%	2.0%	54.1%	15.4%	48.2%	48.2%
		Fugitivas	72.2%	17.4%	15.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Fuentes Móviles	Combustión	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Fugitivas	0.5%	0.6%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
CAP Total			82.5%	54.3%	55.3%	8.4%	11.5%	66.2%	2.0%	54.1%	15.4%	48.2%	48.2%
Guacolda	Fuentes Fijas	Combustión	6.2%	23.1%	24.9%	56.4%	57.1%	4.8%	97.1%	22.2%	77.9%	30.7%	30.7%
		Fugitivas	1.0%	0.8%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Fuentes Móviles	Combustión	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Fugitivas	0.8%	1.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Guacolda Total			8.0%	25.0%	25.7%	56.4%	57.1%	4.8%	97.1%	22.2%	77.9%	30.7%	30.7%
Punta Alcalde	Fuentes Fijas	Combustión	4.3%	15.9%	17.2%	35.0%	31.5%	29.0%	0.9%	23.7%	6.7%	21.1%	21.1%
		Fugitivas	2.0%	1.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Fuentes Móviles	Combustión	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Fugitivas	2.4%	3.3%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Punta Alcalde Total			8.7%	20.3%	18.7%	35.1%	31.5%	29.0%	0.9%	23.7%	6.7%	21.1%	21.1%
Puerto Las Losas	Fuentes Fijas	Fugitivas	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Fuentes Móviles	Combustión	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Fugitivas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Puerto Las Losas Total			0.4%	0.2%	0.1%	0.0%							
Otros	Fuentes Móviles	Combustión	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Fugitivas	0.4%	0.3%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Otros Total			0.4%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%						
Grand Total			100%										

Fuente: Elaboración propia

4. Relaciones de Emisión – Calidad del Aire para MP10

En esta sección se presenta la estimación de las relaciones de emisión – calidad del aire para MP10. Primero se detalla la metodología utilizada. Luego, se muestran resultados visuales y numéricos. Finalmente, se presenta el impacto de las emisiones estimadas anteriormente sobre la calidad del aire de la zona.

4.1 Metodología

La manera en que las emisiones atmosféricas se mueven y dispersan en el aire depende de factores tales como: la meteorología, la topografía y el tipo de emisiones (de chimenea, de caminos o de área) y sus características (continuas o intermitentes).

Para poder estimar adecuadamente el impacto de cada tipo de emisión en una zona dada, es necesario aplicar modelos de dispersión al inventario de emisiones del año base escogido (en este caso, 2013), de manera de simular las fuentes más relevantes en la zona y así ordenarlas de acuerdo a la magnitud de los impactos en calidad del aire. Esto es relevante porque una reducción de MP10 de 1 t/año en una fuente ‘A’ no causa el mismo beneficio (en términos de mejora en la calidad de aire) que si se redujera en la fuente ‘B’. A continuación presentamos la metodología que hemos desarrollado para construir las relaciones emisión-concentración en la zona de Huasco.

4.1.1 Modelación de la meteorología en la zona

Se aplicó la siguiente metodología para generar la información meteorológica en la zona:

- a) Generar una modelación con el modelo numérico de pronóstico WRF, con resolución horizontal de 1 km. El modelo fue configurado con la recomendación propuesta por el Servicio de Evaluación Ambiental, en su Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA.
- b) La zona modelada incluye la zona de Huasco, las industrias existentes y posibles futuros proyectos que ingresen a la zona y que pudieran afectar la zona de Huasco, como es el caso de Punta Alcalde (ver Figura 4-1). La zona se extiende desde el vértice SW con coordenadas UTM 271 km E y 6834 km N hasta el vértice NE con coordenadas 297 km E, 6852 km N, con una extensión E-W de 26 km y una extensión N-S de 18 km.
- c) Se usó además la información de meteorología superficial disponible en la zona para el año 2013 en las siguientes estaciones de monitoreo: EME ME, Punta Mariposa, SM4 y SM8 (ver Figura 4-1).
- d) Se escogió el año 2013 ya que se cuenta con información suficiente para poder construir el inventario de emisiones y para poder comparar los resultados de la modelación de calidad del aire con el monitoreo ambiental en la zona, donde hay 5 estaciones de monitoreo que están con datos de MP10: 21 de Mayo, EME F, EME M, Huasco II y Puerto Las Losas (ver

Figura 4-2); salvo Puerto Las Losas, las restantes estaciones se encuentran en la zona urbana de Huasco.

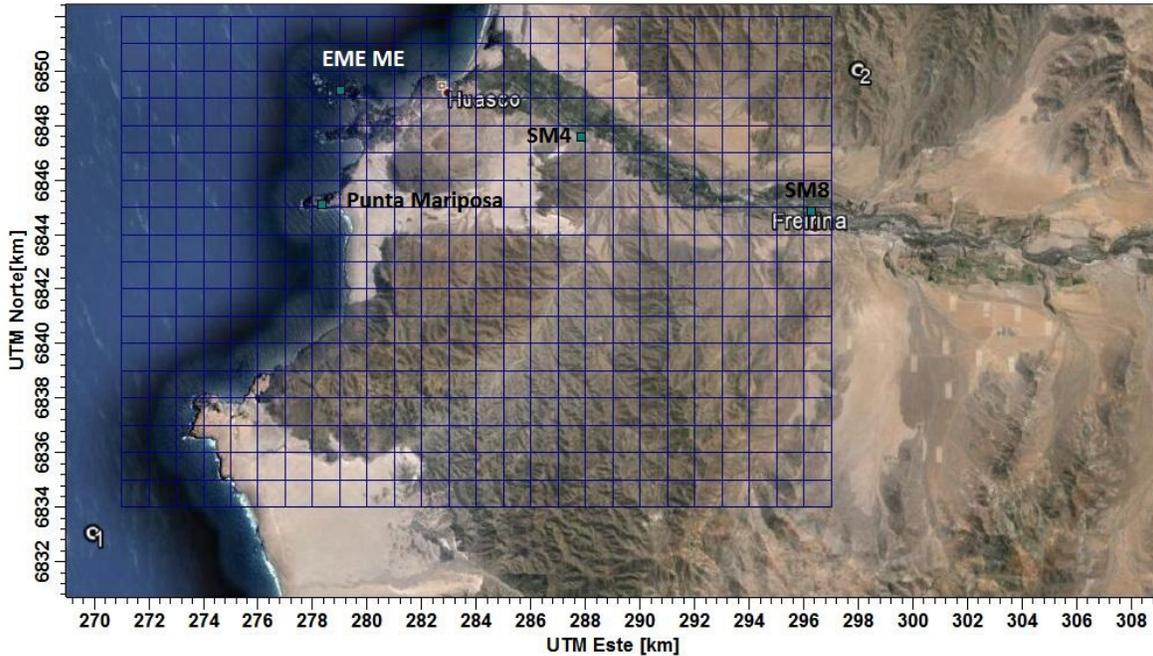


Figura 4-1: Dominio de modelación del modelo WRF para la zona de Huasco. Los cuadrados verdes representan las ubicaciones de las estaciones de monitoreo de meteorología disponibles en el año 2013.



Figura 4-2: Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la zona de Huasco. Se incluye la estación SIVICA MMA, aunque esta no tiene datos para el año 2013.

Los resultados de la modelación meteorológica en altura fueron procesados para ingresarlos al modelo CALMET, procesador meteorológico del modelo de dispersión CALPUFF¹¹.

Se usó como resolución horizontal 1 km, la misma que usa el modelo numérico del tiempo WRF para generar la información meteorológica tridimensional en la zona. Se hicieron dos modelaciones de la meteorología para ingresarlas a CALPUFF:

- a) Se modeló directamente la meteorología a partir de la información generada por el modelo WRF, usando el procesador MMIF para construir directamente el archivo de meteorología CALMET.dat.
- b) Se agregó la información de las cuatro estaciones de meteorología superficial a los resultados del modelo WRF para construir una meteorología empleando el procesador meteorológico CALMET.

4.1.2 Modelación de la dispersión de las emisiones atmosféricas

El modelo CALPUFF (versión 5.8.4) es el que se usó para simular como las distintas fuentes de emisión impactan a la calidad del aire en Huasco. Se usaron las opciones regulatorias de EEUU en todas las simulaciones realizadas con CALPUFF.

La siguiente figura muestra, a manera de ejemplo, como se aprecian las fuentes emisoras industriales y la zona urbana. Los puntos amarillos representan receptores (ver Tabla 4-1) donde se va a calcular los aportes en concentración de MP10 de las distintas fuentes modeladas en el inventario de emisiones para el año de referencia 2013. Por simplicidad, en la figura siguiente no se muestran todas las fuentes emisoras.

¹¹ Modelo preferido por la EPA de EEUU para la estimación de impactos de grandes fuentes industriales, incluyendo MP₁₀, MP_{2.5} y gases (CO, SO₂, NO₂), especialmente a distancias mayores de 5-10 km de las fuentes emisoras.



Figura 4-2: Ejemplo de fuentes emisoras modeladas. Se muestran las canchas de acopio (en azul), los receptores incluidos en la modelación (puntos amarillos), las chimeneas de Guacolda y CMP y la ruta hacia el vertedero de cenizas de Guacolda.

El año 2013 se escogió debido a que es el año más reciente para el cual se logró obtener la mayor cantidad de información posible (emisiones, meteorología, niveles de actividad, entre otros). Para cada fuente de emisión se cuenta con los antecedentes de operación para el año 2013. En el caso de las chimeneas se cuenta adicionalmente con las mediciones continuas para termoeléctrica Guacolda y mediciones discretas (muestreos isocinéticos) en el caso de CMP. En este último caso se usó además la información de operación efectiva el año 2013, en que esas fuentes operaron en total 209 días del año, aspecto que fue considerado explícitamente en la simulación respectiva. Además en el caso de las chimeneas, ellas fueron modeladas en forma grupal (una simulación para todas las chimeneas de Guacolda y otra para las dos de CMP) dada la cercanía entre ellas para cada establecimiento industrial.

Para cada fuente emisora específica, se procedió a modelarla en forma individual, y obteniendo a la salida de cada modelación la concentración anual de MP10 en cada uno de los siguientes receptores considerados en las modelaciones y que se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 4-1. Receptores utilizados en las modelaciones de calidad del aire.

Receptor	UTM E, m	UTM N, m	Descripción
1	281958	6848903	Estación 21 de Mayo
2	282520	6849122	Estación EME-F
3	282774	6848697	Estación EME-M
4	281653	6849248	Estación Huasco II
5	280218	6848417	Estación Puerto Las Losas
6	282686	6848726	Estación SIVICA-MMA
7	281976	6849505	Punto adicional: Huasco norponiente
8	282372	6849469	Punto adicional: Costanera Municipalidad
9	282881	6849248	Punto adicional: Bajada hacia el faro
10	279366	6845292	Estación SM1
11	286430	6849342	Estación SM2
12	286764	6848599	Estación SM3
13	287841	6847571	Estación SM4
14	289917	6847258	Estación SM5
15	291874	6845164	Estación SM6
16	294837	6845843	Estación SM7
17	296289	6844810	Estación SM8

Los primeros seis receptores corresponden a las estaciones de monitoreo de calidad del aire (públicas y privadas) existentes en la zona para verificación de cumplimiento de la normativa primaria de calidad del aire. Las tres siguientes estaciones se ubicaron hacia el borde costero para así cubrir la zona urbana de Huasco de manera más completa. Finalmente, los últimos ocho receptores corresponden a la red de monitoreo de SO₂ de termoeléctrica Guacolda, y están ubicadas para verificar el cumplimiento de la norma secundaria de calidad del aire en la zona agrícola del valle de Huasco.

4.2 Resultados

Se encontró que el modelo CALPUFF con una resolución horizontal de 1km es capaz de representar el proceso de dispersión de las emisiones de MP10 en la zona de Huasco. Se constató que la modelación meteorológica que incluye las cuatro estaciones superficiales se desempeñó mejor para representar los impactos en calidad del aire asociados a las emisiones a baja altura de MP10, principalmente emisiones fugitivas. Por otra parte, la modelación que incluye solamente la meteorología de WRF se desempeñó mejor para modelar la dispersión de las emisiones de las chimeneas (emisiones en altura).

El siguiente gráfico resume los resultados obtenidos en las cinco estaciones de monitoreo de MP10 disponibles para el año 2013. En la figura se ha incluido: a) una estimación del material particulado secundarios (sulfatos + nitratos) como aporte antropogénico que el modelo no ha sido capaz de representar adecuadamente, y b) una estimación de la concentración basal de MP10 en

la zona. Se aprecia que el modelo subestima los niveles de concentración de MP10 en las estaciones de monitoreo; además, como las concentraciones anuales de MP10 observadas varían entre las estaciones, esto produce diferentes valores estimados de concentraciones basales¹². En todos los casos, excepto la estación Puerto Las Losas, el modelo subestima la concentración de MP10 en base a las fuentes modeladas.

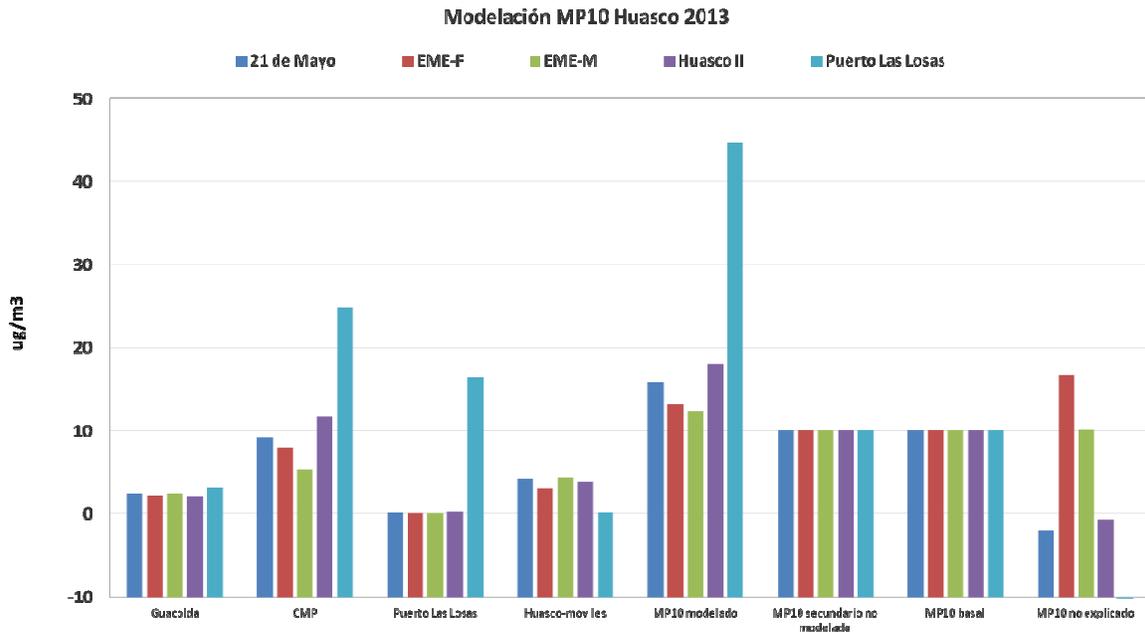


Figura 4-3. Desempeño del modelo CALPUFF para el año 2013 en Huasco.

Para entender las diferencias entre el modelo y las observaciones de MP10, hay que considerar las siguientes fuentes de error:

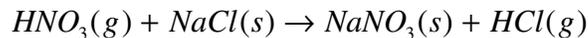
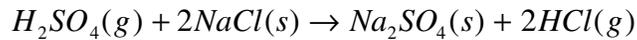
- vi) Incertidumbres en las estimaciones de emisiones desde las distintas fuentes emisoras, ya que normalmente se asume un patrón de emisiones fijo, salvo cuando se conoce que hubo periodos de inactividad, lo cual es el caso de CMP el año 2013, en donde el proceso térmico no operó los 365 días del año, sino en 209 de ellos.
- vii) Incertidumbres en el modelo de dispersión asociados a la meteorología modelada e ingresada posteriormente a CALPUFF.
- viii) Incertidumbres en la forma en que el modelo CALPUFF simula la generación de material particulado secundario (nitratos y sulfatos)¹³.
- ix) Incertidumbre en los parámetros que usa el modelo para estimar la velocidad de depositación del MP10 al suelo, los parámetros de las propiedades del suelo, etc.

¹² Más adelante se profundiza en este aspecto de la heterogeneidad de las observaciones de MP10 en Huasco.

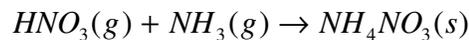
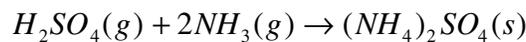
¹³ La única información disponible de mediciones de sulfatos y nitratos corresponde al estudio CENMA 2006.

- x) Incertidumbre asociado a los niveles basales (naturales) de MP10, como por ejemplo el aerosol marino y el polvo superficial levantado por el viento.¹⁴

De las incertidumbres arriba mencionadas, la mayor limitación del modelo CALPUFF está en cómo modelar la generación de material particulado secundario (sulfatos, nitratos) en la zona costera de Huasco, donde la presencia de aerosol marino (NaCl principalmente) causa las siguientes reacciones de neutralización:



El modelo CALPUFF no incorpora en sus algoritmos la posibilidad de modelar estos procesos de neutralización; CALPUFF solo considera la neutralización de los gases ácidos con amoníaco, de acuerdo a las siguientes reacciones:



Los valores de concentración de sulfatos y nitratos modelados por CALPUFF son menores a los históricamente medidos en la zona. Así por ejemplo, en el estudio de CENMA del año 2005 se midieron concentraciones de sulfatos y nitratos de alrededor de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio en ambas estaciones de monitoreo de Guacolda (EME F y EME M). En las modelaciones del año 2013 las concentraciones de sulfatos y nitratos modeladas son de aproximadamente $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en esas dos estaciones de monitoreo de Huasco. Si se sumara a la modelación una contribución secundaria de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración de MP10 no explicada sería de aproximadamente $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$; en la campaña de CENMA 2005 el valor estimado para el aerosol marino (NaCl) es de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si asumimos que ese nivel medido el año 2005 es el mismo del año 2013, entonces solo hay en promedio de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no se pueden explicar.

Una posibilidad para explicar esa concentración remanente sería que el modelo CALPUFF subestima los aportes antropogénicos primarios en esa cantidad¹⁵. Dada la cantidad de supuestos que se tienen que hacer para explicar el desempeño del modelo, preferimos mantener los resultados de la figura anterior y hacemos una estimación conservadora de los beneficios en calidad del aire asociados a reducir emisiones de MP10 en el complejo industrial.

¹⁴ Idem nota al pie de página anterior, las únicas mediciones disponibles son las del estudio de CENMA 2006.

¹⁵ Por ejemplo, que el inventario de emisiones fugitivas esté subestimado, y así se estén subestimando las concentraciones de MP10 en la zona urbana.

4.2.1 Aportes al MP10 por tipo de fuente.

En esta sección presentamos los resultados de la modelación de dispersión del MP10 para las principales fuentes emisoras de Guacolda y de CMP, respectivamente, con el fin de apreciar los aportes individuales de ellas.

En el caso de Guacolda los mayores aportes se deben a la operación de las chimeneas, seguido por las emisiones fugitivas del camino de acceso al vertedero de cenizas. En el caso de CMP, los mayores aportes están dados por las canchas de acopio de material, seguido por el paso del ferrocarril y las chimeneas (especialmente la chimenea 2B)¹⁶.

Aportes al MP10 por emisiones de Guacolda

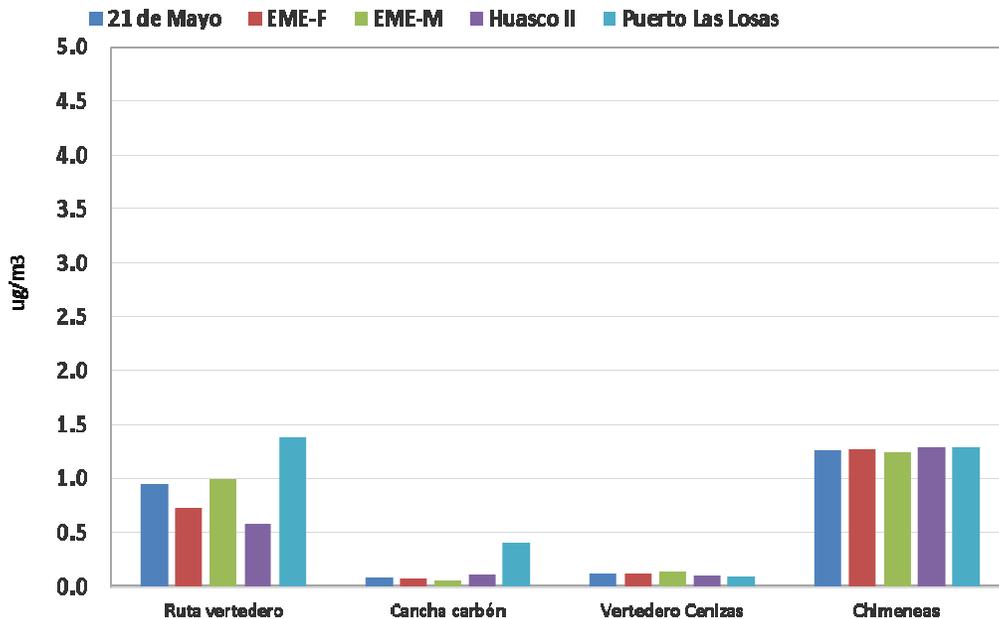


Figura 4-4 Principales aportes de Guacolda a las concentraciones anuales de MP10 en Huasco, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

¹⁶ Notar que las escalas de la Figura 4 4 y Figura 4 5 son diferentes.

Aportes al MP10 por emisiones de CAP

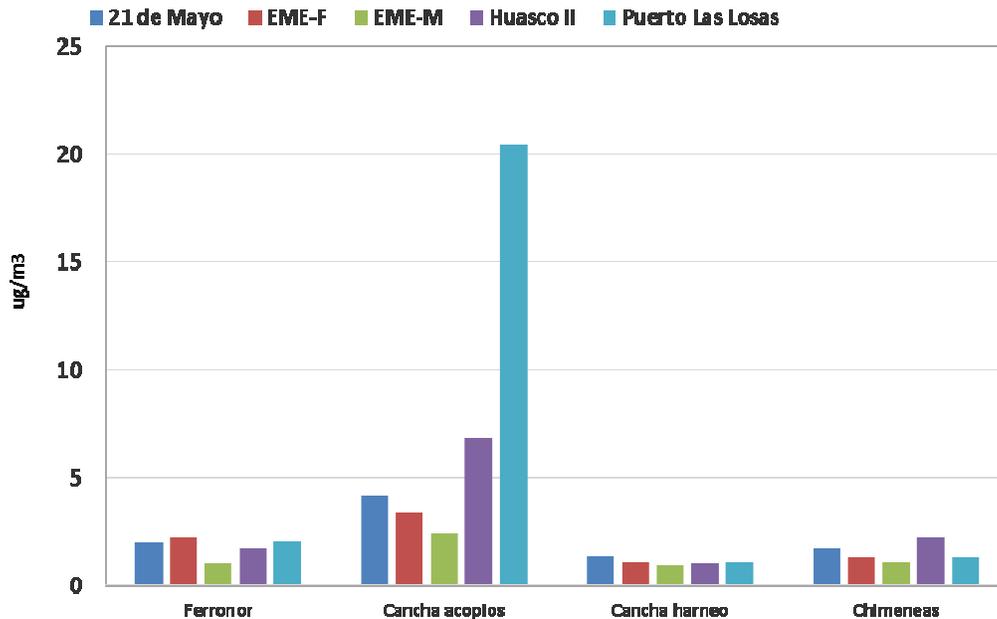


Figura 4-5 Principales aportes de CMP a las concentraciones anuales de MP10 en Huasco, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.2 Máximos aportes diarios al MP10 en Huasco

Las siguientes figuras muestran las modelaciones de calidad del aire realizadas para el año base 2013, usando el modelo de dispersión CALPUFF (versión 5.8.4, regulatoria de la EPA de EEUU). En todas ellas (Figura 4-6 a Figura 4-24) se representa el máximo promedio diario del MP10 modelado para cada fuente considerada. El mapa de dispersión se superpone al mapa de la zona más cercana a Huasco, a fin de poder visualizar más fácilmente la distribución espacial de los impactos asociados a cada fuente modelada. Los símbolos '+' de color azul corresponden a los receptores definidos en la Tabla 4-1.

Notar que la escala de colores es relativa a cada figura, es decir, las escalas de concentraciones son distintas en cada figura.

Se puede apreciar que las emisiones fugitivas causan impactos que son altos cerca de ellas, pero que van disminuyendo con la distancia a la fuente emisora. Las emisiones de chimeneas producen una menor variabilidad espacial de los resultados, con valores máximos orientados hacia donde sopla el viento de manera más frecuente.

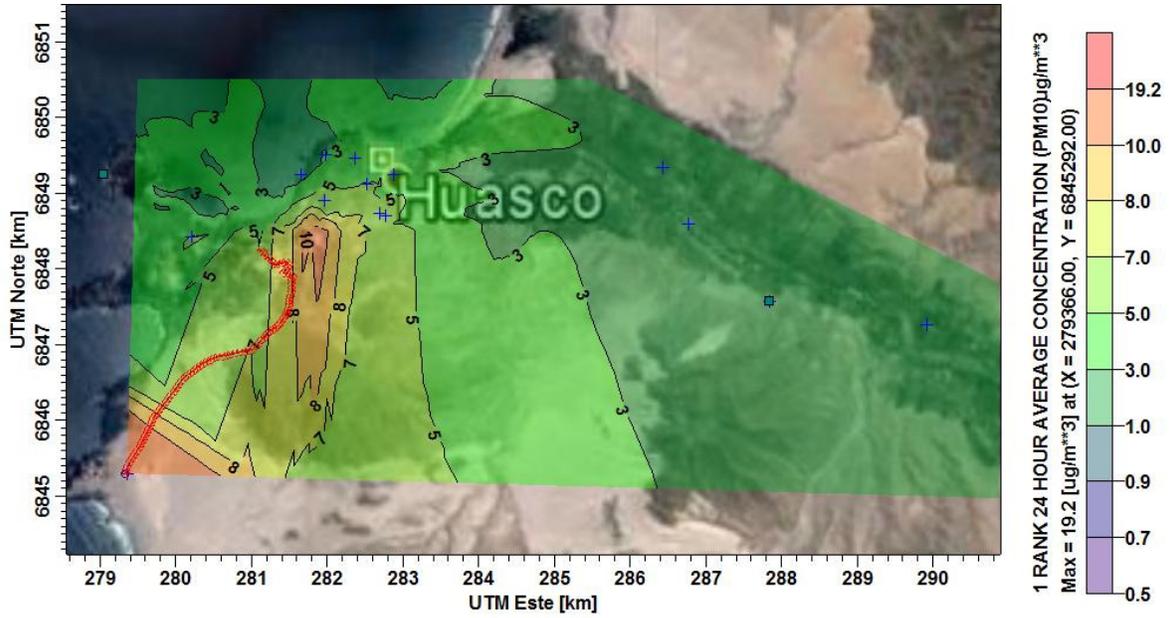


Figura 4-6: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones fugitivas por resuspensión de polvo del camino no pavimentado desde Guacolda hacia el vertedero de cenizas.

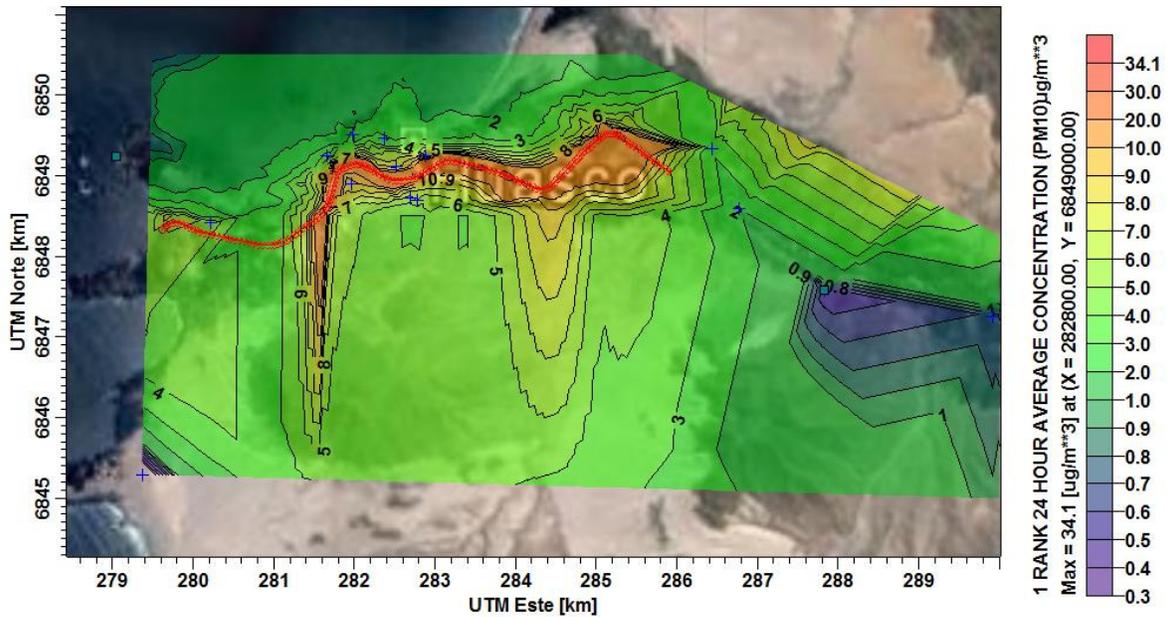


Figura 4-7: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de la línea férrea que lleva concentrado a CMP.

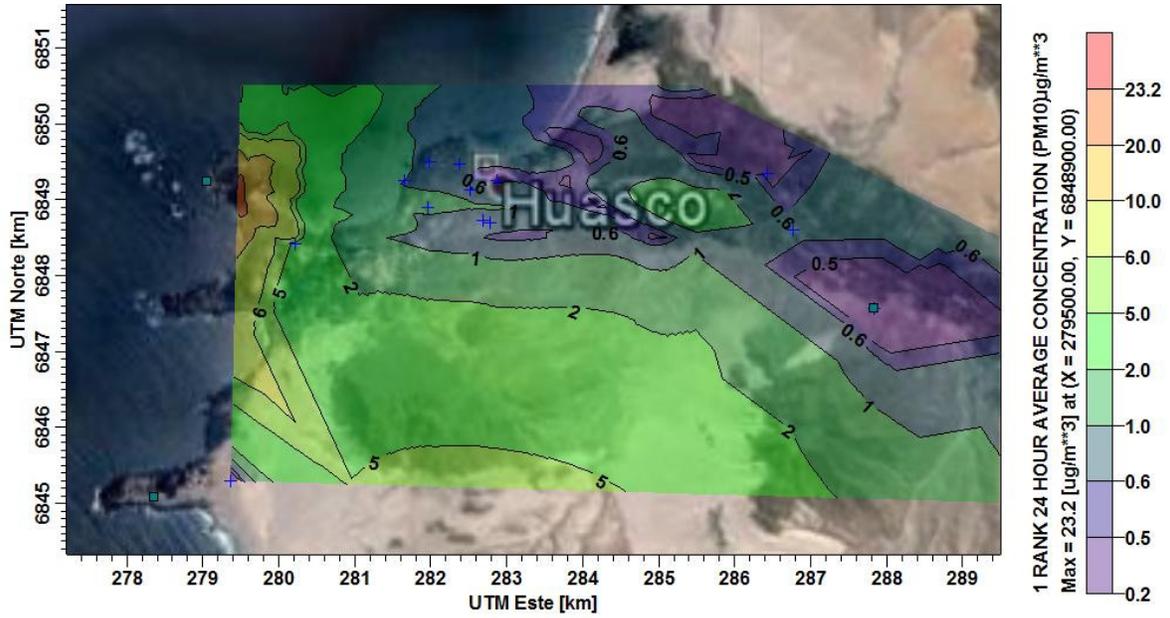


Figura 4-8: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de carbón de Guacolda, considerando solamente operaciones de carga y descarga de carbón.

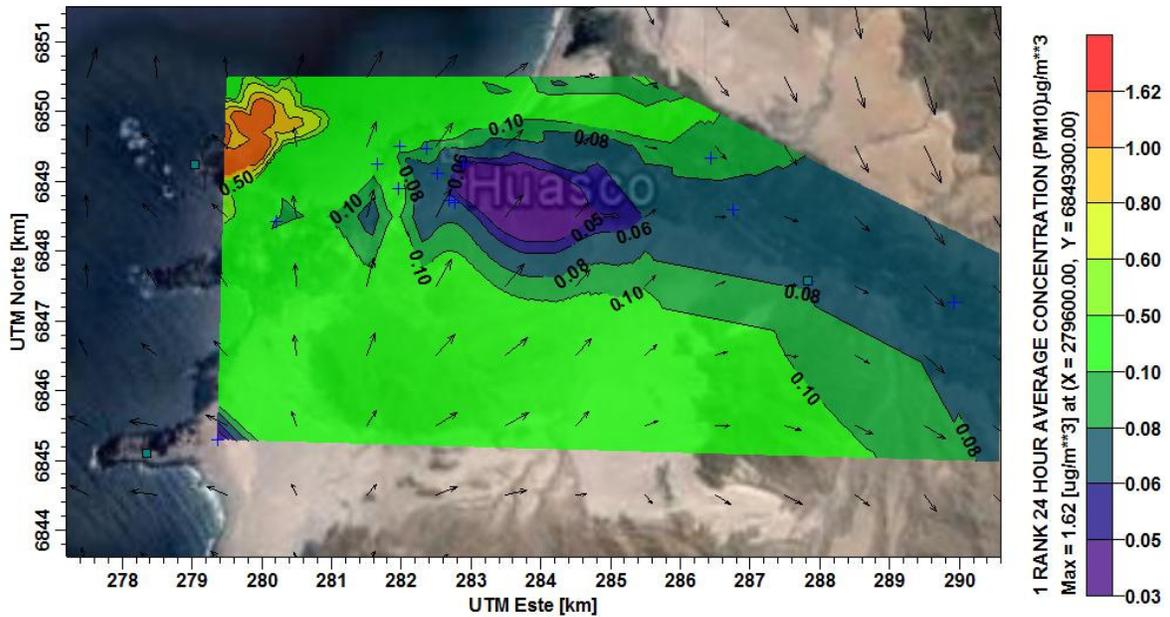


Figura 4-9: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de carbón de Guacolda, considerando solamente erosión eólica de las pilas de acopio.

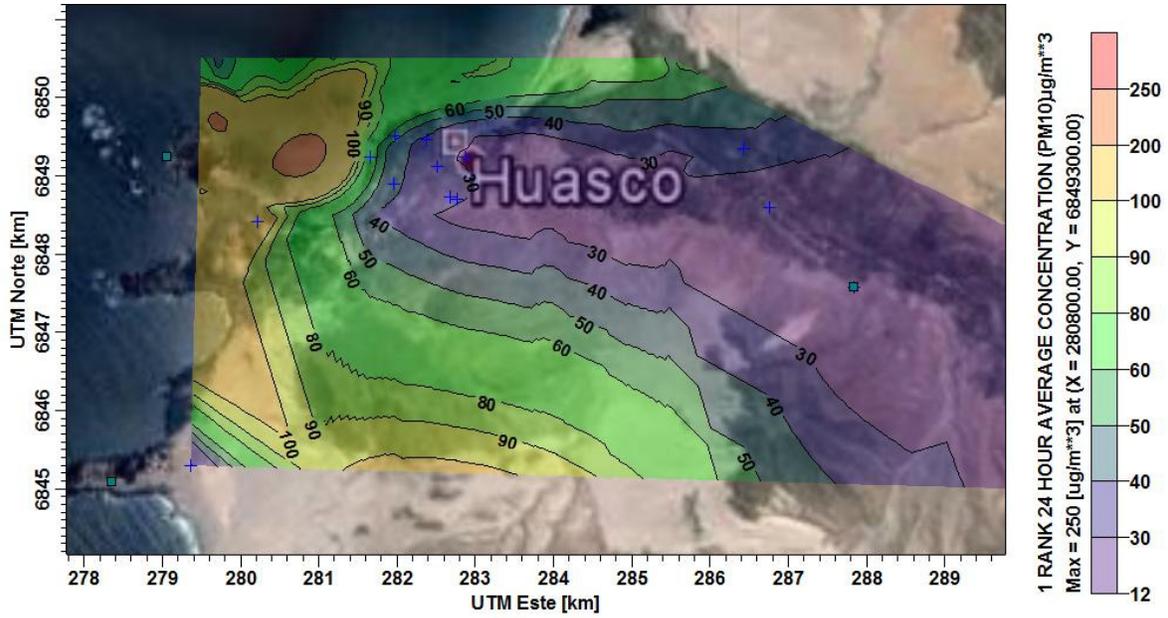


Figura 4-10: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de concentrado, pellets y granza de CMP, considerando solamente operaciones de carga y descarga de materiales.

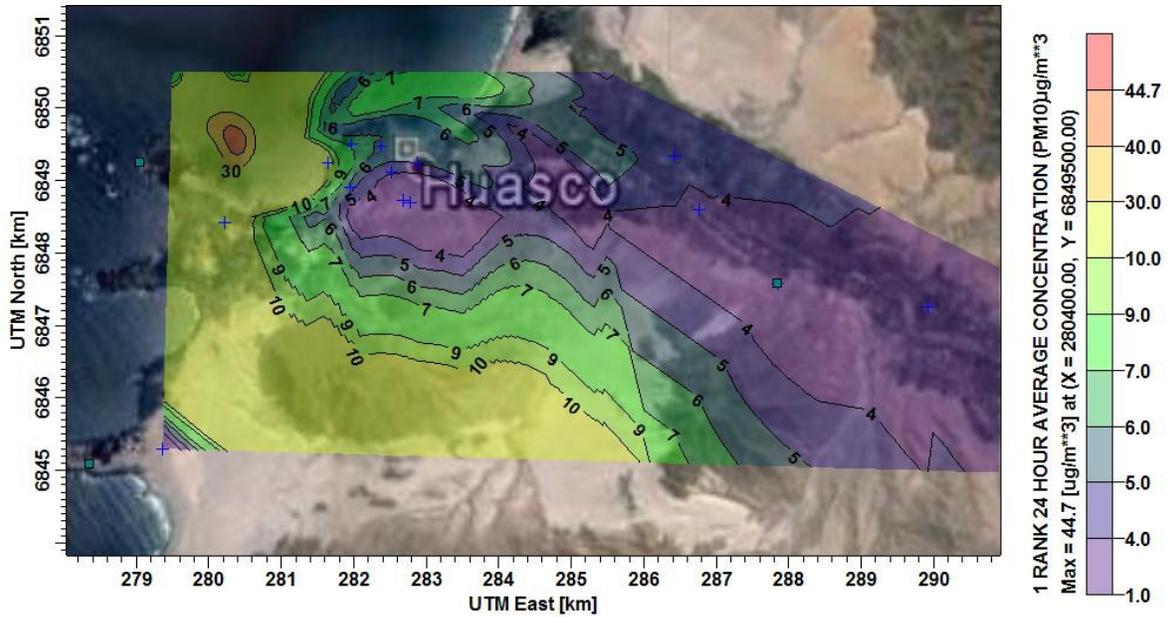


Figura 4-11: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de la cancha de acopio de concentrado, pellets y granza de CMP, considerando solamente la erosión eólica.

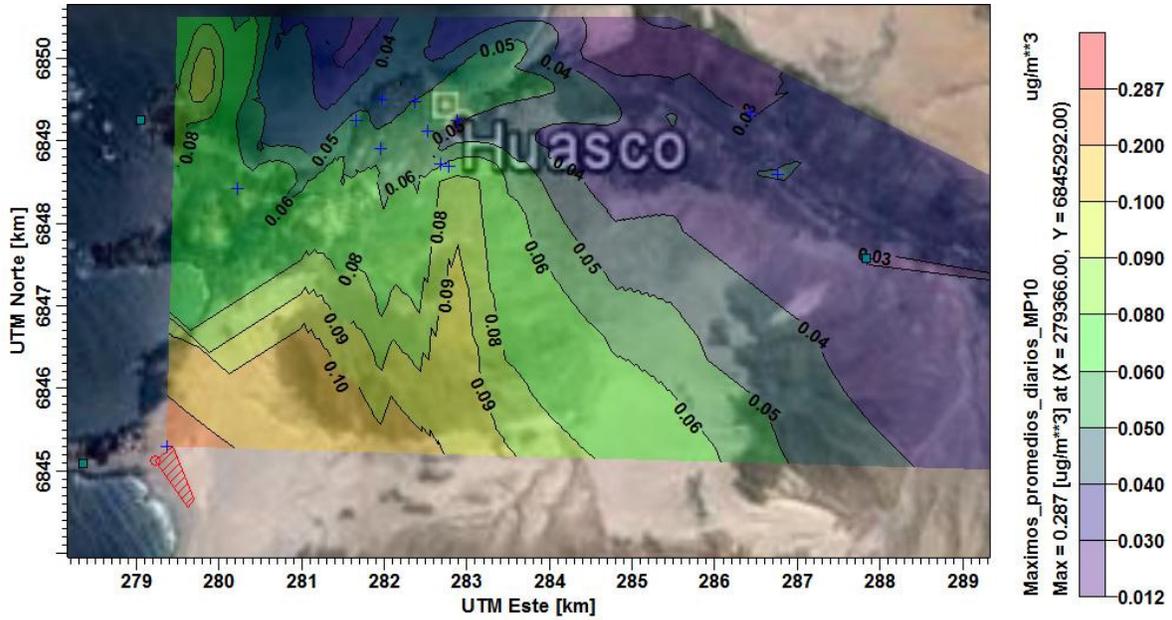


Figura 4-12: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m³) asociados a las emisiones fugitivas por operaciones de carga y descarga en el vertedero de cenizas de Guacolda.

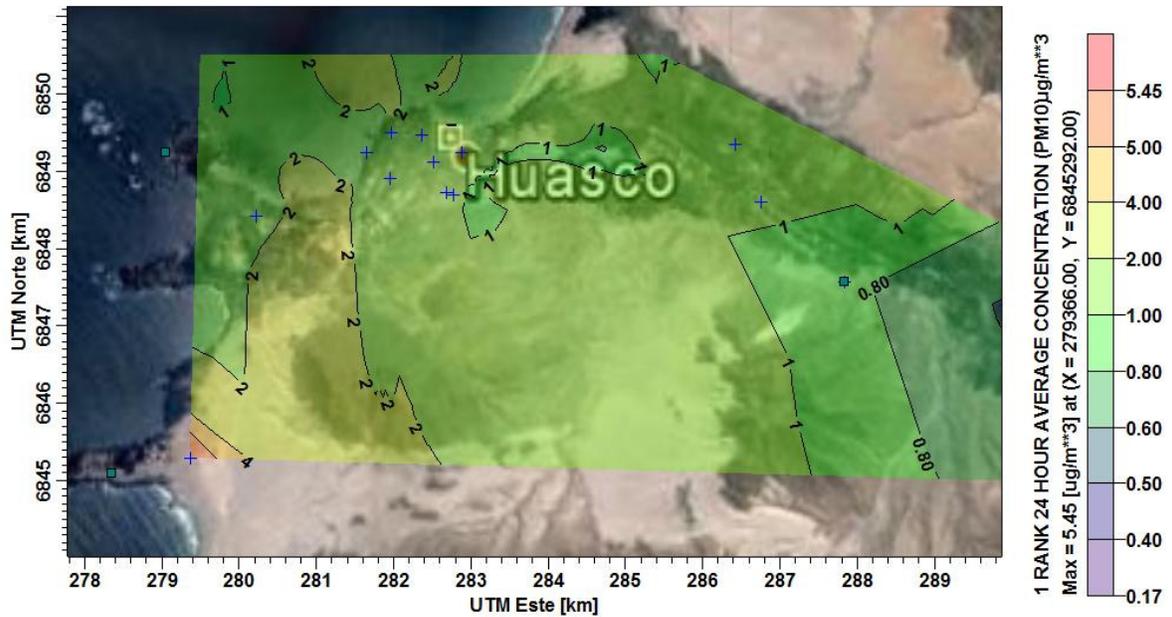


Figura 4-13: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m³) asociados a las emisiones fugitivas por erosión eólica en el vertedero de cenizas de Guacolda.

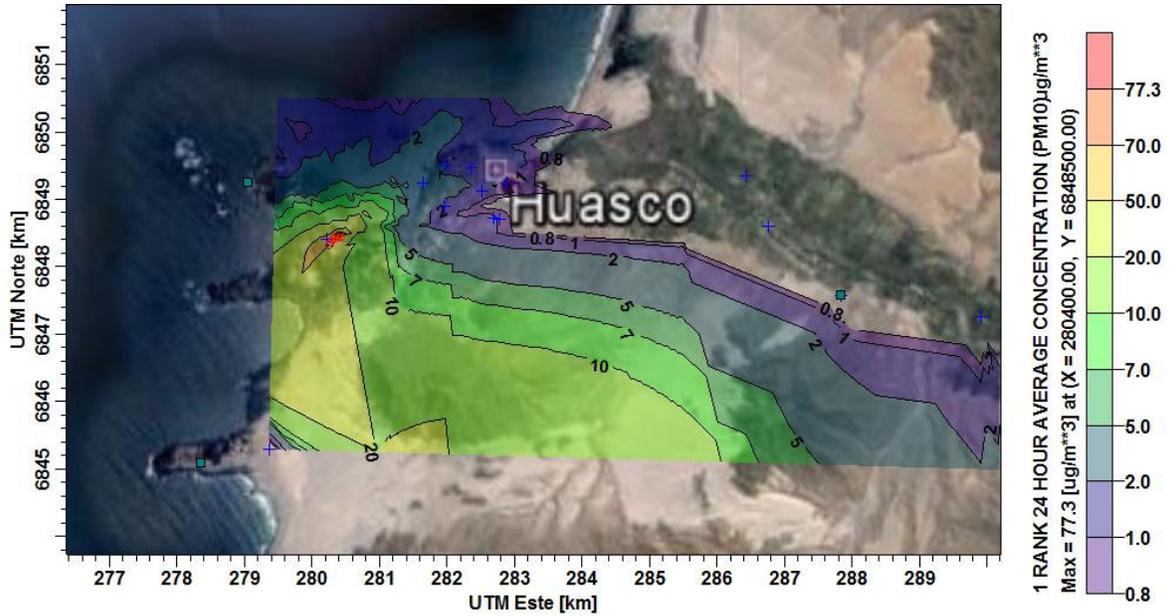


Figura 4-14: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones fugitivas por resuspensión de polvo en el camino de acceso a Puerto Las Losas.

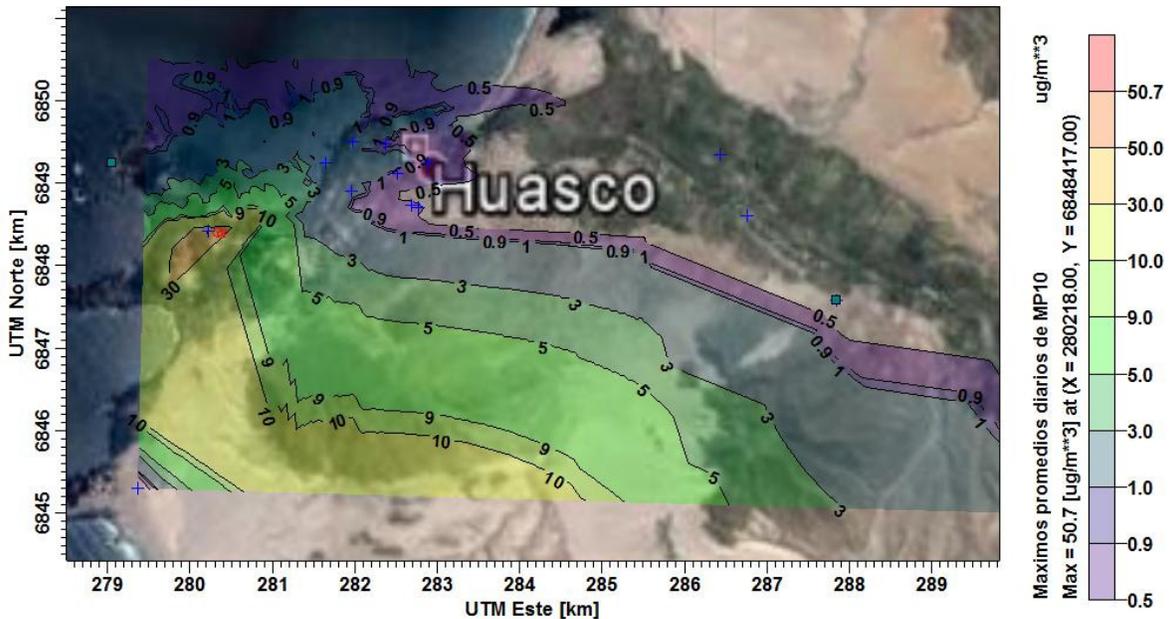


Figura 4-15: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones fugitivas por operaciones de carga y descarga en cancha de acopio de Puerto Las Losas.

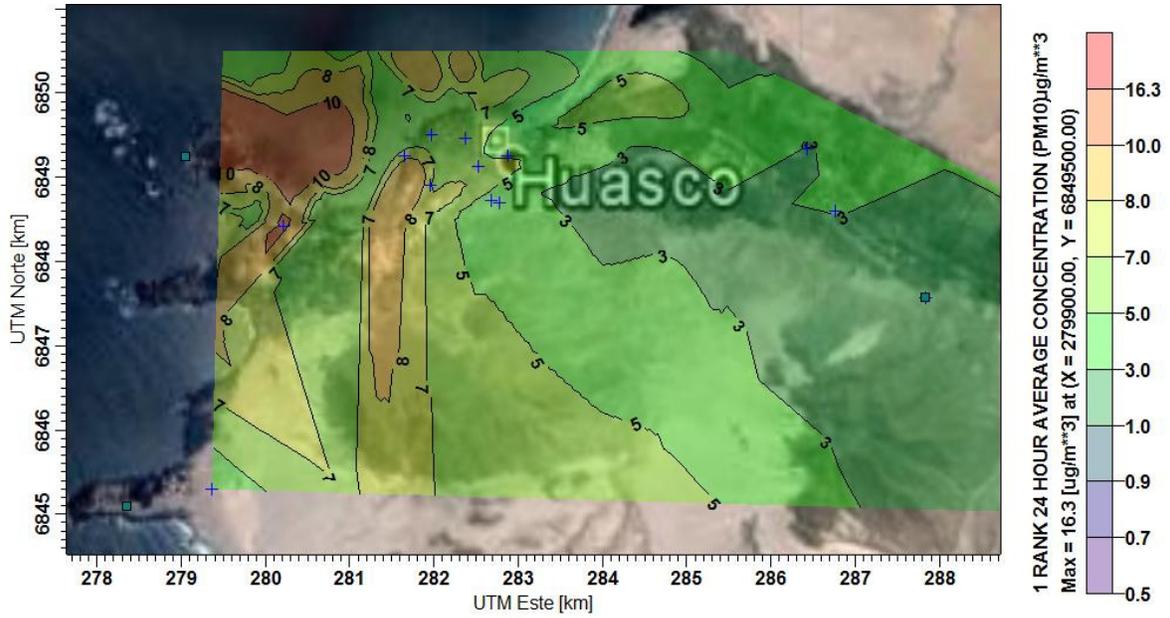


Figura 4-16: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones fugitivas por operaciones de carga y descarga en cancha de re-harneo de CMP.

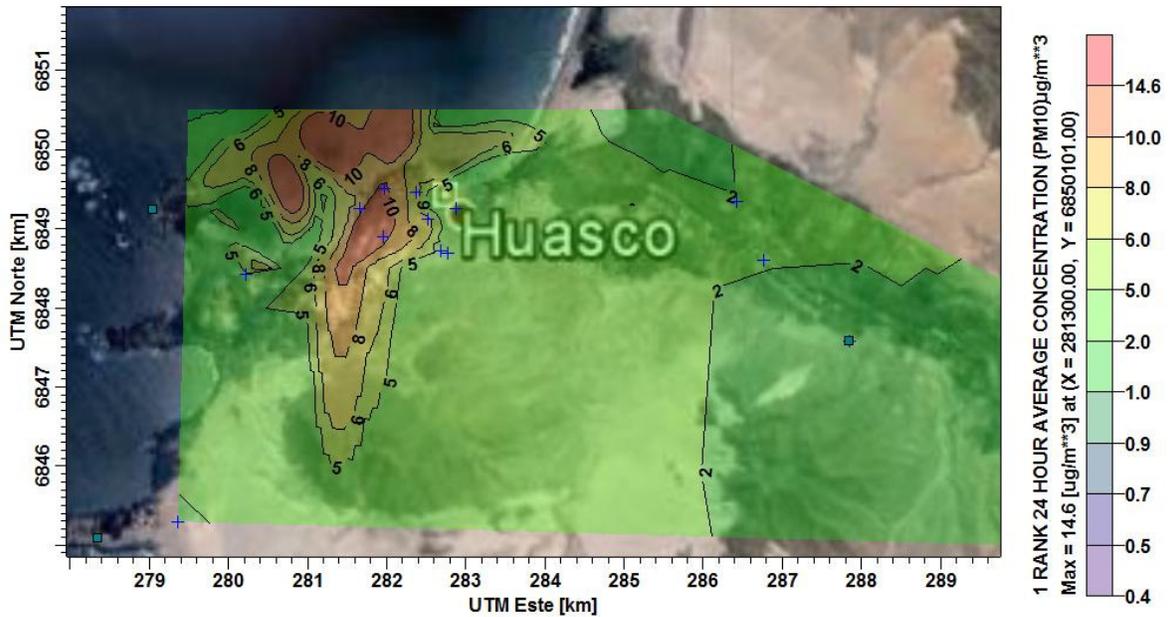


Figura 4-17: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a las emisiones fugitivas por erosión eólica en cancha de re-harneo de CMP.

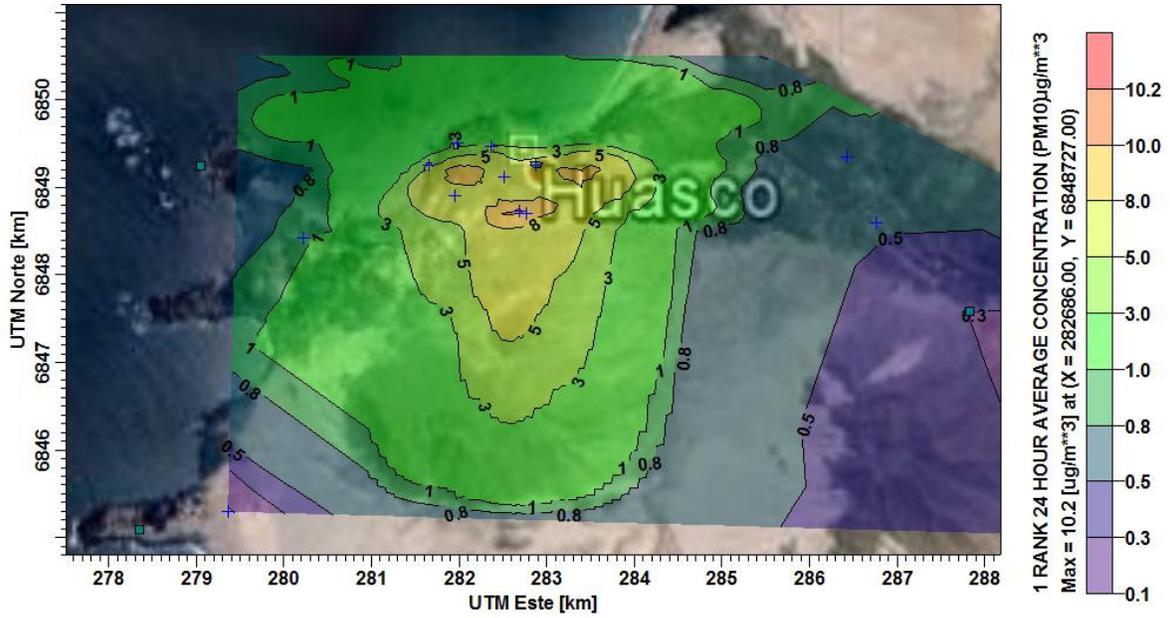


Figura 4-18: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de MP10 del transporte en la ciudad de Huasco.

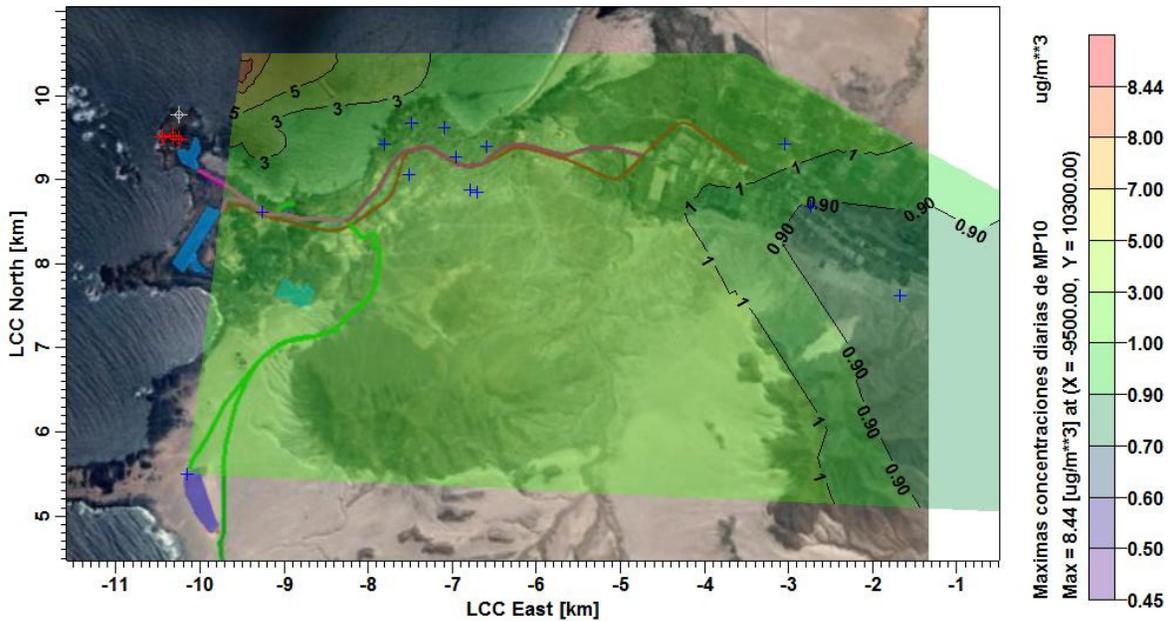


Figura 4-19: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de MP10 de las chimeneas de las unidades generadoras 1, 2, 3 y 4 de Guacolda.

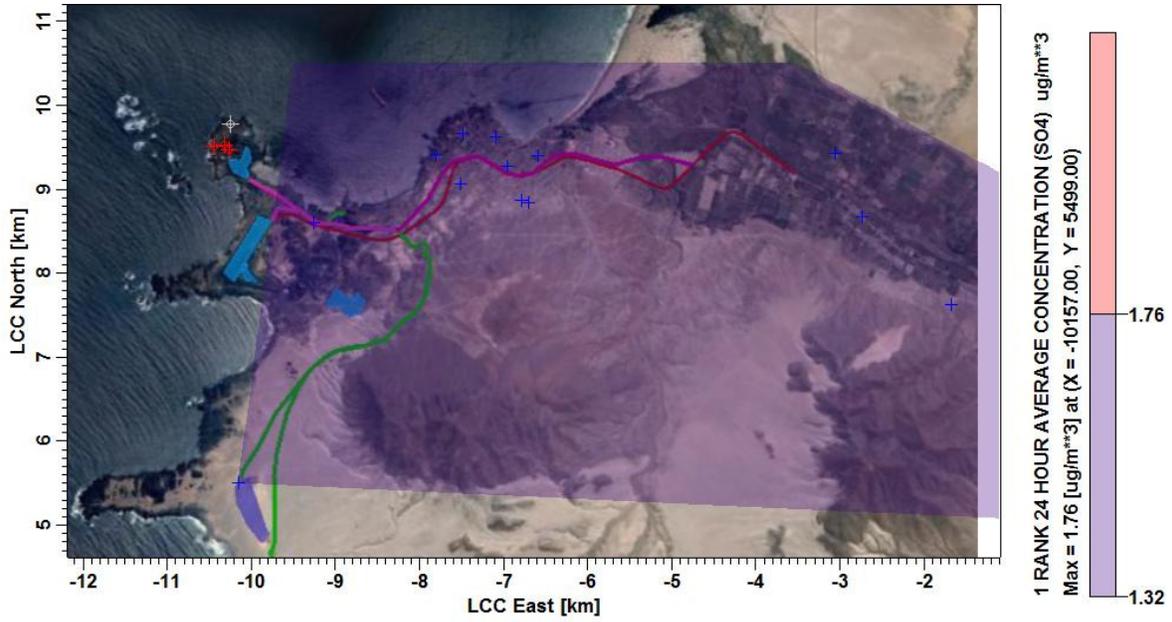


Figura 4-20: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a la generación de sulfatos a partir de las emisiones de SO2 de las chimeneas de las unidades generadoras 1, 2, 3 y 4 de Guacolda.

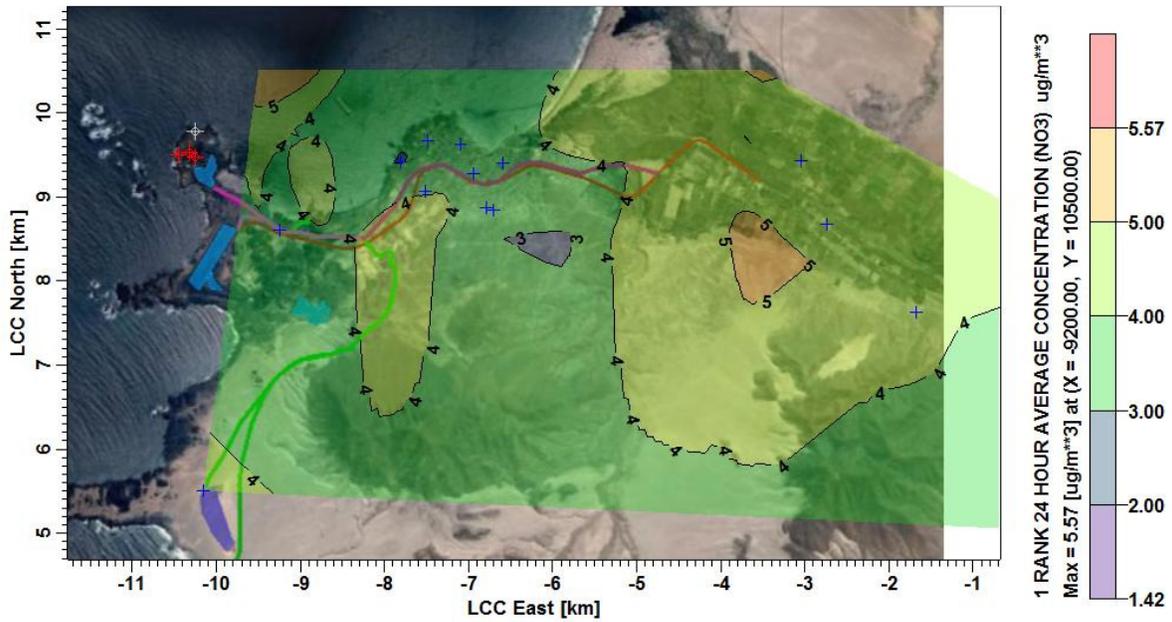


Figura 4-21: Máximos promedios diarios de MP10 (ug/m3) asociados a la generación de nitratos a partir de las emisiones de NOx de las chimeneas de las unidades generadoras 1, 2, 3 y 4 de Guacolda.

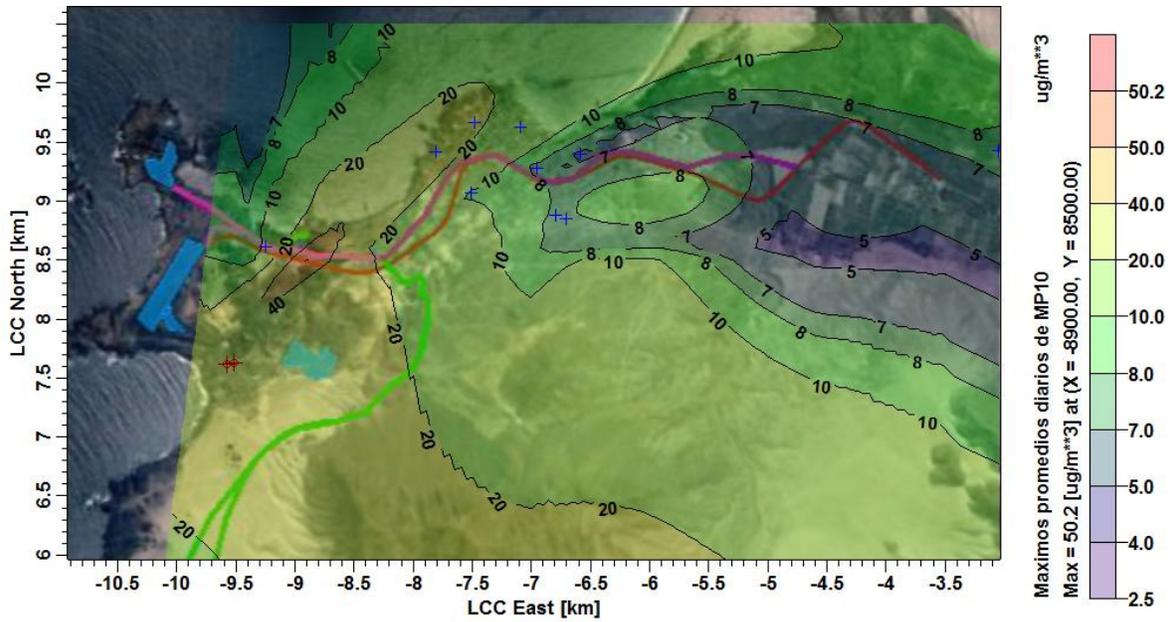


Figura 4-22: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a las emisiones de MP10 de las chimeneas 2A y 2B de CMP.

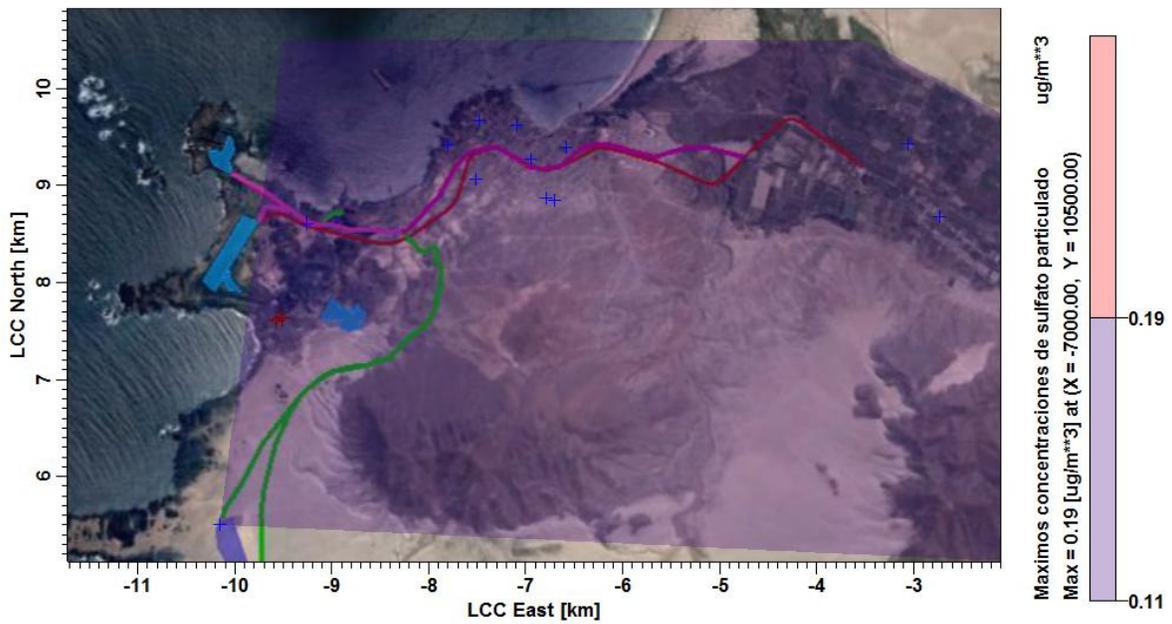


Figura 4-23: Máximos promedios diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociados a la generación de sulfatos a partir de las emisiones de SO_2 de las chimeneas 2A y 2B de CMP.

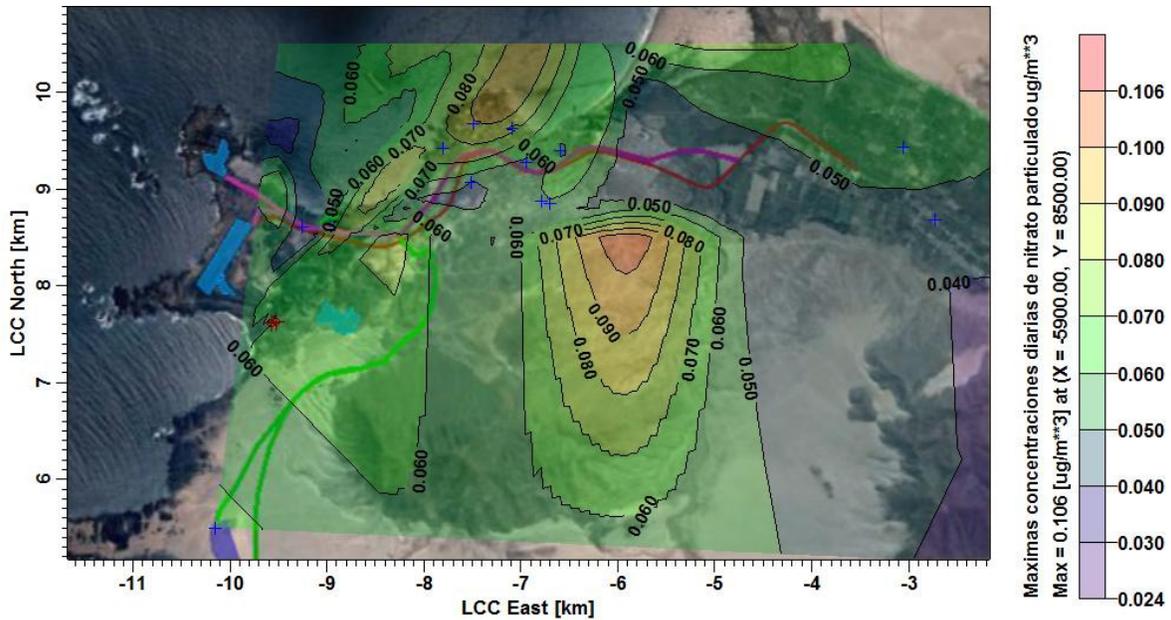


Figura 4-24: Máximos promedios diarios de MP₁₀ (ug/m³) asociados a la generación de nitratos a partir de las emisiones de NO_x de las chimeneas 2A y 2B de CMP.

4.2.3 Evaluación del desempeño del modelo de dispersión en la zona de Huasco, para los promedios diarios de MP₁₀.

Se combinaron los aportes de las 15 fuentes más importantes, descritas en la sección anterior, para generar una línea de tiempo de las concentraciones diarias simuladas por el modelo CALPUFF, las que se grafican junto con las observaciones diarias medidas en las cinco estaciones de monitoreo con datos: 21 de Mayo, EME F, EME M, Huasco II y Puerto Las Losas. Cabe hacer notar que, a excepción de la estación 21 de Mayo, todas las demás miden MP₁₀ cada 3 días en filtros, por lo que las comparaciones son parciales.

La siguiente figura muestra el desempeño del modelo de dispersión para la estación 21 de Mayo. Se aprecia que el modelo simula valores de MP₁₀ que son menores a los valores medidos en esa estación. El promedio anual observado es de 33,9 (µg/m³) mientras que el modelado es de 15,8 (µg/m³). La diferencia promedio es de 18,1 (µg/m³), la que se atribuye a aporte natural (nivel basal de MP₁₀ en la zona, principalmente aerosol marino, NaCl) más el aporte de material particulado secundario (sulfatos y nitratos) generados por la oxidación de las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno del complejo industrial y que el modelo subestima notoriamente: el modelo estima un aporte de sulfatos y nitratos de 1 (µg/m³), muy inferior a lo medido en la zona. Usando los datos de composición química medida en el estudio de Calidad del Aire en Huasco realizado por CENMA 2005-2006, el valor de aporte natural (NaCl) era de alrededor de 11 (µg/m³), mientras que el de sulfatos y nitratos era de aproximadamente 11 (µg/m³); estos valores representan el

promedio de mediciones hechas en las estaciones EME M y EME F en los meses de octubre y noviembre 2015.

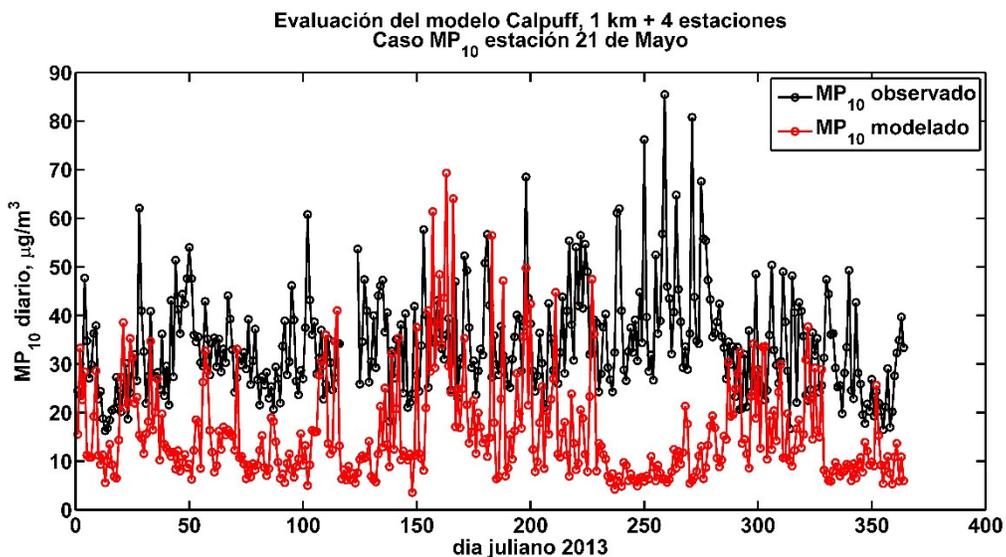


Figura 4-25 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación 21 de Mayo, año 2013.

La siguiente figura muestra el mismo tipo de comparación, pero ahora para la estación EME F. Esta vez se aprecia que el modelo subestima sistemáticamente a las concentraciones observadas; en promedio anual el modelo predice 13,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que lo observado es 51,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los mayores valores modelados son de 55 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los máximos observados son de 140 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). La discrepancia es de 38 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mayor a la que se presenta en la estación 21 de Mayo.

Una manera de entender la mayor discrepancia entre lo modelado y lo observado (con respecto al caso de la estación 21 de Mayo) es que la estación EME F se encuentra ubicada en el Cuerpo de Bomberos de Huasco, al borde de una calle con tránsito. Esto quiere decir que dicha estación puede estar más impactada por emisiones fugitivas de MP₁₀ provenientes del transporte que la estación 21 de Mayo. Como no hay información detallada sobre los niveles de tráfico en las vías de Huasco, no es posible generar un inventario de emisiones del transporte en Huasco que contenga dicha variabilidad espacial. En otras palabras, dada la falta de información detallada, hemos modelado las emisiones del transporte como fuentes de área con emisión uniforme en toda la zona urbana. Esto se puede considerar como una deficiencia del modelo de dispersión ya que no estima la variabilidad espacial de las emisiones del transporte. La diferencia que se constata entre las mediciones anuales de MP₁₀ entre las cuatro estaciones urbanas puede atribuirse en gran parte a la variabilidad espacial de las emisiones del transporte en Huasco, ya que las concentraciones de aportes naturales (aerosol marino) y de PM secundario tienden a distribuirse más homogéneamente sobre la zona costera.

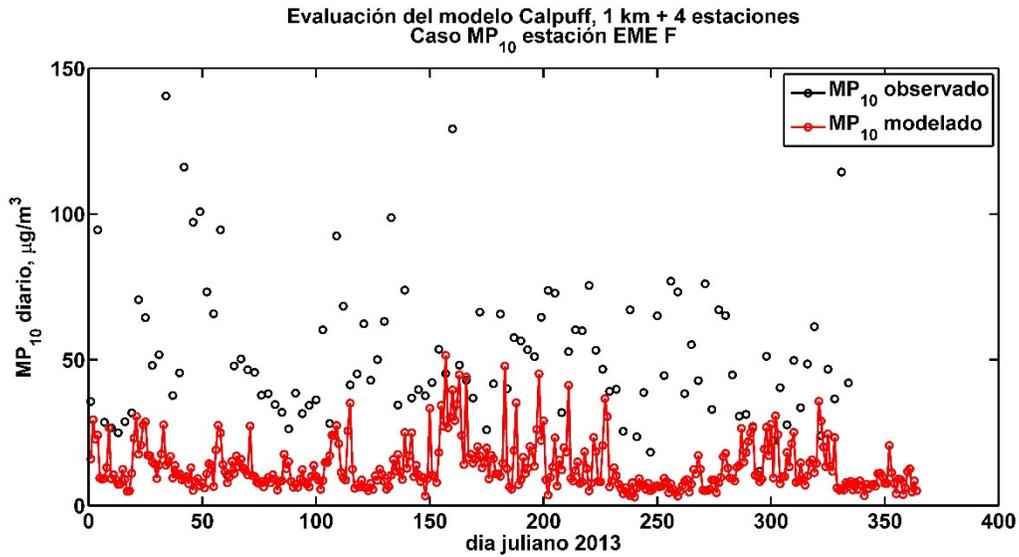


Figura 4-26 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación EME F, año 2013.

La siguiente figura compara la modelación con la observación en la estación de monitoreo EME M. Se aprecia que nuevamente el modelo subestima las concentraciones observadas en esa estación. El modelo predice un promedio anual de 12 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) versus un promedio observado de 42,9 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta vez la discrepancia alcanza a 30,9 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

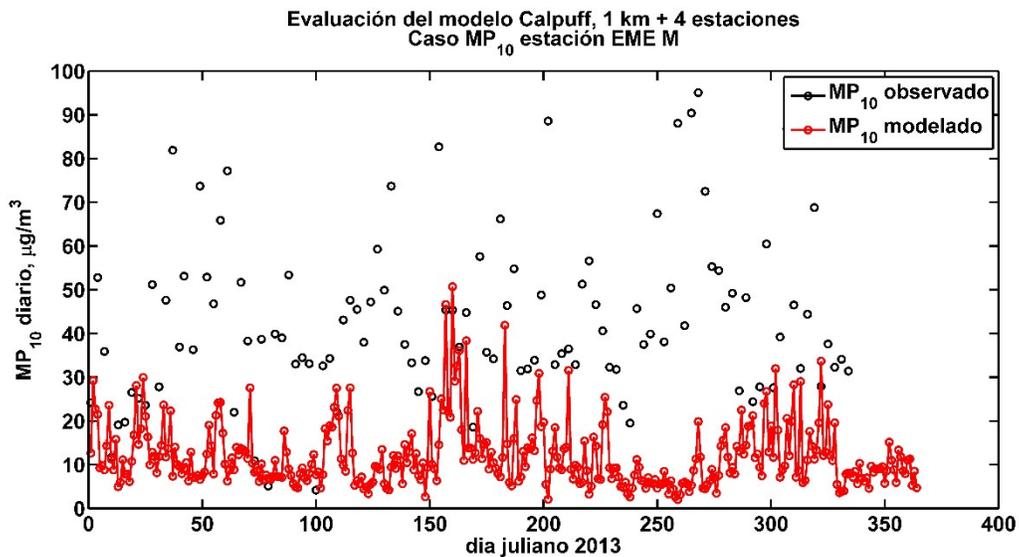


Figura 4-27 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación EME M, año 2013.

Esa mayor diferencia se puede explicar en parte por el hecho que las emisiones urbanas se han asumido uniformes en la zona urbana, lo cual es una simplificación por falta de información detallada; es decir, la situación es similar a lo que pasa con la evaluación del modelo en la estación EME F.

La siguiente figura muestra las comparaciones entre lo modelado y lo observado en la estación Huasco II. Nuevamente el modelo subestima las concentraciones observadas: el modelo predice un promedio anual de 18,2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) versus un promedio observado de 38,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta vez la discrepancia es de 19,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y se puede explicar considerando un aporte natural del océano más una generación de material particulado secundario.

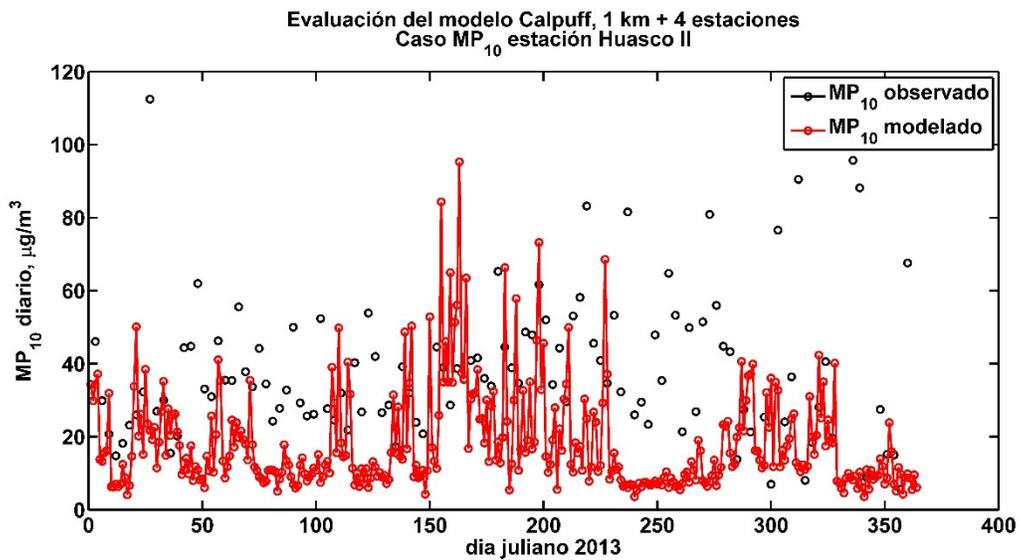


Figura 4-28 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación Huasco II, año 2013.

La siguiente figura muestra el desempeño del modelo para el caso del monitor de Puerto Las Losas. El modelo sobrestima las concentraciones, ya que el promedio anual modelado es de 44,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el promedio observado es de 44,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Este comportamiento del modelo sugiere que las emisiones de la actividad del puerto Las Losas están sobrestimadas, en particular aquellas asociadas al camino de acceso (no pavimentado) a las instalaciones portuarias.

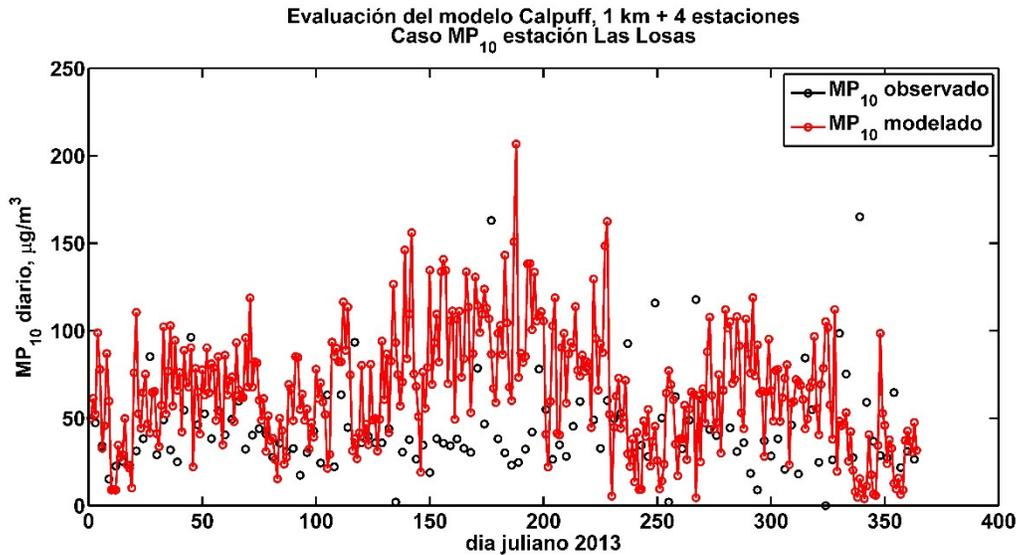


Figura 4-29 Comparación de las concentraciones diarias de MP10 modeladas por CALPUFF con las observaciones diarias de MP10 en la estación Puerto Las Losas, año 2013.

En resumen, el análisis de las concentraciones modeladas con CALPUFF nos indica que el desempeño del modelo de dispersión es aceptable para el caso de las emisiones fugitivas antropogénicas. El modelo predice 14,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el promedio observado es de 41,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), considerando en ambos casos las cuatro estaciones urbanas: 21 de mayo, EME F, EME M y Huasco II. Si suponemos válidos los valores medidos en el estudio CENMA del año 2005, donde el aporte basal es de 11 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y los aportes secundarios de 11 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), y sumamos ambos valores a lo modelado, llegamos a un promedio urbano de 36,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), es decir un 89% de lo observado.

El modelo CALPUFF no es capaz de modelar apropiadamente la conversión de óxidos de azufre y nitrógeno a material particulado secundario: los resultados de las modelaciones son de aportes de material particulado secundario del orden de 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el monitoreo del año 2005 arrojó un valor de aproximadamente 11 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Hubiera sido ideal disponer de información actualizada sobre la composición química de los filtros de MP₁₀ medidos en Huasco, pero esta información no está disponible para el año 2013, donde se ha hecho la evaluación del modelo de dispersión. La evidencia disponible indica que el modelo no es capaz de modelar bien la generación de material particulado secundario; para mejorar este aspecto habría que considerar la aplicación de un modelo de dispersión más avanzado como WRF-Chem, CMAQ o CAMx, pero esto está fuera del alcance del presente estudio.

Finalmente, las diferencias que se aprecian al analizar cada uno de los cuatro monitores urbanos por separado se pueden explicar porque no se ha considerado un mayor detalle espacial de las emisiones urbanas del transporte, debido a la falta de información para poder hacer un inventario de emisiones detallado al nivel de cada arco de la red vial de Huasco, aspecto que también queda fuera del alcance del presente estudio.

4.3 Aportes anuales al MP10 en Huasco y relación emisión-concentración

Se seleccionaron las 15 fuentes que tenían un mayor aporte en emisiones y se calculó para cada una de ellas la concentración anual promedio para Huasco, aplicando el modelo CALPUFF versión 5.8.4 como ya se ha descrito. Estos resultados se presentan en la Tabla 4-2.

Se observa que las 3 fuentes más relevantes, en orden descendientes son: 1) emisiones fugitivas por procesos de carga, descarga y operación de correas en canchas de acopio de material en CAP; 2) emisiones fugitivas por transporte en la ciudad; y 3) emisiones fugitivas por transporte de material en ferrocarril.

En total, las 15 fuentes más importantes, tuvieron un aporte de 15 ($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$) (cuando ese año el promedio de concentración de MP 10 fue de 40,9 ($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$), considerando en ambas evaluaciones las estaciones EME-M, EME-F, 21 de Mayo y Huasco II. Como ya se comentado en la sección 4.2, esa diferencia se atribuye a que: i) el modelo no simula aportes naturales, que corresponden a aproximadamente 11 ($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$)¹⁷; ii) el modelo está subestimando la contribución de sulfatos y nitratos (MP10 secundario), ya que los valores modelados no superan 1 ($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$), mientras que los valores medidos históricamente en Huasco (EME F y EME M) eran del orden de 11 ($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$)¹⁸. En resumen, el modelo está simulando de manera aceptable las emisiones antropogénicas de MP10 en la zona de Huasco.

Además, se simuló la operación de Punta Alcalde y se estimó el aporte de dicha central (ver Tabla 4-3). Punta Alcalde, a pesar de estar bastante más alejado de la zona urbana, tiene un aporte agregado de 1,12 ($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$) como promedio anual, similares a los aportes de la central Guacolda en la actualidad.

¹⁷ En base a la información disponible del estudio de CENMA 2005.

¹⁸ En base a la información disponible del estudio de CENMA 2005.

Tabla 4-2 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 por Fuentes Relevantes (ugMP10/m3)

ID Fuente	Descripción Fuente	MP	Nitratos	Sulfatos	Total
1	Emisiones Fugitivas – Guacolda a Vertedero	0.8	no aplica	no aplica	0.81
2	Emisiones Fugitivas - Línea de Tren a CAP	1.7	no aplica	no aplica	1.73
3	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Cancha Carbón Guacolda	0.07	no aplica	no aplica	0.07
4	Proceso de Erosión – Cancha Carbón Guacolda	0.0025	no aplica	no aplica	0.00
5	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Cancha Material CAP	3.9	no aplica	no aplica	3.86
6	Proceso de Erosión – Cancha Material CAP	0.32	no aplica	no aplica	0.32
7	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Vertedero Guacolda	0.0060	no aplica	no aplica	0.01
8	Proceso de Erosión – Vertedero Guacolda	0.116	no aplica	no aplica	0.12
9	Emisiones Fugitivas – Transporte Camión Pto Las Losas y CAP	0.2	no aplica	no aplica	0.16
10	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Puerto Las Losas	0.12	no aplica	no aplica	0.12
11	Proceso de Carga, Descarga y Operación Correas – Cancha de Reharneo CAP	0.57	no aplica	no aplica	0.57
12	Proceso de Erosión – Cancha de Reharneo CAP	0.501	no aplica	no aplica	0.50
13	Emisiones Fugitivas – Transporte Vehicular en Ciudad (no empresas)	3.9	no aplica	no aplica	3.88
14	Emisiones por Combustión – Guacolda	0.30	0.56	0.4	1.27
15	Emisiones por Combustión - CAP	1.5	0.005	0.025	1.58
Total		14	0.6	0.4	15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-3 Resumen de Aporte a Concentración de MP10 para Punta Alcalde

ID Fuente	Descripción Fuente	MP10	NOx	SOx	Total
16	Emisiones por Combustión – Punta Alcalde	0.62	0.097	0.404	1.122

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados anteriores, y el inventario de emisiones del año 2013, se procede a estimar las relaciones de emisión – concentración para cada fuente. Para aquellas fuentes no modeladas, se procede a asignar valores de fuentes modeladas según lo presentado en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Relaciones de Emisión – Concentración (ton/año)/(ugMP10/m3)

Empresa	Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Chimenea / Fuente	MP10	NOx	SOx	Comentarios
CAP	Fuentes Fijas	Combustión	3	175.6	8,333.3	18,181.8	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			2A	175.6	8,333.3	18,181.8	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			2B	175.6	8,333.3	18,181.8	Se asigna el mismo que chimeneas 2A y 2B
		Fugitivas	CAP Cancha Acopio Material Continuo	217.4			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			CAP Cancha Acopio Material Intermitente	109.9			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			CAP Cancha Carbón Continuo	1,176.5			Se asume el 50% de la relación estimada para la cancha de acopio de carbón de Guacolda
			CAP Cancha Carbón Intermitente	181.8			Se asume el 50% de la relación estimada para la cancha de acopio de carbón de Guacolda
			CAP Cancha Reharneo Continuo	60.2			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			CAP Cancha Reharneo Intermitente	66.2			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
	Fuentes Móviles	Combustión	Entrada a CAP	3			Se asume el 50% de la relación estimada para el recorrido en la ciudad
			Línea de Tren entrada-CAP	4.9			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			Puerto Las Losas a CAP	21.1			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
		Fugitivas	Entrada a CAP	3			Se asume el 50% de la relación estimada para el recorrido en la ciudad
Línea de Tren entrada-CAP			4.9			Estimado en base a aporte a concentración de MP10	

Empresa	Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Chimenea / Fuente	MP10	NOx	SOx	Comentarios
							(modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			Puerto Las Losas a CAP	21.1			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
Guacolda	Fuentes Fijas	Combustión	U1_U2	1,000	11,236	62,500	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			U3	1,000	11,236	62,500	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			U4	1,000	11,236	62,500	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			U5	1,000	11,236	62,500	Se asigna el mismo de las Unidades de Guacolda
		Fugitivas	Gu Cancha Carbón Continuo	588.2			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			Gu Cancha Carbón Intermitente	90.9			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			Gu Vertedero Continuo	188.7			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
			Gu Vertedero Intermitente	123.5			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
	Fuentes Móviles	Combustión	Entrada a Guacolda	3			Se asume el 50% de la relación estimada para el recorrido en la ciudad
			Guacolda a Vertedero Guacolda	41			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
		Fugitivas	Entrada a Guacolda	3			Se asume el 50% de la relación estimada para el recorrido en la ciudad
			Guacolda a Vertedero Guacolda	41			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.

Empresa	Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Chimenea / Fuente	MP10	NOx	SOx	Comentarios
							2013.
Otros	Fuentes Móviles	Combustión	Recorrido Ciudad	1.5			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
		Fugitivas	Recorrido Ciudad	1.5			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
Puerto Las Losas	Fuentes Fijas	Fugitivas	PLL Cancha Acopio Continuo	588.2			Se asume la relación estimada para la cancha de acopio de carbón de Guacolda
		Fugitivas	PLL Cancha Acopio Intermitente	109.9			Se asume la relación estimada para la cancha de acopio de carbón de Guacolda
	Fuentes Móviles	Combustión	Otros Puerto Las Losas	21.1			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
		Fugitivas	Otros Puerto Las Losas	21.1			Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2013.
Punta Alcalde	Fuentes Fijas	Combustión	PA1	938.4	44,518	10,666.5	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2025
			PA2	938.4	44,518	10,666.5	Estimado en base a aporte a concentración de MP10 (modelación de calidad de aire) e inventario de emisiones de 2025
		Fugitivas	PA Cancha Carbón Continuo	1960.8			Se asume el 30% de la relación estimada para la cancha de acopio de carbón de Guacolda
			PA Cancha Carbón Intermitente	303			Se asume el 30% de la relación estimada para la cancha de acopio de carbón de Guacolda
			PA Vertedero Continuo	377.4			Se asume el 50% de la relación estimada para el vertedero de Guacolda
			PA Vertedero Intermitente	246.9			Se asume el 30% de la relación estimada para el vertedero de Guacolda
	Fuentes Móviles	Combustión	Entrada a Punta Alcalde	41			Se asume la relación estimada para el transporte al vertedero de Guacolda
			Punta Alcalde a Vertedero	82			Se asume el 50% de la relación estimada para el transporte al vertedero de Guacolda

Empresa	Categoría de Fuente	Tipo de Emisión	Chimenea / Fuente	MP10	NOx	SOx	Comentarios
			Punta Alcalde				
		Fugitivas	Entrada a Punta Alcalde	41			Se asume la relación estimada para el transporte al vertedero de Guacolda
			Punta Alcalde a Vertedero Punta Alcalde	82			Se asume el 50% de la relación estimada para el transporte al vertedero de Guacolda

Fuente: Elaboración Propia

5. Caracterización de Medidas (Potencial de Reducción de Emisiones y Costos)

En esta sección se presenta una completa caracterización de las medidas evaluadas en la presente consultoría. En primer lugar se presenta el potencial de reducción de emisiones (para MP10, NOX y SO2) estimado para cada una de las fuentes identificadas en la localidad de Huasco. Luego, se presenta una sub-sección detallando el análisis de costos que se realizó para estimar los costos incurridos para la implementación de cada medida. El procedimiento utilizado se presenta en la Figura 5-1, a continuación:

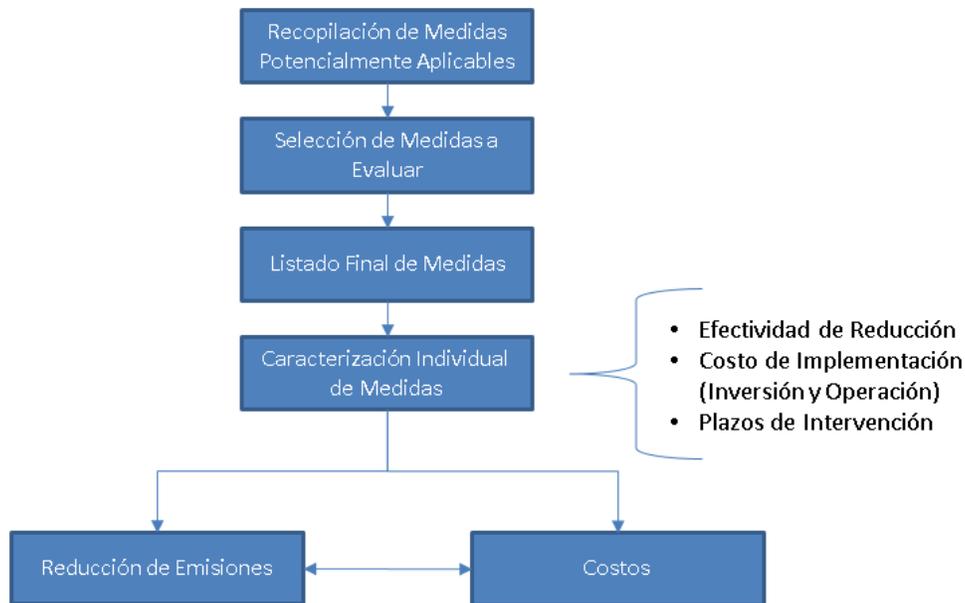


Figura 5-1 Proceso esquemático de estimación de reducción de emisiones

En una primera instancia se realizó una revisión bibliográfica para recopilar potenciales medidas de control de emisiones aplicables en la localidad de Huasco. Para el caso de los complejos termoeléctricos (Guacolda y Punta Alcalde) se consideró principalmente el estudio “Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas” elaborado por KAS (2009) para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Para las otras fuentes, se revisó documentación internacional (Amann et al., 2011; E.H. Pechan & Associates, 2006; EPA, 2010) y nacional (CONAMA, 1996; DICTUC, 2008; DSS, 2008; GreenlabUC, 2013; SQM, 1997; Universidad de Concepción & PROTERM, 2011; Villena, Chávez, & SCL Econometrics, 2007). En primer lugar, se compiló un listado ampliado de medidas (ver sección 9.4 de Anexos).

Del listado ampliado, se seleccionaron aquellas medidas cuyas fuentes de información original entregaban la mayor cantidad de información posible para poder caracterizar las medidas: contaminantes afectados, Eficiencias de Reducción, Costos unitarios (USD/ton) o por componente (Inversión, OyM), entre otros. Además, se comparó las eficiencias de reducción de las medidas con los sistemas de control de emisiones considerados para la línea base (ver Tabla 9-8 y Tabla 9-14, para ver las eficiencias de las medidas de línea base de Guacolda y CAP respectivamente). Se consideraron solamente aquellas medidas que lograban una reducción de emisiones mayor a la considerada con los métodos/tecnologías considerados en la línea base. Una vez seleccionadas las medidas se procedió a realizar una caracterización completa de las medidas, cuyas fichas se presentan en la sección 9.7 de anexos, información que además se anexa de forma digital en el archivo “PPA-HUASCO – AnalisisMedidas.xlsx”. Estas fichas presentan información de potenciales de reducción (porcentuales y en magnitud), además de costos y consideraciones específicas, de manera resumida para el año 2025 específicamente. Además, se anexa el archivo digital “PPA-HUASCO – Costos y Potencial.xlsx” el cual contiene los cálculos para estimar los costos y potencial de reducción de emisiones para los años 2020 y 2025. Además, en dicho archivo se entrega el potencial de reducción anual para cada medida (años 2016 – 2025), resultado que fue obtenido mediante un modelo en la plataforma Analytica de Lumina.

Cabe destacar que dentro de las medidas evaluadas, se asumió en general las buenas prácticas operacionales por parte de las empresas, incluyendo el futuro cumplimiento de todos los compromisos vigentes en cada una de las RCA. Sin embargo, hay casos que se detectó que las eficiencias de reducción declaradas por los titulares para aquellas acciones que ya estaban planificadas fuesen menores a lo encontrado en bibliografía especializada. Es el caso de los equipos de abatimiento de emisiones para algunos casos como el precipitador electrostático en la chimenea 2B de CAP, el desulfurizador húmedo a instalarse en las chimenea U1_U2 y U4 de Guacolda, y los equipos desulfurizadores a instalares en las nuevas unidades (U5 de Guacolda y ambas unidades de Punta Alcalde). Por ejemplo, de acuerdo a Moretti (2014), es posible lograr un muy buen rendimiento de los equipos de desulfurización de gases húmeda no solamente mediante un diseño óptimo sino que también mediante una adecuada gestión de los sistemas de control de emisiones. Es decir, como medida de buenas prácticas se consideró que aquellas unidades (existentes y nuevas) que iban a instalar equipos que todavía no estaban construidos, iban a sacarles el mayor provecho mediante un diseño óptimo y una adecuada gestión de los sistemas de control de emisiones.

La siguiente tabla muestra las medidas seleccionadas para la evaluación:

Tabla 5-1 Medidas Finales Evaluadas

Tipo Fuente	Medida	CAP	Guacolda	Puerto Las Losas	Punta Alcalde	Otros
Fija Fugitiva	Chutes optimizados	x	x	x		
	Correas tubulares	x	x		x	
	Domos	x	x	x	x	
Fijas Combustión	Desulfurizador Seco Circulante		x			
	Precipitador Electrostatico	x	x		x	
	Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)		x		x	
	Planta Desulfurizadora Humeda		x		x	
Móvil Fugitiva	Cobertura de Vagones	x				
	Hidrolavado de Vagones	x				
	Pavimentacion	x	x	x		
	Mejoramiento Espacio Urbano					x

Fuente: Elaboración Propia

NOTA: Estas medidas son adicionales a lo considerado en la “línea base” o escenario sin plan, que ya considera la implementación de sistemas para el cumplimiento de los instrumentos de gestión ambiental vigentes (ej. Norma de Emisiones de Termoeléctrica).

NOTA: “Otros” se refiere a las fuentes móviles que circulan en la localidad de Huasco y que no pertenecen a las empresas CAP, Guacolda, Puerto Las Losas y Punta Alcalde, es decir, vehículos particulares, buses, taxis, etc.

A continuación se presenta un análisis del potencial de reducción de emisiones según tipos de fuentes emisoras y cada una de las fuentes relevantes. Luego, en la sección 5.2 se presenta un análisis de los costos utilizados para evaluar las medidas.

5.1 Potencial de Reducción de Emisiones

Para analizar el potencial de reducción de emisiones, se construyó un escenario de mitigación que considera la aplicación de medidas en las distintas fuentes. Para algunas fuentes no se consideraron medidas adicionales a las de la línea base debido a que se consideró ya cumplían con las exigencias requeridas o debido a que su participación de emisiones no era considerable con respecto a las demás fuentes. Sin embargo, para otras fuentes como por ejemplo el Complejo Termoeléctrico Punta Alcalde, se mejoró la eficiencia de reducción de las distintas medidas hasta alcanzar el máximo de reducción sin costo alguno, asumiendo un diseño óptimo de los sistemas de abatimiento (óptimo en términos de reducción y no económicamente). Esto, basado en que dichas centrales todavía no entran en operación y que un buen diseño permitiría alcanzar estos niveles. Lo mismo sucede para algunas centrales ya existentes (ej. Unidad 4), en la cual se instala un sistema de abatimiento no existente (ej. Desulfurizador Seco para abatir SO₂), el cual se asume un

diseño óptimo que permite alcanzar los máximos niveles de abatimiento. (Hamon Research-Cottrell, 2014a; Jensen-holm, Lindenhoff, & Safronov, 2007)

A continuación se presenta un detalle del análisis realizado a nivel de cada tipo de fuente.

5.1.1 Fuentes Fijas Puntuales

Para el presente análisis se consideran principalmente los dos complejos termoeléctricos (Guacolda y Punta Alcalde) y la planta de pellets de CAP Minería.

Como se explicó anteriormente, en el análisis se percató que las emisiones reales de las distintas fuentes eran menores a las que tenían ambientalmente aprobadas según los RCAs vigentes. Esto implica, que en la actualidad las empresas, y gracias a los sistemas de control de emisiones instalados en la actualidad, ya están con un nivel de emisiones menor al autorizado. Con esto, se podría dar la situación que las fuentes existentes aumenten su actual nivel de emisiones utilizando este “crédito” de emisiones que tienen aprobadas. Por esta razón, se limitarán las emisiones de las chimeneas a las que actualmente emiten como una primera medida que no tendrá costo alguno para cualquiera de las empresas (medidas a costo cero). La estimación de emisiones de las medidas evaluadas que si implican un costo para las empresas u otro agente, se realiza de manera adicional a estas medidas a costo cero. Es decir, ara el cálculo de las eficiencias de las medidas de control adicionales se considerará que esta medida (medida costo cero) ya fue aplicada, y por lo tanto el monto de emisiones base sobre el cual se estiman las reducciones es menor al original.

La Tabla 5-2 a continuación presenta el nivel de reducción de emisiones que se puede lograr a costo cero:

Tabla 5-2: Medidas de control de costo cero – Año 2025

Responsable	Chimenea	Emisiones proyectadas según comportamiento real (ton/año)					Emisiones Proyectadas según Emisiones Ambientales Aprobadas (ton/año)					Reducciones a costo cero (ton/año)				
		MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
CAP	2A	36	36	14	34	88	266	266	101	416	385	230	230	87	381	297
	2B	418	418	158	30	728	690	690	261	277	739	271	271	103	247	11
	3	490	490	185	381	578	490	490	185	381	578	0	0	0	0	0
Guacolda	U1_U2	149	149	57	4,251	3,646	318	318	120	4,558	3,646	168	168	64	307	0
	U3	95	95	36	1,796	816	213	213	81	2,406	1,923	118	118	45	610	1,108
	U4	42	42	16	232	1,933	243	243	92	285	1,933	201	201	76	53	0
	U5	146	146	55	285	966	146	146	55	285	966	0	0	0	0	0
Punta Alcalde	PA1	317	317	120	2,337	2,337	317	317	120	2,337	2,337	0	0	0	0	0
	PA2	317	317	120	2,337	2,337	317	317	120	2,337	2,337	0	0	0	0	0
TOTAL		2,010	2,010	761	11,683	13,428	2,998	2,998	1,134	13,282	14,843	988	988	374	1,599	1,415

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1 Planta de Pellets – CAP Minería

Las emisiones estimadas para la Planta de Pellets de CAP Minería (puntuales) no alcanzan la magnitud de Guacolda ni Punta Alcalde, sin embargo existe un importante potencial de reducción de emisiones, debido principalmente a la baja efectividad de los sistemas de control actualmente instalados (ver Tabla 9-14). Por otro lado, las emisiones de NOx no presentan un aporte importante por lo que no se consideró la instalación de sistemas de abatimiento para ese contaminante. Además, es importante considerar que con la entrada en funcionamiento de la central termoeléctrica Punta Alcalde, existe un compromiso de dicha empresa de financiar la instalación de un precipitador electrostático en la chimenea 2B de CAP. Esto ya está considerado en el escenario “Sin Plan”, y supone una eficiencia de reducción de MP10 de 99.25% para la chimenea 2B.

Un análisis de las emisiones de las 3 chimeneas al año 2025 y su potencial aporte a la concentración de MP10 (ver Tabla 5-3) indica que solamente es conveniente aplicar medidas de reducción de emisiones de MP10 a las tres chimeneas, primero a la chimenea 2B, luego la 3 y finalmente 2A, al ordenar por magnitud de aporte a concentración de MP10. El aporte a concentración de MP10 por emisión de otros contaminantes es muy bajo para todas las chimeneas.

Tabla 5-3 Emisiones y aporte a concentración de MP10 por chimenea de CAP – año 2025

Chimenea	Emisiones (ton/año)			Aporte Concentración MP10 (ug/m3)			
	MP10	NOx	SOx	MP10	NOx	SOx	TOTAL
2A	266	416	385	1.52	0.05	0.02	266
2B	690	277	739	3.93	0.03	0.04	690
3	490	382	578	2.79	0.05	0.03	490
TOTAL	1,446	1,075	1,701	8.23	0.13	0.09	1,446

Fuente: Elaboración Propia

Debido a lo anterior se considera como medidas para CAP, las siguientes:

- Chimenea 2A:
 - MP10: precipitador electrostático adicional
- Chimenea 2B:
 - MP10: precipitador electrostático con diseño óptimo (99.85% en vez de 99.25%)
- Chimenea 3:
 - MP10: Precipitador Electrostático con diseño óptimo (99.85% en vez de 95%)

La tabla a continuación presenta un resumen del potencial de reducción de emisiones y concentración de MP10 al año 2025, donde se destaca el potencial del precipitador en la chimenea 3 que logra una reducción de más de 2.71 (ug/m3) de MP10, seguido por el precipitador con diseño óptimo instalado en la chimenea 2B con un potencial de 1.91 (ug/m3). De acuerdo a los resultados obtenidos, no se justificaría instalar un precipitador adicional en la chimenea 2A, debido al bajo aporte en reducir concentración de MP10.

Tabla 5-4 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas de Combustión - CAP

Chimenea	Medida	Reducción Emisiones (ton/año)			Reducción Concentración (ug/m3)
		MP10	NOX	SO2	MP10
2A	Precipitador Electrostatico	36	0	0	0.20
2B	Precipitador Electrostatico	335	0	0	1.91
3	Precipitador Electrostatico	475	0	0	2.71
	TOTAL	846	0	0	4.82

Fuente: Elaboración Propia

El costo no debería ser significativo debido a que los equipos de abatimiento no han sido instalados actualmente, y corresponden solamente modificaciones a los diseños propuestos.

5.1.1.2 Complejo Termoeléctrico Guacolda

En el caso de Guacolda, se observa de la documentación, inspección de fuentes en terreno y en base a las mediciones isocinéticas, que todas las chimeneas poseen en la actualidad un restrictivo sistema de control de emisiones, a excepción del sistema de control de NOX (Quemadores de Bajo NOX) instalado en la chimenea de la Unidad 3, que tiene una eficiencia declarada de 30%.

Además, al observar las emisiones y aporte a concentración de MP10 al año 2025 de cada chimenea del complejo termoeléctrico Guacolda (Tabla 5-4), se observa que si bien el mayor aporte es por emisiones de MP10, no existen diferencias tan grandes como en el caso de CAP Minería. Aun así, el aporte a la concentración de MP10 agregado es considerablemente bajo en comparación con las chimeneas de CAP.

Tabla 5-5 Emisiones y aporte a concentración de MP10 por chimenea de Guacolda – año 2025

Chimenea	Emisiones (ton/año)			Aporte Concentración MP10 (ug/m3)			
	MP10	NOx	SOx	MP10	NOx	SOx	TOTAL
U1_U2	318	4.558	3.646	0.32	0.41	0.06	0.78
U3	213	2.406	1.923	0.21	0.21	0.03	0.46
U4	243	285	1.933	0.24	0.03	0.03	0.30
U5	146	285	966	0.15	0.03	0.02	0.19
TOTAL	919	7.535	8.469	0.92	0.67	0.14	1.73

Fuente: Elaboración Propia

Se propone para esta unidad la instalación de un sistema SCR con un diseño óptimo que permitiría alcanzar una reducción de hasta 95%. Además, se propone mejorar el diseño del SCR a instalar en la unidad 5, alcanzando una eficiencia de 95% en vez del 85% propuesto en la RCA respectiva.

Para mejorar la remoción de MP10, se propone la instalación de precipitadores electrostáticos adicionales en las unidades 3 y 5 que en la actualidad solamente tienen 1 precipitador instalado.

Para mejorar la remoción de SO₂ se propone la instalación de desulfurizadores secos con diseño óptimo en las unidades 1 y 2 y la Unidad 4, alcanzando una eficiencia de remoción de 94%. Para el caso de la Unidad 5, se propone un desulfurizador húmedo que permitiría una remoción del 98% de SO₂. Puesto a que ya existen sistemas de control en esas unidades se recomienda mejorar la operación de dichos sistemas de control y no se considera necesaria la adquisición de nuevos equipos.

Las medidas evaluadas para el caso de Guacolda son:

- Unidades 1 y 2:
 - SO₂: Mejorar la operación del desulfurizador seco circulante (94%)
- Unidad 3:
 - MP10: Precipitador Electrostático Adicional (99,85%)
 - NOX: SCR con diseño óptimo (95%)
- Unidad 4:
 - SO₂: Mejorar la operación del desulfurizador seco circulante (94%)
- Unidad 5:
 - MP10: Precipitador Electrostático Adicional (99,85%)
 - NOX: Mejorar la eficiencia del SCR a instalar (95%)
 - SO₂: Mejorar la eficiencia del Desulfurizador de Gases Húmeda con (98%)

La siguiente tabla muestra un resumen del potencial de reducción de emisiones y de concentración de MP10 para cada medida de la central Guacolda. Se observa que las 3 medidas que tienen el mayor potencial de mayor a menor son: 1) el precipitador electrostático de la unidad 5, 2) el SCR en la unidad 3 y 3) el precipitador electrostático de la unidad 3. Sin embargo, el

máximo potencial es solamente de 0.15 (ugMP10/m³). Todas las demás medidas tienen un potencial de reducción de concentración de MP10 < 0.03 (ugMP10/m³). Esto indica que en realidad el potencial de mejora para el complejo termoeléctrico Guacolda es bastante bajo, por lo menos en relación a las fuentes fijas de combustión (chimeneas), y por lo tanto no se justifica la implementación de medidas adicionales a las que la empresa ya tiene contempladas para el cumplimiento de la norma de emisiones de centrales termoeléctricas.

Tabla 5-6 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas de Combustión - Guacolda

Chimenea	Medida	Reducción Emisiones (ton/año)			Reducción Concentración (ug/m ³)
		MP10	NOX	SO2	MP10
U1_U2	Desulfurizador Seco Circulante	0.0	0.0	1,215.4	0.02
U3	Precipitador Electrostatico	94.6	0.0	0.0	0.09
	Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	0.0	1,667.6	0.0	0.15
U4	Desulfurizador Seco Circulante	0.0	0.0	1,005.1	0.02
U5	Precipitador Electrostatico	146.0	0.0	0.0	0.15
	Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	0.0	190.2	0.0	0.02
	Planta Desulfurizadora Humeda	0.0	0.0	701.7	0.01
	TOTAL	240.6	1,857.8	2,922.2	0.45

Fuente: Elaboración Propia

5.1.1.3 Complejo Termoeléctrico Punta Alcalde

Las emisiones estimadas para el Complejo Termoeléctrica Punta Alcalde son de una magnitud considerable, debido a que totaliza una potencia de 700 MW y el diseño presentado permite cumplir apenas con la norma de emisiones de centrales termoeléctricas. La emisión de MP10 es un 70% al de la norma, sin embargo en el caso de NOX y SO2 los niveles son cercanos a la norma.

La tabla a continuación presenta el aporte a la concentración de MP10 de la localidad de Huasco estimado en base a las relaciones de emisión – calidad de aire. Se aprecia que en total el aporte alcanzaría un poco más de 1 ug/m³ de MP10, bastante bajo en comparación con CAP y en menor medida con Guacolda.

Tabla 5-7 Emisiones y aporte a concentración de MP10 por chimenea de Punta Alcalde – año 2025

Chimenea	Emisiones (ton/año)			Aporte Concentración MP10 (ug/m3)			
	MP10	NOx	SOx	MP10	NOx	SOx	TOTAL
PA1	317	2.337	2.337	0.34	0.05	0.22	0.6
PA2	317	2.337	2.337	0.34	0.05	0.22	0.6
TOTAL	633	4.673	4.673	0.67	0.10	0.44	1.2

Fuente: Elaboración Propia

Endesa propone la instalación de equipos de abatimiento para los tres contaminantes, sin embargo se aprecia que los niveles de reducción propuestas son más bajos que lo observado en tecnología de características similares a nivel internacional y nacional. De acuerdo a esto, y siguiendo el protocolo propuesto para el caso de Guacolda se evaluó adicionar precipitadores electrostáticos para mejorar la remoción de MP10 y mejorar los diseños de los SCR y Desulfurizadores para lograr los valores más altos de abatimiento.

Las medidas propuestas en el caso de Punta Alcalde son:

- Chimenea 1:
 - MP10: Precipitador Electrostático Adicional (99,85%)
 - NOX: SCR con diseño óptimo (95%)
 - SO2: Desulfurización de Gases Húmeda con Diseño Óptimo (98%)
- Chimenea 2:
 - MP10: Precipitador Electrostático Adicional (99,85%)
 - NOX: SCR con diseño óptimo (95%)
 - SO2: Desulfurización de Gases Húmeda con Diseño Óptimo (98%)

Los resultados presentados en la tabla a continuación, indican que en realidad no es justificable instalar equipos adicionales en las chimeneas de Punta Alcalde. El mayor potencial lo tiene la instalación de un precipitador electrostático en ambas chimeneas, llegando a reducir en 0.34 ug/m3 la concentración de MP10. En total, al considerar todas las medidas, ambas chimeneas logran una reducción total de 1.1 ug/m3. Esto es menor que mejorar el diseño del precipitador electrostático en la chimenea 2B de CAP.

Tabla 5-8 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas de Combustión – Punta Alcalde

Chimenea	Medida	Reducción Emisiones (ton/año)			Reducción Concentración (ug/m ³)
		MP10	NOX	SO2	MP10
PA1	Precipitador Electrostático	316	0	0	0.34
	Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	0	1,752	0	0.04
	Planta Desulfurizadora Húmeda	0	0	1,845	0.17
PA2	Precipitador Electrostático	316	0	0	0.34
	Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	0	1,752	0	0.04
	Planta Desulfurizadora Húmeda	0	0	1,845	0.17
TOTAL		632	3,505	3,689	1.10

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 Fuentes Fijas Areales

Para el caso de las fuentes fijas de área, en base al inventario estimado y las visitas realizadas en terreno, se observa que se generan emisiones producto de la carga y descarga de materiales, del transporte de materiales y por la erosión generada por el viento.

Un sistema de almacenamiento y transporte de los materiales que sea completamente cerrado permitiría reducir las emisiones areales al mínimo. Para esto se propone la implementación de las siguientes medidas en todas las fuentes:

Tabla 5-9 Medidas consideradas para Fuentes Fijas Areales

Medida/Proceso	Descripción	Eficiencia Reducción MP10	Referencia
Carga y descarga de materiales	Chutes de transferencia con diseño óptimo que con un sistema de contrapresión permite disminuir la merma de materiales al mínimo.	70%	(Bengalla Mining Company, 2012)
Transporte de materiales por correas	Reemplazo de las correas que corren por sobre la superficie por correas tubulares	95 – 98%	(Comission, 2006)
Instalación de domos para Almacenamiento	Cobertura de la totalidad de la pilas de acopio por domos	99,99%	(DSS, 2008)

NOTA: para correas tubulares se considera un valor promedio de 96,5%

A continuación se presenta una descripción de las medidas aplicadas a nivel de empresa.

5.1.2.1 CAP

En la visita a terreno en CAP se pudo apreciar que las medidas de control aplicadas eran bastante precarias y a simple vista se podía observar cómo se emitía polvo desde las correas, por la descarga de los materiales y también por desde las mismas canchas de acopio que no se humectaban y cuyas mallas raschel estaban en mal estado. Se verificó también durante la visita, que la empresa posee 3 canchas de acopio (material, carbón y reharneo). En la cancha de material se carga, descarga y almacena preconcentrado, pellet, pellet chips, pellet feed y caliza. En la cancha de carbón se carga, descarga y almacena carbón. En la cancha de reharneo se carga, descarga y almacena el material que se va recolectando y perdiendo en las distintas etapas del proceso de pelletización. Se hace el supuesto que un 20% del material total termina almacenado en la cancha de reharneo.

En la Tabla 5-10 se observa que las canchas de acopio de material, de carbón y de reharneo de CAP, y de acuerdo a los supuestos considerados en la modelación, tienen un importante aporte a la concentración de MP10 en la zona e Huasco (> 6.5 ug/m³).

Tabla 5-10 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- CAP – Año 2025

Detalle Fuente	Emisión MP10 (ton/año)	Concentración MP10 (ug/m ³)
CAP Cancha Acopio Material Erosión	17.0	0.0784
CAP Cancha Acopio Material Carga, Descarga y Transporte en Correas	611.5	5.6
CAP Cancha Carbón Erosión	4.5	0.0
CAP Cancha Carbón Carga, Descarga y Transporte en Correas	1.2	0.0
CAP Cancha Reharneo Erosión	7.3	0.1
CAP Cancha Reharneo Carga, Descarga y Transporte en Correas	50.7	0.8
TOTAL	692.3	6.54

Fuente: Elaboración Propia

Para esta empresa se propone aplicar las siguientes medidas:

- 1) reemplazar por domos las tres canchas de acopio: cancha de acopio de material, cancha de acopio de carbón y cancha de reharneo.
- 2) reemplazar todas las correas existentes por correas tubulares, e
- 3) instalar chutes de transferencia de contrapresión en todos los puntos de carga y descarga.

El tamaño de los domos, dependerá de la superficie a cubrir. La tabla a continuación presenta la superficie en hectáreas y metros cuadrados considerados para cada tipo de material y el diámetro de domo necesario para cubrir dicha superficie:

Tabla 5-11 Características de Tamaños para Domos en CAP

Domo	ha	m2	Diámetro
Preconcentrado	1,24	12.400	126
Pellets	2,66	26.600	184
Pellets Chips	2,48	24.800	178
Pellets Feed	1,27	12.680	127
Carbon	1,81	18.100	152

Fuente: Elaboración Propia

Luego de la aplicación de medidas se espera un potencial de reducción presentado a continuación:

Tabla 5-12 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – CAP – Año 2025

Detalle Fuente	Medida	Reducción Emisión MP10 (ton/año)	Reducción Concentración MP10 (ug/m3)
CAP Cancha Acopio Material Erosión	Domos	17.0	0.078
CAP Cancha Acopio Material Carga, Descarga y Transporte por Correas	Chutes optimizados	424.8	3.866
	Correas tubulares	4.4	0.040
CAP Cancha Carbon Erosión	Domos	4.5	0.004
CAP Cancha Carbon Carga, Descarga y Transporte por Correas	Chutes optimizados	0.8	0.004
	Correas tubulares	0.1	0.000
CAP Cancha Rehorneo Erosión	Domos	7.3	0.121
CAP Cancha Rehorneo Intermitente	Chutes optimizados	35.5	0.536
Grand Total		494.4	4.65

Fuente: Elaboración Propia

El mayor impacto se estima para la cancha de acopio de material, donde sería posible reducir en casi 4 ug/m3 la concentración de MP10 al instalar chutes optimizados, seguido por la instalación de la misma tecnología en la cancha de rehorneo.

5.1.2.2 Guacolda

Durante la visita a la zona, se apreció que en la cancha de acopio de carbón se estaban implementando adecuadamente las medidas de control, sin embargo se analizó si es posible reducir aún más estas emisiones. Para esto, se propone la instalación de chutes de transferencia de contrapresión en la descarga de carbón, el reemplazo de la correa que transporta el carbón desde el puerto a la cancha por una correa tubular y la instalación de domos que reemplacen el sistema actual de las canchas de acopio. En la tabla a continuación se observa que en realidad el aporte a concentración de MP10 por fuentes fugitivas en Guacolda es relativamente bajo.

Tabla 5-13 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- Guacolda – Año 2025

Responsable	Fuente Modelada	Emisión MP10 (ton/año)	Concentración MP10 (ug/m3)
Guacolda	Gu Cancha Carbon Erosión	2	0.003
	Gu Cancha Carbon Carga, Descarga y Transporte en Correas	8	0.087
	Gu Vertedero Erosión	22	0.115
	Gu Vertedero Carga, Descarga y Transporte en Correas	1	0.007
Guacolda Total		32	0.212

Fuente: Elaboración Propia

Luego de la aplicación de medidas se espera un potencial de reducción presentado a continuación:

Tabla 5-14 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – Guacolda – Año 2025

Detalle Fuente	Medida	Reducción Emisión MP10 (ton/año)	Reducción Concentración MP10 (ug/m3)
Gu Cancha Carbon Continuo	Domos	1.7	0.00
Gu Cancha Carbon Intermitente	Chutes optimizados	6.2	0.07
	Correas tubulares	0.7	0.01
Gu Vertedero Intermitente	Chutes optimizados	0.1	0.00
Grand Total		8.7	0.078

Fuente: Elaboración Propia

La aplicación de medidas a las fuentes fugitivas del Complejo Termoeléctrico de Guacolda, no tienen un impacto relevante sobre la calidad de aire de la Localidad de Huasco. Esto es un reflejo, y tal como se constato en las visitas a terreno, que Guacolda viene haciendo bien las cosas y siguiendo al pie de la letra las buenas prácticas que la regulación actual y el mercado le exige.

5.1.2.3 Punta Alcalde

En punta Alcalde se propone colocar domos en las canchas de acopio y reemplazar aquellas correas que no son tubulares por correas tubulares. Además, se propone la pavimentación de los caminos de tierra, ya que según lo modelado bajo las condiciones de línea base, los camiones estarían recorriendo > 50 kms por viaje en caminos de tierra.

Para el caso de los domos se consideran superficies de 5.5 hectáreas para carbón y 0.4 hectáreas para caliza.

En la Tabla 5-8 se presenta la responsabilidad en emisiones de las fuentes modeladas para Punta Alcalde, donde se aprecia que existe un bajo impacto de las medidas propuestas.

Tabla 5-15 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- Punta Alcalde – Año 2025

Responsable	Fuente Modelada	Emisión MP10 (ton/año)	Concentración MP10 (ug/m3)
Punta Alcalde	PA Cancha Carbón Erosión	6	0.00
	PA Cancha Carbón Carga, Descarga y Transporte en Correas	19	0.06
	PA Vertedero Erosión	12	0.03
	PA Vertedero Carga, Descarga y Transporte en Correas	1	0.01
Punta Alcalde Total		38	0.10

Fuente: Elaboración Propia

Luego de la aplicación de medidas se espera un potencial de reducción presentado a continuación:

Tabla 5-16 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – Punta Alcalde – Año 2025

Detalle Fuente	Medida	Reducción Emisión MP10 (ton/año)	Reducción Concentración MP10 (ug/m3)
PA Cancha Carbón Erosión	Domos	5.8	0.00
PA Cancha Carbón Carga, Descarga y Transporte en Correas	Correas tubulares	0.1	0.00
Grand Total		5.39	0.003

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que en el caso de Guacolda, el potencial de reducción esperado por la aplicación de medidas a fuentes fijas fugitivas en Punta Alcalde es bastante bajo.

5.1.2.4 Puerto Las Losas

En Puerto Las Losas existe solamente una cancha de acopio de material, en donde se almacena carbón y caliza. Para esta fuente se considera en el análisis la instalación de domos y chutes optimizados. La superficie agregada estimada el año 2025 es de 0.18 hectáreas o 1.800 m². Un domo de diámetro 48 metros de diámetro sería suficiente para cubrir la superficie total. La Tabla 5-17 muestra el aporte en las emisiones de MP10 y concentraciones para las fuentes fijas fugitivas modeladas para Puerto Las Losas, donde se aprecia que el puerto tiene un aporte de 0.5 ug/m³ de MP10 para la zona de Huasco, según lo modelado por las estaciones ubicadas en la zona urbana.

Tabla 5-17 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Fijas Areales (Fugitivas)- Puerto Las Losas – Año 2025

Responsable	Fuente Modelada	Emisión MP10 (ton/año)	Concentración MP10 (ug/m ³)
Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Continuo	0.1	0.00
	PLL Cancha Acopio Intermitente	8.2	0.50
Total		8.3	0.50

Fuente: Elaboración Propia

Luego de la aplicación de medidas se espera un potencial de reducción presentado a continuación:

Tabla 5-18 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Fijas Areales (Fugitivas) – Puerto Las Losas – Año 2025

Detalle Fuente	Medida	Reducción Emisión MP10 (ton/año)	Reducción Concentración MP10 (ug/m ³)
PA Cancha Carbón Erosión	Domos	0.1	0.00
PA Cancha Carbón Carga, Descarga y Transporte en Correas	Chutes Optimizados	6.0	0.36
Grand Total		6.1	0.36

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que se lograría reducir en aproximadamente un 70% el aporte del puerto en términos de concentración de MP10.

5.1.2.5 *Resultados Agregados Fuentes Fijas Areales*

El mayor impacto en términos de reducción de emisiones se produce con la instalación de chutes optimizados en las canchas de acopio de material de CAP y en Puerto Las Losas. La incorporación de todas las medidas logran una reducción de 5.1 ug/m³ de MP10.

Tabla 5-19: Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 – Fuentes Fugitivas de Área

Responsable	Medidas	Potencial de Reducción de Emisiones de MP10 (ton/año)	Potencial de Reducción de Concentración de MP10 (ug/m3)
CAP	Domos	494.4	4.65
	Chutes optimizados		
	Correas tubulares		
Guacolda	Domos	8.7	0.078
	Chutes optimizados		
	Correas tubulares		
Puerto Las Losas	Domos	6.1	0.36
	Chutes optimizados		
Punta Alcalde	Domos	5.9	0.003
	Correas tubulares		
TOTAL		515.1	5.09

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Fuentes Móviles Fugitivas

Las emisiones por re suspensión de MP10 tienen un aporte significativo, principalmente debido a las siguientes fuentes: 1) flujo de vehículos en la zona urbana (no pertenecientes a las empresas) pero que generan un gran levantamiento de polvo en calles pavimentadas, 2) el flujo de camiones desde la entrada de Huasco hasta Punta Alcalde, donde se modeló que realizan viajes de 50 km/viaje en caminos de tierra, 3) el polvo resuspendido de los vagones de los trenes que circulan por la ciudad, y 4) el gran flujo de camiones desde la entrada de Huasco hasta CAP (> 20.000 viajes/año en 2013, y >60.000 viajes/año modelados al 2025).

Tabla 5-20 Emisiones y Aporte a Concentración de MP10 Fuentes Móviles Fugitivas – Año 2025

Responsable	Detalle Fuente	Emisión MP10 (ton/año)	Concentración MP10 (ug/m3)
CAP	Entrada a CAP	5	1.8
	Linea de Tren entrada-CAP	10	2.1
	Puerto Las Losas a CAP	8	0.4
CAP Total		24.3	4.36
Guacolda	Entrada a Guacolda	0	0.1
	Guacolda a Vertedero Guacolda	41	1.0
Guacolda Total		42	1.124
Otros	Otras Actividades del Puerto	3	0.0
	Recorrido Ciudad	8	5.6
Otros Total		11	5.6
Puerto Las Losas	Otros Puerto Las Losas	0	0.0
Puerto Las Losas Total		0.3	0.02
Punta Alcalde	Entrada a Punta Alcalde	109	2.7
	Punta Alcalde a Vertedero Punta Alcalde	24	0.3
Punta Alcalde Total		133	2.96
Grand Total		211	14.1

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de fuentes móviles fugitivas, se evaluaron 4 medidas: 1) estabilización química de caminos (pavimentación), 2) cobertura de vagones, 3) hidrolavado de vagones y 4) mejoramiento del espacio urbano. La medida “Mejoramiento del Espacio Urbano” viene a ser una versión integrada de distintas medidas como: programa de aspirado de calles, creación de mayor cantidad de áreas verdes, mejoramiento del espacio público, entre otros. En este caso, se considera en la evaluación solamente los supuestos utilizados en la evaluación de un programa de aspirado de calles, sin embargo, el consultor cree que una medida que pueda integrar distintas aristas será más efectiva tanto en la aplicación, en el potencial de reducción de emisiones y en la percepción

que tenga la gente de ella. Esta medida, tiene un alto potencial, debido principalmente a que los vehículos que circulan por la ciudad producen una gran cantidad de emisiones producto del levantamiento de polvo.

La tabla a continuación resume el potencial de mitigación para el caso de las fuentes móviles fugitivas, donde destacan principalmente “Mejoramiento del Espacio Urbano”, la “pavimentación” del camino hacia Punta Alcalde, la “Cobertura de Vagones” en CAP y “Pavimentación” en el tramo al vertedero de Guacolda.

Tabla 5-21 Potencial de Reducción de Emisiones y Concentración de MP10 Medidas Fuentes Móviles Fugitivas – Año 2025

Responsable	Medidas	Detalle Fuente	Reducción Emisión MP10 (ton/año)	Reducción Concentración MP10 (ug/m3)
CAP	Cobertura de Vagones	Linea de Tren entrada-CAP	7.0	1.42
	Hidrolavado de Vagones	Linea de Tren entrada-CAP	1.4	0.29
	Pavimentación	Puerto Las Losas a CAP	7.4	0.35
CAP Total			15.8	2.07
Guacolda	Pavimentación	Guacolda a Vertedero Guacolda	39.2	0.96
Guacolda Total			39.2	0.96
Puerto Las Losas	Pavimentación	Otros Puerto Las Losas	0.2	0.01
Puerto Las Losas Total			0.2	0.01
Punta Alcalde	Pavimentación	Entrada a Punta Alcalde	105.2	2.57
		Punta Alcalde a Vertedero Punta Alcalde	23.3	0.28
Punta Alcalde Total			128.5	2.85
Otros	Mejoramiento Espacio Urbano	Recorrido Ciudad	6.3	4.24
Otros Total			6.3	4.24
Total			190.0	10.13

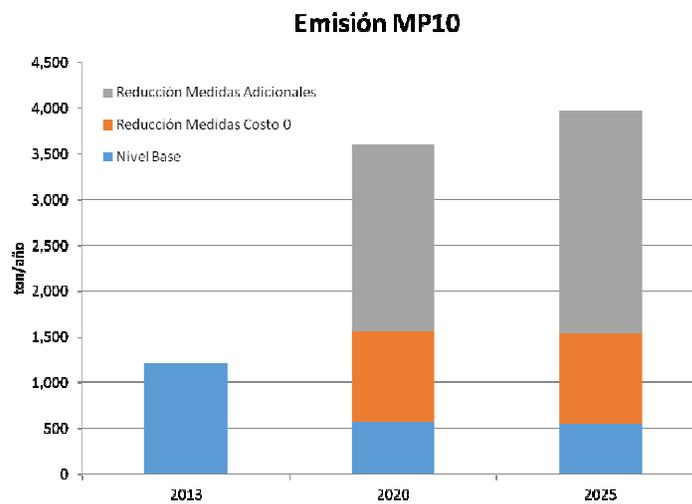
Fuente: Elaboración Propia

5.1.4 Potencial de Reducción Total

En esta sección se presenta el potencial de reducción de emisiones de MP10, NOx y SO2, además del potencial de reducción de concentración de MP10 considerando la totalidad de medidas evaluadas.

En primer lugar, en la Figura 5-2 se aprecian las emisiones de MP10 para los años 2013, 2020 y 2025 agrupadas según si pertenecen a emisiones, reducciones logradas mediante la aplicación de medidas a costo 0¹⁹ o la aplicación de medidas adicionales. Las medidas a costo 0 pueden lograr una reducción cercana al 20% el año 2025, mientras que las medidas adicionales logran una reducción de casi 68% de las emisiones. Parte importante de este porcentaje se debe a que Punta Alcalde, Guacolda y CAP mejorarán sus medidas de control en las chimeneas. Además, con la pavimentación de caminos se reducen las emisiones de las fuentes móviles fugitivas de manera significativa. Al comparar las emisiones finales del año 2025 con respecto a las del 2013, se logra en total una reducción del 51% de las emisiones.

Figura 5-2: Potencial de Reducción de Emisiones de MP10

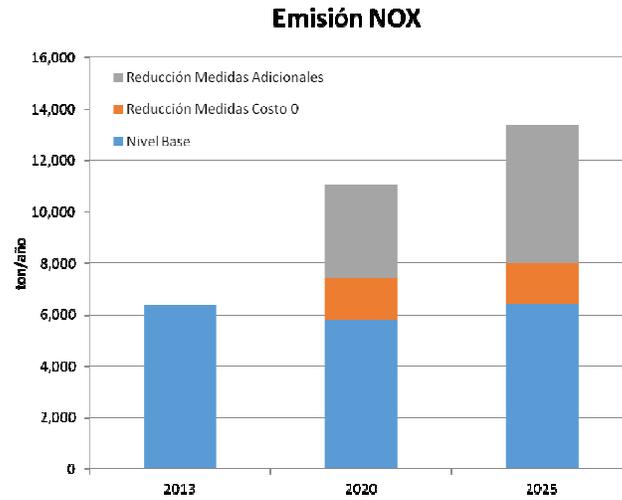


Fuente: Elaboración propia

En relación al NOx, la reducción de emisiones mediante la aplicación de medidas a costo 0 es de 11,4% mientras que la implementación de medidas adicionales logran un 38,2% de reducción de emisiones (Figura 5-2). Las reducciones se deben principalmente a la mejora en el control de las emisiones de las chimeneas en las termoeléctricas instalando filtros SCR o mejorando la eficiencia de los que ya están instalados. Al comparar las emisiones finales al año 2025 con respecto a las emisiones del año 2013, sin embargo, se produce un leve aumento de 11 en las emisiones totales.

¹⁹ Estas medidas consisten en exigirle a las fuentes fijas de combustión, que operen a futuro de la misma manera que lo han estado haciendo en el presente, con valores de emisión considerablemente menores a las emisiones ambientalmente aprobadas.

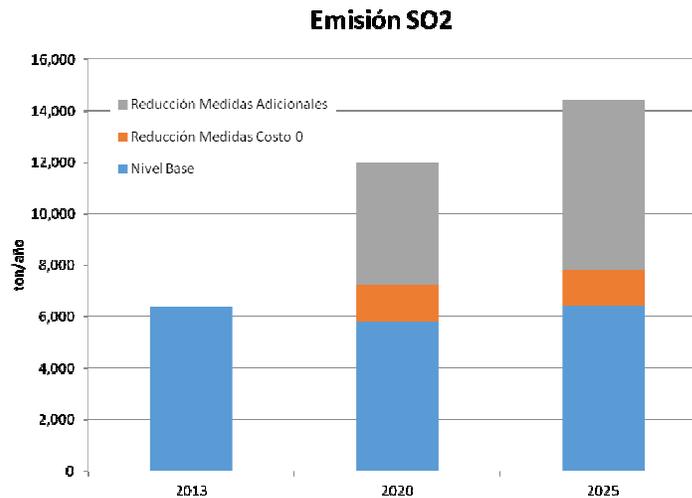
Figura 5-3: Potencial de reducción de NOx



Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de SOx por su parte se pueden reducir en hasta un 50.3%, donde 9% corresponden a la implementación de las medidas a costo 0 y 41.4% corresponden a la implementación de medidas adicionales. Si bien, las emisiones de línea base del año 2025 ya son menores que las estimadas para el año 2013, igual es posible reducir aún más las emisiones proyectadas, logrando así emisiones 69% menores que las del 2013.

Figura 5-4: Potencial de reducción de SOx

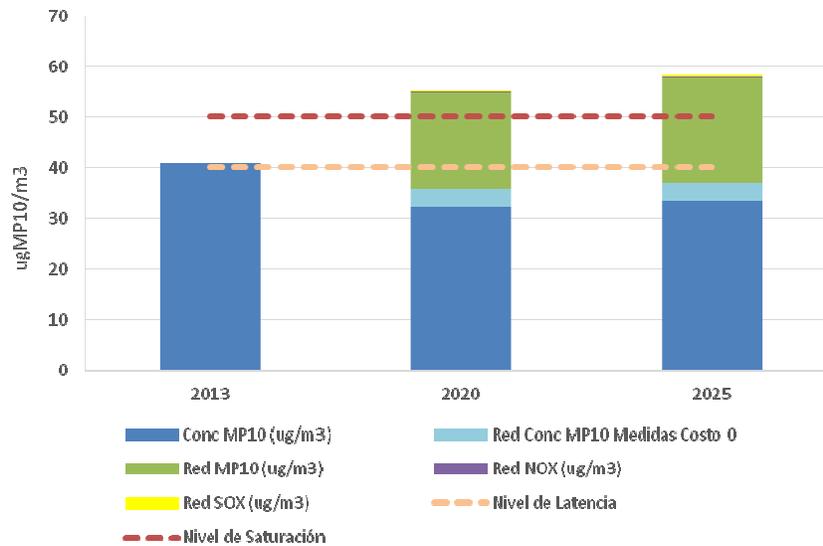


Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que las reducciones de NOx y SOx tienen un efecto positivo en la concentración de material particulado ya que son precursores de la formación de MP10

secundario. Al analizar el impacto agregado de las medidas sobre la concentración de MP10 en la localidad de Huasco, vemos en la Figura 5-5 que es posible reducir la concentración total en un 47.5% en comparación con la concentración del año 2025, 5.5% debido a medidas costo 0 y 42% debido a medidas adicionales. Se alcanzan niveles de concentración de MP10 en torno a 33.6 ug/m³, bastante menores a lo observado hoy en día y menores a los niveles de latencia, cumpliendo con los objetivos de un plan de prevención en la localidad de Huasco.

Figura 5-5: Potencial de reducción de Concentración de MP10



Fuente: Elaboración propia

5.2 Costos de Implementación de Medidas

Se estimó el costo de implementar cada una de las medidas evaluadas. Para esto, se procedió a estimar un costo anualizado, que permitiese integrar en un solo valor el costo de inversión y los costos de operación y mantenimiento.

Las unidades monetarias y años de datos difieren para las distintas tecnologías, por lo que se procedió a estandarizar los valores a UF, utilizando los siguientes parámetros para realizar las transformaciones de moneda:

Tabla 5-22 Parámetros Base para Estandarización de Monedas

Parámetro	Valor	Fecha Valor	Referencia
Inflación Dólar 2008 - 2014	1.1	24-03-2015	http://www.usinflationcalculator.com/
Valor Dólar	621.6	24-03-2015	www.bcentral.cl
Valor UF	24,600	24-03-2015	www.bcentral.cl
Inflación AUD 2008 - 2014	1.16	24-03-2015	http://www.rba.gov.au/calculator/annualDecimal.html
Cambio AUD -> USD (USD/AUD)	0.783	24-03-2015	http://www.xe.com/es/currencycharts/?from=AUD&to=USD&view=1Y

Además, para todos los casos se consideró una tasa de descuento del 6% de acuerdo a recomendaciones del MIDEPLAN (2011) para la evaluación social de proyectos.

A continuación se presenta el método utilizado a nivel de cada uno de los tipos de fuentes, y los supuestos considerados en cada caso.

5.2.1 Fuentes Fijas Puntuales

Para el caso de las fuentes fijas puntuales se consideró la información de costos disponible en el estudio realizado por KAS (2009), la cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5-23 Parámetros de Costo y Vida Útil Tecnologías de Abatimiento Fuentes Fijas

Tecnología	Inversión	OyM Fijo	OyM Variable	Vida útil
	USD/kW	USD/kW	USD/MWh	años
Precipitador Electrostatico	60	0.49	0.4	20
Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	137	0.9	0.79	20
Desulfurizador Seco Circulante	385	1.22	0	20
Planta Desulfurizadora Humeda	470	1.49	0	20

Fuente: (KAS, 2009)

Para el caso de las eficiencias de reducción se consultaron diversas fuentes, obteniendo los valores presentados a continuación:

Tabla 5-24 Parámetros de Eficiencia de Reducción de Emisiones para Tecnologías de Abatimiento Fuentes Fijas

Tecnología	MP	NOX	SO2	Referencia
	%	%	%	
Precipitador Electrostatico	99.85%			(KAS, 2009)
Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)		95%		(Jensen-holm et al., 2007)
Desulfurizador Seco Circulante			94%	(Hamon Research-Cottrell, 2014b)
Planta Desulfurizadora Humeda			98%	(Moretti, 2014)

Si bien para las unidades de las centrales de generación eléctrica se posee información bastante directa en relación a las potencias de cada chimenea/unidad, no es el caso de las chimeneas de

CAP. Para ello, se procedió a hacer una aproximación del tamaño de la chimenea en base al flujo de salida de los gases con la información conocida:

Tabla 5-25 Parámetros de Eficiencia de Reducción de Emisiones para Tecnologías de Abatimiento Fuentes Fijas

Chimenea	Potencia (MW)	Flujo de Gases (m3/s)	Potencia/FG (MW/(m3/s))	Potencia Final (MW)
2A		336		276
2B		157		129
3		313		256
U1_U2	304	355	0.856	304
U3	152	180	0.84	152
U4	152	200	0.76	152
U5	152			152
PA1	175			175
PA2	175			175

Fuente: El flujo de gases de salida se obtuvo de los reportes de mediciones isocinéticas de Guacolda. Se estimó un promedio de Potencia/FG y se aplicó a las chimeneas de CAP

Finalmente se requiere información sobre el tiempo de funcionamiento de cada chimenea para poder aplicar los parámetros de costos:

Tabla 5-26 Horas de Funcionamiento consideradas para Fuentes Fijas en Escenarios Futuros

Chimenea	Hrs Funcionamiento (horas/año)
2A	8,400
2B	8,400
3	8,400
U1_U2	8,287
U3	8,517
U4	8,559
U5	8,559
PA1	8,559
PA2	8,559

Fuente: Elaboración propia a partir a información de generación bruta (CDEC, 2013) y a información entregada por CAP Minería (información relativa a horas de paralización del proceso de endurecimiento térmico).

Con toda la información anterior se procedió a estimar un costo anual, el cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-27 Costos Anuales Estimados para Fuentes Fijas Puntuales

Medida	Responsable	Detalle Fuente	Inversión	Inversión Anualizada	OyM Fijo	OyM Variable	OyM Total	Costo Total
			UF	UF/año	UF/año	UF/año	UF/año	UF/año
Precipitador Electrostatico	CAP	2A	459,731	40,081	3,754	25,745	29,499	69,581
	CAP	2B	0	0	0	0	0	0
	CAP	3	427,607	37,281	3,492	23,946	27,438	64,719
	Guacolda	U3	253,492	22,101	2,070	14,393	16,463	38,564
	Guacolda	U5	253,492	22,101	2,070	14,464	16,534	38,635
	Punta Alcalde	PA1	291,849	25,445	2,383	16,653	19,036	44,481
	Punta Alcalde	PA2	291,849	25,445	2,383	16,653	19,036	44,481
Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	Guacolda	U3	578,806	50,463	3,802	28,427	32,229	82,692
	Guacolda	U5	0	0	0	0	0	0
	Punta Alcalde	PA1	0	0	0	0	0	0
	Punta Alcalde	PA2	0	0	0	0	0	0
Desulfurizador Seco Circulante	Guacolda	U1_U2	0	0	0	0	0	0
	Guacolda	U4	0	0	0	0	0	0
Planta Desulfurizadora Humeda	Guacolda	U5	0	0	0	0	0	0
	Punta Alcalde	PA1	0	0	0	0	0	0
	Punta Alcalde	PA2	0	0	0	0	0	0

NOTA: Para el caso de las medidas que no poseen costo, esto se debe a que se hizo el supuesto que cuando la tecnología ya estaba planificada, es decir se evalúa como medida un diseño “óptimo”, este no implica ningún costo adicional/incremental para el titular, ni a nivel de inversión ni de operación y mantención.

5.2.2 Fuentes Fijas Areales

En el caso de las fuentes fijas de área, se evaluó la implementación de tres tecnologías: domos, correas tubulares y chutes optimizados.

Tabla 5-28 Datos de Costo Tecnologías de Fuentes Fijas de Área (emisiones fugitivas)

Tecnología	Costo Unitario	Unidad Costo	Referencia
Chutes Optimizados	7,240,211	CLP/chute	Cotización con Contitech Chile
Correas Tubulares	86,523	CLP/metro correa	Cotización con Contitech Chile
Domo	450	USD/m2	Cotización con Prosil, Representante de Geométrica Chile

Para las tres tecnologías se supuso una vida útil estándar de 20 años, y se consideraron las siguientes eficiencias de reducción de material particulado:

Tabla 5-29 Eficiencias de Abatimiento Tecnologías de Fuentes Fijas de Área (emisiones fugitivas)

Tecnología	Ef. Reducción MP	Referencia
Chutes Optimizados	70%	(Bengalla Mining Company, 2012)
Correas Tubulares	97%	(Comission, 2006)
Domo	99.99%	(DSS, 2008)

A continuación se presenta el método y supuestos utilizados para estimar los costos totales en cada tecnología.

5.2.2.1 Domos

Para estimar el costo total de los domos es necesario tener la superficie total a cubrir. Es posible conocer la superficie estimada para las canchas de acopio, de acuerdo a lo presentado a continuación

Tabla 5-30 Superficie de Canchas de Acopio

Cancha	Superficie 2013	Superficie 2020	Superficie 2025	Superficie Máxima
	ha	ha	ha	ha
CAP Cancha Acopio Material Continuo	7.4	6.1	6.1	7.4
CAP Cancha Carbon Continuo	0.7	1.8	1.8	1.8
CAP Cancha Reharneo Continuo	1.9	1.5	1.5	1.9
Gu Cancha Carbon Continuo	5.1	5.9	5.9	5.9
PA Cancha Carbon Continuo	0.0	2.9	5.8	5.8
PLL Cancha Acopio Continuo	0.1	0.2	0.2	0.2
Referencias:	<p>CAP y PLL: Información entregada por la empresa. Para valores futuros se utilizó EIA de ampliación planta de Pellets (GAC consultores & CAP, 2010)</p> <p>Guacolda: Información entregada por la empresa. Para valores futuros se utilizó el EIA "Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Termoeléctrica Guacolda S.A." (Illanes y Asociado & Energía, 2007) para el vertedero de cenizas, la cancha de carbón fue medida mediante Google Earth, y la superficie de la cancha de caliza fue estimación propia.</p> <p>Punta Alcalde: EIA de la Central Termoeléctrica Punta Alcalde (ENDESA-Chile, 2009)</p>			

Se considera la superficie máxima de los años evaluados, y se estima en base a eso, los costos de instalar domos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5-31 Costos Finales Instalación de Domos

Empresa	Cancha	Costo Instalación	Costo Inst. Anualizado
		UF	UF/año
CAP	CAP Cancha Acopio Material Continuo	846,179	73,774
	CAP Cancha Carbon Continuo	205,810	17,943
	CAP Cancha Reharneo Continuo	211,545	18,443
Guacolda	Gu Cancha Carbon Continuo	670,706	58,475
Punta Alcalde	PA Cancha Carbon Continuo	659,821	57,526
Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Continuo	22,741	1,983

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2.2 Correas Tubulares

Para estimar el costo de las correas tubulares es necesario conocer el largo necesario para cada trayecto de transporte.

Tabla 5-32 Largos Considerados para Trayectos de Transporte en Correas

Empresa	Cancha	Largo (m)
CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	3000
	CAP Cancha Carbon Intermitente	216
Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente	300
Punta Alcalde	PA Cancha Carbon Intermitente	420

Fuente: Elaboración Propia

En base a la información anterior se procede a estimar los costos para la instalación de correas tubulares:

Tabla 5-33 Costos Estimados para la Instalación de Correas Tubulares

Empresa	Cancha	Costo Inversión (UF)	Costo Anual (UF/año)
CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	10,552	920
	CAP Cancha Carbon Intermitente	760	66
Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente	1,055	92
Punta Alcalde	PA Cancha Carbon Intermitente	1,477	129

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2.3 Chutes Optimizados

Para estimar el costo de la instalación de chutes optimizados, es necesario conocer la cantidad de chutes que se necesitan o se utilizan en cada empresa. Para esto se estima la cantidad de acciones que se pueden llevar a cabo de manera simultánea en los procesos de carga y descarga.

Se identifican 3 tipos de acciones de carga: carguío a torre de transferencia, carguío de pila/tolva, y carguío a camión. Para cada cancha se considera la siguiente cantidad de acciones de carga:

Tabla 5-34 # de Acciones de Carga Consideradas

Acción	Empresa	Cancha	Preconcentrado	Pellets	Pellets Chips	Pellets Feed	Carbon	Caliza	Ceniza
Carguío a Torre de Transferencia	CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	1	1					
		CAP Cancha Carbon Intermitente							
		CAP Cancha Reharneo Intermitente							
	Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente					1	1	
		Gu Vertedero Intermitente							
Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Intermitente					1	1		
Carguío de Pila/Tolva	CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente		1	1	1			
		CAP Cancha Carbon Intermitente							
		CAP Cancha Reharneo Intermitente							
	Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente							
		Gu Vertedero Intermitente							
Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Intermitente								
Carguío a Camión	CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente			1	1			
		CAP Cancha Carbon Intermitente					1	1	
		CAP Cancha Reharneo Intermitente							
	Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente							
		Gu Vertedero Intermitente							1
Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Intermitente					1	1		
Total de Acciones	CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	1	2	2	2	0	0	0
		CAP Cancha Carbon Intermitente	0	0	0	0	1	1	0
		CAP Cancha Reharneo Intermitente	0	0	0	0	0	0	0
	Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente	0	0	0	0	1	1	0
		Gu Vertedero Intermitente	0	0	0	0	0	0	1
	Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Intermitente	0	0	0	0	2	2	0

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, para el caso de la descarga se identifican 9 tipos de acciones de descarga: 1) Ferrocarril a Tolva, 2) Camión a Pila, 3) Correa a Pila, 4) Correa a Área de Molienda, 5) Correa a Cancha de Acopio, 6) Correa a Pluma de Embarque, 7) Camión a Tolva de Quemado, 8) Camión a Tolva de Molienda, y 9) Camión a Cancha de Acopio. Para cada cancha se consideran las siguientes acciones:

Tabla 5-35 # de Acciones de Descarga Consideradas

Cancha	Tipo de Acción de Descarga	Preconcentrado	Pellets	Pellets Chips	Pellets Feed	Carbon	Caliza	Ceniza	Granos
CAP Cancha Acopio Material Intermitente	camión a cancha de acopio			1	1				
	Camion a pila		1	1	1				
	correa a area molienda	1							
	correa a cancha acopio				1				
	correa a pluma embarque		1	1	1				
	Ferrocarril a tolva	1							
CAP Cancha Carbon Intermitente	Camion a pila					1	1		
	camion a tolva de molienda						1		
	camion a tolva de quemado					1			
CAP Cancha Reharneo Intermitente	correa a pila	1	1	1	1				
Gu Cancha Carbon Intermitente	Camion a pila						1		
	camion a tolva de molienda						1		
	camion a tolva de quemado					1			
	correa a pila					1			
Gu Vertedero Intermitente	camion a cancha de acopio							1	
PA Cancha Carbon Intermitente	Camion a pila						1		
	camion a tolva de molienda						1		
	camion a tolva de quemado					1			
	correa a pila					1			
PA Vertedero Intermitente	camion a cancha de acopio							1	
PLL Cancha Acopio Intermitente	camion a cancha de acopio					1	1		
	correa a pila					1	1		1

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 5-36 presenta un resumen de la cantidad total de acciones y por lo tanto chutes considerados para cada cancha, además de los costos totales y anuales estimados.

Tabla 5-36 Costos de Chutes Optimizados estimados por Empresa y Cancha

Empresa	Cancha	# Chutes	Costo Inversión (UF)	Costo Anual (UF/año)
CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	18	5,298	462
	CAP Cancha Carbon Intermitente	6	1,766	154
	CAP Cancha Rehorneo Intermitente	4	1,177	103
Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente	6	1,766	154
	Gu Vertedero Intermitente	2	589	51
Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Intermitente	9	2,649	231

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 Fuentes Móviles Fugitivas

Para las fuentes móviles se evaluaron 4 medidas: 1) pavimentación de caminos, 2) mejoramiento del espacio urbano, 3) cobertura de vagones de tren y 4) hidrolavado de trenes.

Las dos primeras medidas abordan las emisiones fugitivas de las fuentes móviles, en el primer caso del polvo resuspendido por flujo de vehículos en caminos de tierra (principalmente camiones de empresas) y en el segundo paso por polvo resuspendido en la ciudad por flujo de vehículos en caminos pavimentados.

A continuación se presenta un detalle de la información utilizada para evaluar los costos en cada uno de los casos.

5.2.3.1 Pavimentación de Caminos

Para la pavimentación de caminos se considera un costo de pavimentación de 2.05 UF/m² de acuerdo a información del SERVIU Metropolitano²⁰ del MINVU. Se supone además que las calles tienen un ancho de 6 metros, y el pavimento una vida útil de 7 años. Con esto, basta con conocer los metros lineales a pavimentar para estimar el costo total.

²⁰ SERVIU METROPOLITANO. Presupuesto Estimativo de Pavimentación de Calles. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCMQFjAAahUKEwjBk83uyIvHAhVD0oAKHXvPDf4&url=http%3A%2F%2Fpavimentacion.metropolitana.minvu.cl%2Fdoc%2Fmpall%2FPRESUPUESTO%2520SERVIU.xls&ei=Baq-VYH9IcOkgwT7nrfwDw&usg=AFQjCNG2awDulGctn_USVMfrJ9B7Xd_kg&sig2=s1okd69juH5y2XfX6UyOTA&bvm=bv.99261572,d.eXY

De acuerdo a los caminos de tierra considerados y georreferenciados (ver Figura 3-3, Figura 3-4 y Figura 3-5), se consideran las siguientes distancias a pavimentar:

Tabla 5-37 Distancia a Pavimentar según Tramo

Tramo a Pavimentar	kms lineales
Puerto Las Losas a CAP	0.6
Guacolda a Vertedero Guacolda	8.76
Entrada a Punta Alcalde	50
Punta Alcalde a Vertedero Punta Alcalde	6.3
Otros Puerto Las Losas	0.6

Fuente: Elaboración Propia

Con lo anterior los costos estimados para la pavimentación de caminos son:

Tabla 5-38 Costos Estimados para Pavimentación de Caminos

Tramo a Pavimentar	Inversión (UF)	Costo Anualizado (UF/año)
Puerto Las Losas a CAP	7,380	1,322
Guacolda a Vertedero Guacolda	107,748	19,301
Entrada a Punta Alcalde	615,000	110,168
Punta Alcalde a Vertedero Punta Alcalde	77,490	13,881
Otros Puerto Las Losas	7,380	1,322

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.2 Mejoramamiento del Espacio Urbano

La medida “mejoramamiento del espacio urbano” se concibe como una media holística que integre aspectos como el aumento de áreas verdes, la limpieza de los espacios públicos, barrido de calles, entre otros. Para efectos de la evaluación de la medida en este caso, se simplificó la evaluación de manera de simular qué sucedería con un programa de aspirado de calles.

Para los costos, se considera el estudio realizado por GreenLabUC (GreenlabUC, 2013), donde se estima un costo de operación de 0.55 UF/km barrido, valor que fue utilizado originalmente para evaluar la medida en el Plan de Descontaminación de la RM (DICTUC, 2008). Se supone que se aspirará un total de 300 kms por año²¹.

Con lo anterior se estima un costo anual del programa equivalente a 165 UF/año.

²¹ Para la RM se pronosticó en el Programa de Lavado y Aspirado de Calles un total de 3.900 kms/mes. Ver http://www.intendenciametropolitana.gov.cl/n3961_02-04-2013.html

5.2.3.3 Cobertura de Vagones

De acuerdo a Connell Hatch (2008) el costo de inversión de cobertores de vagón asciende a un total de 10.000 AUD/vagón, con un costo de operación de 5 AUD/viaje-vagón, y una vida útil de 20 años.

Se considera que cada tren tiene un total de 33 vagones, y la empresa en total posee 6 trenes, para un total de 198 vagones a modificar.

Con esto, el costo total de la medida supera los 27.000 uf/año.

Tabla 5-39 Costos Estimados para Cobertura de Vagones

Medida	Inversión	Costo OyM	Costo Total
	UF	UF/año	UF/año
Cobertura vagones	45,466	23,650	27,614

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.4 Hidrolavado de trenes

De acuerdo a Connell Hatch (Connell Hatch, 2008) el costo de inversión de un equipo de hidrolavado de trenes es 5.000.000 AUD/equipo, con un costo de operación de 0.55 AUD/viaje-vagón, y una vida útil de 10 años.

Se considera que cada tren tiene un total de 33 vagones, y la empresa en total posee 6 trenes, para un total de 198 vagones a modificar.

Con esto, el costo total de la medida supera los 18.000 uf/año.

Tabla 5-40 Costos Estimados para Hidrolavado de trenes

Medida	Inversión	Costo OyM	Costo Total
	UF	UF/año	UF/año
Cobertura vagones	114,812	2,601	18,201

Fuente: Elaboración Propia

6. Impacto de Medidas de Reducción de Emisiones en la Calidad del Aire

Utilizando las relaciones de emisión – calidad del aire estimadas en la sección 4, se puede simular la calidad del aire que tendrá la localidad de Huasco a futuro. La Figura 6-1 muestra la manera en que evolucionará la calidad del aire en un escenario base, en donde se proyecta sobrepasar los niveles de saturación de norma anual, debido a varias razones:

- 4) Potencial operación de chimeneas de acuerdo a emisiones ambientalmente aprobadas (bastante mayores que la operación actual)
- 5) Entrada en funcionamiento de la chimenea 3 de CAP
- 6) Entrada en funcionamiento de la central Punta Alcalde

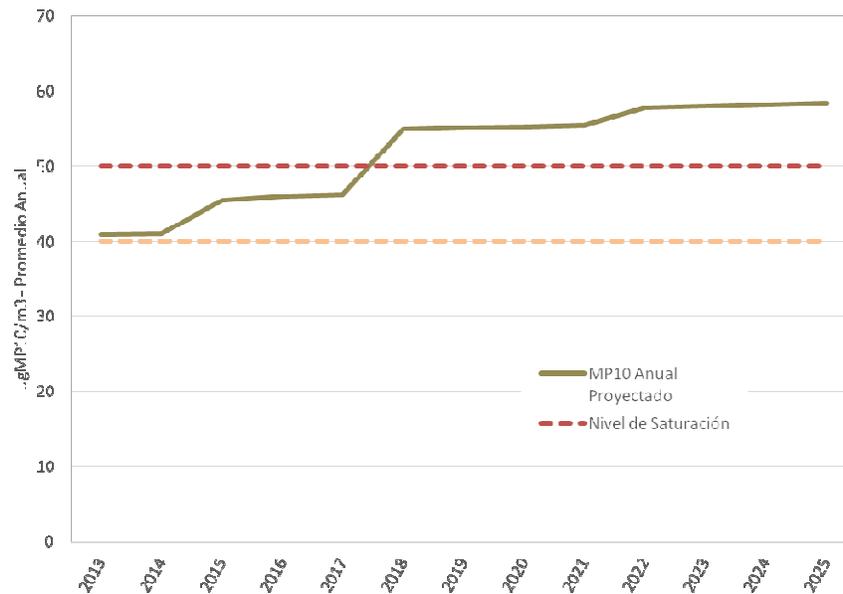


Figura 6-1 Proyección de la Calidad del Aire (concentración de MP10) en el escenario base

En la Tabla 6-1 se puede observar también el aporte que tendrán a la calidad del aire las distintas fuentes el año 2025. El mayor aporte lo hace CAP Minería y principalmente por emisiones de combustión, seguido por el aporte de las fuentes móviles que circulan en la zona urbana.

Tabla 6-1 Aporte de Concentración (ugMP10/m3) – Año 2025

Responsable	Combustión	Fugitivas	Total
CAP	8.70	10.58	19.29
Guacolda	1.73	1.35	3.09
Punta Alcalde	1.22	3.07	4.29
Puerto Las Losas	0.00	0.53	0.53
Otros	0.23	5.60	5.84
Total	11.90	21.14	33.04

Fuente: Elaboración Propia

NOTA: “Otros” corresponde a aporte producto del funcionamiento de fuentes no atribuibles a empresas, es decir, atribuibles al funcionamiento de la Localidad de Huasco en general y corresponde principalmente al aporte de fuentes móviles por emisión de combustión y levantamiento de polvo.

Un resumen de indicadores a nivel de medida se presenta en la siguiente tabla. Dichos resultados se utilizan para generar en base a un criterio de costo efectividad, los cronogramas de implementación de medidas que se presentarán en la siguiente sección. Destacan de la tabla resumen la aplicación de 7 medidas: 1) Precipitadores electrostáticos en CAP (principalmente chimenea 3), 2) chutes optimizados en las canchas de material de CAP, 3) Mejoramiento del Espacio Urbano, 4) pavimentación del camino hacia Punta Alcalde, 5) Cobertura de vagones de CAP, 6) Pavimentación del camino al vertedero de Guacolda, y 7) Precipitadores Electrostáticos en Punta Alcalde. De hecho, como se aprecia en la Figura 6-2, la implementación de estas 7 medidas comprende el 90% del potencial de reducción, equivalente a 19.4 (ug/m3) de MP10.

Tabla 6-2 Resumen de Indicadores Medidas Evaluadas

Tipo de Fuente	Responsable	Medidas	Costo Anual	Reducción Concentración MP10	Costo Efectividad
			UF/año	ug/m3	UF/(ug/m3)
Fija Fugitiva	CAP	Domos	93,762	0.203	460,907
		Chutes optimizados	718	4.406	163
		Correas tubulares	986	0.040	24,384
	Guacolda	Domos	58,475	0.003	20,680,468
		Chutes optimizados	205	0.074	2,768
		Correas tubulares	92	0.001	74,383
	Puerto Las Losas	Domos	1,983	0.0002	12,214,580
		Chutes optimizados	231	0.361	639
	Punta Alcalde	Domos	57,526	0.003	19,351,572
		Correas tubulares	129	0.0004	357,161
Fija Fugitiva Total			214,108	5.093	42,039
Fijas Combustion	CAP	Precipitador Electrostatico	133,919	4.819	27,791
	Guacolda	Precipitador Electrostatico	77,199	0.241	320,841
		Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	82,692	0.165	500,130
		Desulfurizador Seco Circulante	0	0.036	0
		Planta Desulfurizadora Humeda	0	0.011	0
	Punta Alcalde	Precipitador Electrostatico	88,962	0.674	132,006
		Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	0	0.079	0
		Planta Desulfurizadora Humeda	0	0.346	0
Fijas Combustion Total			382,772	6.370	60,089
Movil Fugitiva	CAP	Cobertura de Vagones	27,614	1.424	19,391
		Hidrolavado de Vagones	18,201	0.288	63,107
		Pavimentacion	1,322	0.353	3,747
	Guacolda	Pavimentacion	19,301	0.957	20,167
	Puerto Las Losas	Pavimentacion	1,322	0.010	134,200
	Punta Alcalde	Pavimentacion	124,049	2.851	43,507
	Otros	Mejoramiento Espacio Urbano	165	4.244	39
Movil Fugitiva Total			191,974	10.127	18,956
Grand Total			788,854	21.590	36,538

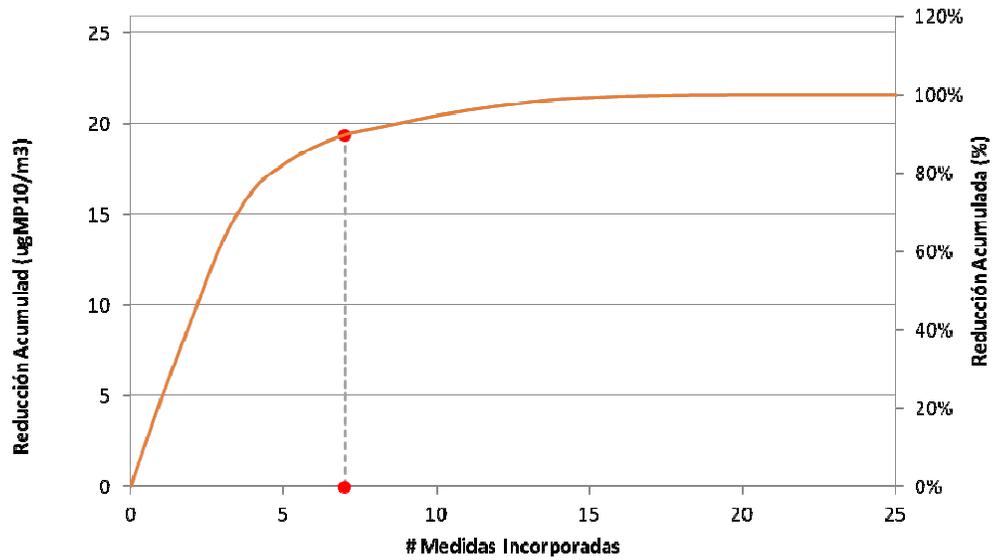


Figura 6-2 Reducción de Concentración de MP10 acumulado según # medidas incorporadas

NOTA: Se define la incorporación de medidas en orden decreciente según potencial de reducción de concentración de MP10.

7. Propuesta de Cronogramas de Reducción de Emisiones

Para definir los cronogramas de reducción de emisiones, se consideran los siguientes criterios:

- 1) Costo-efectividad de las medidas: estimado en base al potencial de reducción de concentración de MP10 en (UF/($\mu\text{gMP10}/\text{m}^3$)), y
- 2) Tiempos de implementación de las medidas.

En base a los criterios anteriores se construyen 3 escenarios o cronogramas (conservador, esperado y optimista) en donde la incorporación de medidas se realiza de la siguiente manera:

- 4) **Fuentes nuevas:** aquellas fuentes/chimeneas que no existen todavía en el parque y cuya construcción todavía no ha comenzado (chimenea 3 de CAP y ambas chimeneas de Punta Alcalde). Se asume que el tiempo de implementación es 0 en el escenario optimista, y por lo tanto pueden estar efectivas una vez que entren en operación las fuentes. Para los escenarios esperados y conservador se consideran tiempos de implementación desde la entrada en operación de las chimeneas de 1 y 2 años.
- 5) **Fuentes existentes con equipos de abatimiento nuevos:** se utiliza el mismo criterio que para fuentes nuevas, asumiendo que los equipos de abatimiento no han sido diseñados ni construidos todavía (ej. Precipitador electrostático en la chimenea 2B de CAP), y que todavía hay tiempo suficiente para que una vez que entren en operación las chimeneas, los equipos estén operativos.
- 6) **Fuentes existentes:** se verificaron los tiempos mínimos de implementación de las medidas, valor que se utilizó como cota mínima (ver Tabla 7-1). Sobre este valor se construyeron los escenarios optimista, esperado y conservador, adicionando 0, 1 y 2 años respectivamente.

La tabla a continuación muestra los tiempos de implementación de las medidas, la referencia de la información y los tiempos mínimos considerados para la modelación de las medidas.

Tabla 7-1 Tiempos de implementación de medidas

Medida	Tiempo mínimo de implementación	Tiempo mínimo considerado para modelación	Referencia
Domos	150 días = 5 meses	1 año	Caso de estudio: Domo para Barrick Zaldívar de 95 metros ²²
Correas Tubulares	6 meses – 2 años	2 años	Casos de Estudio ²³
Chutes optimizados	60 días= 2 meses	1 año	Según cotización ContiTech ²⁴
Precipitador Electrostático	12 – 16 meses	2 años	(KAS, 2009)
Planta Desulfurizadora Húmeda	18 – 24 meses	2 años	(KAS, 2009)
Sistema de Reducción Catalítica Selectiva	12 – 16 meses	2 años	(KAS, 2009)
Lavado de vagones	< 3 meses	1 año	Supuesto consultor
Cobertura de vagones	< 3 meses	1 año	Supuesto consultor
Pavimentación	< 6 meses	1 año	Caso de estudio RM ²⁵
Mejoramiento Espacio Urbano	1 año	1 año	Supuesto consultor

Finalmente en la tabla a continuación se presentan los años de entrada en operación de las distintas medidas propuestas por el consultor:

²² <http://geometrica.com/es/new-95m-dome-for-barrick-zaldivar-chile>

²³ <http://www.pipeconveyor.com/Case%20Studies/Studies.htm>

²⁴ <http://www.contitech.cl/>

²⁵ <http://www.emol.com/noticias/nacional/2013/01/21/580135/lanzan-plan-de-pavimentacion-de-60-kilometros-de-calles-de-la-region-metropolitana.html>

Tabla 7-2 Año de Entrada Medidas

Responsable	Tipo de Fuente	Detalle de Fuente o Chimenea	Medida	Año de Entrada Operación Fuente (*)	Tiempo de implementación	Escenarios de Entrada de Medidas			
						Optimista	Esperado	Conservador	
CAP	Fijas Combustión	2A	Precipitador Electrostatico	2013	2	2018	2019	2020	
		2B			2	2018	2019	2020	
		3		2018	0	2018	2019	2020	
	Fija Fugitiva	CAP Cancha Acopio Material Continuo	Domos	2013	1	2017	2018	2019	
		CAP Cancha Acopio Material Intermitente	Chutes optimizados		1	2017	2018	2019	
			Correas tubulares		2	2018	2019	2020	
		CAP Cancha Carbon Continuo	Domos		1	2017	2018	2019	
		CAP Cancha Carbon Intermitente	Chutes optimizados		1	2017	2018	2019	
			Correas tubulares		2	2018	2019	2020	
		CAP Cancha Reharneo Continuo	Domos		1	2017	2018	2019	
	CAP Cancha Reharneo Intermitente	Chutes optimizados	1		2017	2018	2019		
	Movil Fugitiva	Linea de Tren entrada-CAP	Cobertura de Vagones		1	2017	2018	2019	
			Hidrolavado de Vagones		1	2017	2018	2019	
Puerto Las Losas a CAP		Pavimentacion	1		2017	2018	2019		
Guacolda	Fijas Combustión	U1_U2	Desulfurizador Seco Circulante		2016	2	2018	2019	2020
		U3	Precipitador Electrostatico			2	2018	2019	2020
			Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	2		2018	2019	2020	
		U4	Desulfurizador Seco Circulante	2		2018	2019	2020	
		U5	Precipitador Electrostatico	2		2018	2019	2020	
	Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)		2	2018		2019	2020		
		Planta Desulfurizadora Humeda	2	2018		2019	2020		
	Fija Fugitiva	Gu Cancha Carbon Continuo	Domos	2013		1	2017	2018	2019
		Gu Cancha Carbon Intermitente	Chutes optimizados			1	2017	2018	2019
			Correas tubulares			2	2018	2019	2020
		Gu Vertedero Intermitente	Chutes optimizados			1	2017	2018	2019
Movil Fugitiva	Guacolda a Vertedero Guacolda	Pavimentacion	1		2017	2018	2019		
Puerto Las	Fija Fugitiva	PLL Cancha Acopio Continuo	Domos		1	2017	2018	2019	

Responsable	Tipo de Fuente	Detalle de Fuente o Chimenea	Medida	Año de Entrada Operación Fuente (*)	Tiempo de implementación	Escenarios de Entrada de Medidas		
						Optimista	Esperado	Conservador
Losas		PLL Cancha Acopio Intermitente	Chutes optimizados		1	2017	2018	2019
	Movil Fugitiva	Otros Puerto Las Losas	Pavimentacion		1	2017	2018	2019
Punta Alcalde	Fijas Combustión	PA1	Precipitador Electrostatico	2018	0	2018	2019	2020
			Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)		0	2018	2019	2020
			Planta Desulfurizadora Humeda		0	2018	2019	2020
	PA2	Precipitador Electrostatico	2022	0	2022	2023	2024	
		Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)		0	2022	2023	2024	
		Planta Desulfurizadora Humeda		0	2022	2023	2024	
	Fija Fugitiva	PA Cancha Carbon Continuo	2016	Domos	1	2017	2018	2019
		PA Cancha Carbon Intermitente		Chutes optimizados	1	2017	2018	2019
Correas tubulares				2	2018	2019	2020	
PA Vertedero Intermitente		Chutes optimizados		1	2017	2018	2019	
Otros	Movil Fugitiva	Recorrido Ciudad	Mejoramiento Espacio Urbano	2013	1	2017	2018	2019

Fuente: Elaboración Propia

(*): 2013 quiere decir que la fuente ya estaba operativa a ese año, independiente que haya entrado en operación años anteriores.

Como muestra la figura a continuación, mediante la incorporación de las medidas evaluadas, es posible lograr una reducción de la concentración de MP10 a niveles bajo el 80% de la norma anual (nivel de latencia), llegando a valores cercanos a 33.5 ug/m3 implementando todas las medidas (incluyendo un programa de mejoramiento del espacio urbano) y además exigiendo que las empresas lleven a cabo sus medidas a costo 0. Si solamente se implementas las 7 medidas que tienen el mayor impacto, equivalente al 90% del total del potencial de reducción de concentración de MP10, se alcanzarían niveles de 35.6 ug/m3.

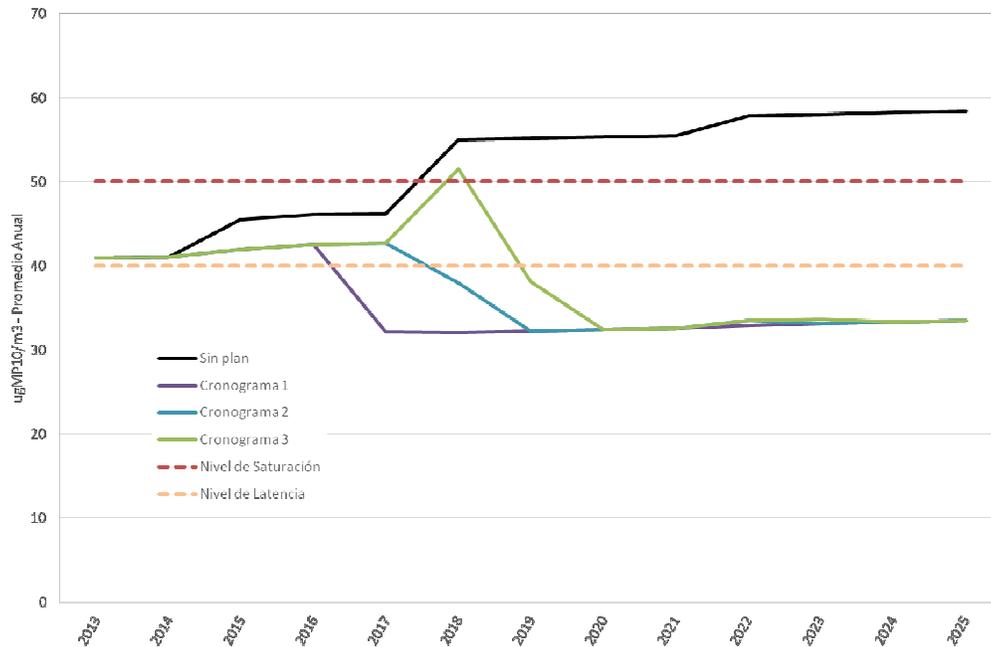


Figura 7-1 Concentración de MP10 Proyectada según Escenario

8. Bibliografía

- Amann, M., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., Bertok, I., Höglund-Isaksson, L., ... Robert Sandler Fabian Wagner, Wilfried Winiwarter, W. S. (2011). Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications. www.elsevier.com/locate/envsoft, 13.
- Bengalla Mining Company. (2012). Coal Mine Particulate Matter Control Best Practice Management Determination.
- CAP Minería. (2006). Declaración de Impacto Ambiental "Puerto Las Losas."
- CENMA. (2006). Estudio de calidad del aire en la comuna de huasco.
- CNE. (2014). Generación Bruta SING-SIC.
- Comission, E. (2006). Integrated Pollution Prevention and control Reference Document on Best Available Techniques on emissions from Storage.
- CONAMA. (1996). *Análisis General del Impacto Económico y Social Plan de Descontaminación para el Área Circundante a la Fundición de Caletones de la División el Teniente de Codelco Chile*. Santiago.
- CONAMA. (2009). Guía Metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. (D. de C. de la C. de CONAMA, Ed.). Santiago. Retrieved from [http://retc.conama.cl/archivo/GUIA CONAMA.pdf](http://retc.conama.cl/archivo/GUIA_CONAMA.pdf)
- Connell Hatch. (2008). Final Report - Environmental Evaluation of Fugitive Coal Dust Emissions from Coal Trains Goonyella, Blackwater and Moura Coal Rail Systems Queensland Rail Limited.
- Contess Environmental. (2006). WRAP Fugitive Dust Handbook.
- COREMA III Región. (2010). RCA Proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets."
- COREMA III Región. (2012). RCA Proyecto "Central Termoeléctrica Punta Alcalde."
- De Rus, G. (2011). The BCA of HSR: Should the Government Invest in High Speed Rail Infrastructure? *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2(1, Article 2). <http://doi.org/10.2202/2152-2812.1058>
- DICTUC. (2008). Análisis y Evaluación del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana. Santiago, Chile.

- DICTUC. (2009). *Análisis Técnico-Económico de la Aplicación de la Revisión de Norma de Emisión para Motores de Buses de Locomoción Colectiva de la Ciudad de Santiago*.
- DSS. (2008). Análisis General de Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación Atmosférico para la zona circundante a la ciudad de Tocopilla.
- E.H. Pechan & Associates, I. (2006). *Air Control Net*. (I. E.H. Pechan & Associates, Ed.). Springfield, VA: US Government.
- Endesa. (2014). Página WEB ENDESA.
- ENDESA-Chile. (2009). Estudio Impacto Ambiental Proyecto: “Central Termoeléctrica Punta Alcalde.”
- EPA. (2010). *Control Strategy Tool (CoST), Control Measure Database (CMDB) Documentation*.
- Ferreira, a. D., Viegas, D. X., & Sousa, A. C. M. (2003). Full-scale measurements for evaluation of coal dust release from train wagons with two different shelter covers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(10), 1271–1283. [http://doi.org/10.1016/S0167-6105\(03\)00077-1](http://doi.org/10.1016/S0167-6105(03)00077-1)
- GAC. (2009). EIA -Central Termoelectrica Punta Alcalde.
- GAC consultores. (2014). Emisiones y calidad del aire en Huasco, Región de Atacama.
- GAC consultores, & CAP. (2010). Estudio de Impacto Ambiental Proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets.”
- Gobierno Vasco. (2012a). Guía para la Prevención de Emisiones Difusas de Partículas.
- Gobierno Vasco. (2012b). Guía para la Prevención de Emisiones Difusas de Partículas. Retrieved from http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/manual/guia_emisiones_difusas/es_doc/adjuntos/guia_emisiones_difusas.pdf
- GreenlabUC. (2013). *Desarrollo de Modelo Genérico para Evaluación de Planes de Prevención y de Descontaminación Ambiental para Aire Estudio solicitado por El Ministerio del Medio Ambiente*.
- GreenLabUC, & Sistemas Sustentables. (2012). Análisis Técnico-Económico de la Aplicación de Nuevas Normas de Emisión para Fuentes Móviles a Nivel Nacional.
- Guacolda Energia. (2013). Proyecto Guacolda U5 / Retrofits U1-U2-U4 Descripción Proyecto Retrofits (pp. 1–29).

- Hamon Research-Cottrell. (2014a). Dry Flue Gas Desulfurization. Retrieved from <http://www.hamonusa.com/hamonresearchcottrell/products/dfgd>
- Hamon Research-Cottrell. (2014b). Dry Flue Gas Desulfurization.
- Illanes y Asociado, & Energía, G. (2007). *Estudio de Impacto Ambiental “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.”*
- Illanes y Asociados, & Guacolda Energia. (2005). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto “Central Guacolda Unidad N°3.”*
- Illanes y Asociados, & Guacolda Energia. (2007). *Estudio de Impacto Ambiental “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.”*
- Illanes y Asociados, & Guacolda Energia. (2009). *Estudio de Impacto Ambiental “Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.”*
- Illanes y Asociados, & Guacolda Energia. (2013). Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas.”
- Jensen-holm, H., Lindenhoff, P., & Safronov, S. (2007). SCR Design Issues in Reduction of NOx Emissions from Thermal Power Plants. *Russia Power*.
- KAS. (2009). *Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas*.
- MIDEPLAN. (2011). Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos. (E. e I. División de Planificación, Ed.). Santiago, Chile,.
- Moretti, A. L. (2014). State-of-the-Art Upgrades to Existing Wet FGD Systems to Improve SO2 Removal, Reduce Operating Costs and Improve Reliability. Babcock & Wilcox Power Generation Group, Inc. Retrieved from <http://www.babcock.com/library/documents/br-1909.pdf>
- Puerto Las Losas. (2008). Declaración de Impacto Ambiental “Sitio 2 Puerto Las Losas.”
- RCA N° 215/2010. Proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” (2010).
- RCA N°191/2010. RCA Proyecto “Unidad 5 Central Termoeléctrica Guacolda S.A” (2010).
- RCA N°236/2007. RCA Proyecto “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.” (2007).
- RCA N°44/2014. RCA Proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas” (2014).

- RCA-Nº138/2012. Proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde” (2012).
- Sercoamb Ltda. (2013a). Informe de Muestreo Isocinético de Material Particulado y Gases: 6 de noviembre de 2013.
- Sercoamb Ltda. (2013b). Informe de Muestreo Isocinético de Material Particulado y Gases: 7 de marzo 2013.
- Seremi de Medio Ambiente Region de Atacama. (2012). Informe de Calidad del Aire y Emisiones Dióxido de Azufre , Material Particulado Respirable y Material Particulado Sedimentable .
- SQM. (1997). Plan del Descontaminación para el Material Particulado Respirable para las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia.
- Universidad de Concepción, & PROTERM. (2011). Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción.
- US-EPA. (1993). AP-42 Section 1.1. Bituminous and Subbituminous Coal Combustion.
- US-EPA. (1995). AP-42 Ch 12.5 Iron and Steel Production.
- US-EPA. (1998). Ap-42 Ch 11.9 Western Surface Coal Mining, (1).
- US-EPA. (2006). Ap-42 Ch 13.2 “Aggregate Handling and Storage Piles,” 4–9.
- Villena, M. M., Chávez, C., & SCL Econometrics. (2007). *Análisis General de Impacto Económico y Social del Rediseño del Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable (PM10) en la Región Metropolitana. Estudio Realizado para CONAMA RM.* SCL Econometrics.

9. Anexos

9.1 Antecedentes de la Zona en Estudio

Para la recopilación de antecedentes se revisaron diversos estudios y documentos relacionados con los niveles de actividad de las fuentes, las tecnologías utilizadas en estas, la emisión y dispersión de los contaminantes y la calidad del aire. La Tabla 9-35 presentada en la sección 9.2 muestra los documentos analizados según materia y su relevancia para el estudio.

En las siguientes subsecciones se presenta en detalle la información consolidada respecto las emisiones atmosféricas y calidad del aire en la localidad de Huasco.

9.1.1 Emisiones

A continuación se presentan distintas fuentes de información y formatos de emisiones por establecimiento, tanto estimadas por consultores (ej. CENMA, DICTUC) o declaradas y obtenidas del sitio web del “Registro de Emisiones y Transferencia de Emisiones (RETC)”²⁶. Luego se presenta un análisis de las emisiones a nivel de cada establecimiento.

²⁶ <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/channel.html>

Tabla 9-1: Emisiones Declaradas en el RETC (ton/año)

Año	Establecimiento	MP	MP10	MP25	NOx	SOx
2007	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SA	100	67	12	544	1.896
	CIA MINERA DEL PACIFICO S A	396	198	55	310	338
	EMPRESA ELECTRICA GUACOLDA S.A.	1.584	1.061	459	10.071	33.285
2007 Total		2.080	1.326	527	10.925	35.519
2008	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SA	100	67	12	544	1.896
	CIA MINERA DEL PACIFICO S A	396	198	55	310	338
	EMPRESA ELECTRICA GUACOLDA S.A.	1.622	1.070	459	10.080	86.536
2008 Total		2.118	1.335	527	10.934	88.771
2009	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SA	752	715	36	427	1.429
	CIA MINERA DEL PACIFICO S A	405	202	57	435	345
	EMPRESA ELECTRICA GUACOLDA S A	213	102	110	8.870	45.589
2009 Total		1.370	1.020	202	9.732	47.363
2010	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SA	0	0	0	2	0
	CIA MINERA DEL PACIFICO S A	396	198	55	322	1.010
	EMPRESA ELECTRICA GUACOLDA S A	160	0	1	1.273	11.311
2010 Total		556	198	57	1.597	12.321
2011	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SA	0	0	0	1	0
	CIA MINERA DEL PACIFICO S A	396	198	55	310	463
	EMPRESA ELECTRICA GUACOLDA S A	161	0	1	3.713	19.931
2011 Total		557	198	57	4.024	20.394
2012	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD SA	0	0	0	0	0
	CIA MINERA DEL PACIFICO S A	396	342	55	328	852
	EMPRESA ELECTRICA GUACOLDA S A	107	0	1	3.773	13.442
2012 Total		503	342	57	4.102	14.294

Fuente: RETC

Tabla 9-2: Emisiones estimadas por fuente (kg/año)

	Fuentes Identificadas	MP10
Entorno Urbano	Empresas Pequeñas en Huasco	73
	Transito urbano y tubo de escape	12.251
	Zonas erosionables en el entorno urbano	2.713
	Tránsito de ferrocarril (trayecto zona urbana)	496
Fuentes Industriales	Guacolda	920.715
	CMP	845.589
	Endesa Huasco	114.022
	Tránsito de ferrocarril (fuera del área urbana)	991
Fuentes Difusas	Zonas erosionables fuera del entorno urbano	37.663
	Total	1.932.013

Fuente: (CENMA, 2006), total revisado

Tabla 9-3: Emisiones Estimadas Fuentes Puntuales Principales (ton/año) - 2009

Empresa	Unidad	Emisiones Aprobadas Ambientalmente				Muestreo Isocinético			
		PTS	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	PTS	MP ₁₀	SO ₂	NO _x
CMP	2A	1.492,9	1.492,9	788,4	433,6	744	-	747	21,9
	2B	719,1	719,1	770,2	289,1	610	-	716	21
Guacolda	U _{1 y 2}	803	803	24.820	5.402	580	-	27.418	4.126
	U ₃	219	219	3942	2.920	672	-	3.416	1.709
	U ₄	292	292	8979	292	32	-	6.351	300

Fuente: (DICTUC, 2009)

Tabla 9-4: Emisiones Estimadas DICTUC – Barcos en Huasco (ton/año) - 2009

Insumo transportado	MP ₁₀	SO ₂	NO _x
Carbón para centrales térmicas Guacolda	1,56	121,3	62,3
Pellets de concentrado de Hierro de CMP	2,34	181,7	93,3
Totales emisiones de embarcaciones	3,90	303,0	155,6

Fuente: (DICTUC, 2009)

Como se aprecia en las tablas anteriores, no existe consistencia con respecto a las emisiones estimadas y declaradas para la zona. Por ejemplo, la información proveniente del RETC (Tabla 9-1), presenta inconsistencias para algunos contaminantes (ej. Emisiones de Guacolda en los años 2010, 2011, y 2012). Para realizar una correcta estimación de las emisiones es necesario identificar las principales fuentes de emisión de contaminantes. De acuerdo a los estudios revisados y lo observado en la primera visita a terreno (ver secciones 9.3 y 9.9 de Anexos), estas son:

- Central termoeléctrica Guacolda
- Planta de Pellet de Compañía Minera del Pacífico (CMP)
- Puertos Marítimo Las Losas²⁷
- Pequeña Central de Endesa
- Tráfico vehicular de la comuna

La caracterización de fuentes emisoras se realizó en base a información recopilada durante las visitas a la zona de estudio e inspección visual de las fuentes (ver secciones 9.3 y 9.9 de anexos), además de la consulta a los siguientes documentos:

²⁷ Emisiones de Puertos Guacolda I y Guacolda II se consideran dentro de Complejo Guacolda y CMP respectivamente.

- **Complejo Termoeléctrico Guacolda:**
 - (GAC consultores, 2014): Emisiones y Calidad del Aire en Huasco, Región de Atacama.
 - (Illanes y Asociado & Energía, 2007): Estudio de Impacto Ambiental "Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A"
 - (Illanes y Asociados & Guacolda Energia, 2005): Estudio de Impacto Ambiental Proyecto "Central Guacolda Unidad N°3"
 - (Illanes y Asociados & Guacolda Energia, 2009): Estudio de Impacto Ambiental "Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A."
 - (Illanes y Asociados & Guacolda Energia, 2013): Declaración de Impacto Ambiental Proyecto "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas"
 - (CNE, 2014): Generación Bruta SING-SIC

- **Planta de Pellets – CMP:**
 - (GAC consultores & CAP, 2010): Estudio de Impacto Ambiental Proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets"
 - (GAC consultores, 2014): Emisiones y Calidad del Aire en Huasco, Región de Atacama.
 - Información entregada por la empresa (adjunta en formato digital)

- **Puerto Las Losas:**
 - (CAP Minería, 2006): Declaración de Impacto Ambiental "Puerto Las Losas"
 - (Puerto Las Losas, 2008): Declaración de Impacto Ambiental "Sitio 2 Puerto Las Losas"

- **Centrales Térmicas de Endesa:**
 - (Endesa, 2014): Página web de empresa Endesa
 - (CNE, 2014): Generación Bruta SING-SIC
 - (ENDESA-Chile, 2009): Estudio Impacto Ambiental Proyecto: "Central Termoeléctrica Punta Alcalde"

A continuación se presenta una caracterización de cada una de las fuentes de emisión identificadas.

Central Termoeléctrica Guacolda

Información general

La central termoeléctrica Guacolda es propiedad de la Empresa Eléctrica Guacolda S.A (EEGSA) y los principales fabricantes de sus unidades son Mitsubishi Heavy Industries (MHI) y consta de cuatro unidades de 152 MW cada una. Las unidades 1 y 2 comparten una misma chimenea, mientras que las unidades 3 y 4 tienen sus propias chimeneas. Actualmente se encuentra en construcción una quinta unidad de la misma potencia. Las unidades utilizan como combustible carbones bituminosos, sub-bituminosos y Petcoke regularmente, petróleo pesado como respaldo y petróleo diésel para las partidas.

Para controlar las emisiones actualmente cuentan con precipitadores electrostáticos en las unidades 1, 2 y 4, un desulfurizador húmedo en la unidad 3 y un sistema de reducción catalítica selectiva (SCR en Inglés) con amoníaco en la unidad 4.

A continuación se muestra el detalle de las cuatro unidades actualmente en funcionamiento además la futura Unidad 5:

Tabla 9-5: Descripción unidades de generación eléctrica en CT Guacolda

Nombre Unidad Generadora CDEC	Unidad N°1	Unidad N°2	Unidad N°3	Unidad N°4	Unidad N°5
Fecha de Puesta en Servicio	29-07-1995	22-08-1996	03-08-2009	31-03-2010	09-2015
Procesos Unitarios - Fuente emisora	Caldera de combustión carbón pulverizado				
Ciclo de Operación de Fuente Emisora	Operación continua anual Detenciones programadas anuales para mantención general	Operación continua anual Detenciones programadas anuales para mantención general	Operación continua anual Detenciones programadas anuales para mantención general	Operación continua anual Detenciones programadas anuales para mantención general	Operación continua anual Detenciones programadas anuales para mantención general
Período de Mantención	Mantención anual general – Aprox. 12 a 15 días Mantención Quinquenal General – Aprox. 30 a 60 días	Mantención anual general – Aprox. 12 a 15 días Mantención Quinquenal General – Aprox. 30 a 60 días	Mantención anual general – Aprox. 12 a 15 días Mantención Quinquenal General – Aprox. 30 a 60 días	Mantención anual general – Aprox. 12 a 15 días Mantención Quinquenal General – Aprox. 30 a 60 días	Mantención anual general – Aprox. 12 a 15 días Mantención Quinquenal General – Aprox. 30 a 60 días
Combustible Principal	Carbón bituminoso, sub-bituminoso y/o mezclas de Carbón + Petcoke	Carbón bituminoso, sub-bituminoso y/o mezclas de Carbón + Petcoke	Carbón bituminoso, sub-bituminoso y/o mezclas de Carbón + Petcoke	Carbón bituminoso + Carbón sub-bituminoso	Carbón bituminoso + Carbón sub-bituminoso
Consumo de Combustible Principal [t/mes]	49.500	46.000	43.000	47.000	47.000
Combustible de emergencia	Petróleo 5				
Combustible de partida	Petróleo 2 (Diésel)				

Fuente: Información entregada por Guacolda y corroborada con RCA N°236/2007 (2007), RCA N°191 (RCA N°191/2010, 2010) y RCA N°44 (RCA N°44/2014, 2014)

Para administrar el combustible, este se descarga desde el buques mediante sistema de grúas con cucharas pantográficas y luego se transporta hacia las canchas de carbón, ubicadas dentro de las dependencias del complejo generador Guacolda por correas encapsuladas.

La Tabla 9-6 describe la forma de almacenar los combustibles e insumos:

Tabla 9-6: Transporte y almacenamiento de combustibles e insumos en Guacolda

Combustible	Transporte			Almacenamiento	
	Tipo	Capacidad	Frecuencia máxima	Tipo	Capacidad
Carbón	marítima en buques	35.000-70.000 ton	3-4 buques/mes	Cancha de carbón	320.000 ton
Combustible líquido	terrestre en camiones aljibe	30.000 L	2 camiones mensuales	Estanque de petróleo grueso y estanque de petróleo diésel	100 m ³
Caliza	terrestre en camiones tolva	30 ton	5 diarios	-	-
Amoniaco	terrestre en camiones cisterna	20 ton	4 mensuales	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de información entregada por Guacolda

La disposición de cenizas y escorias se realiza en el vertedero ubicado a 5 km de la central. Los residuos son transportados mediante camiones tolva al vertedero, donde son descargados y posteriormente compactados. En cuanto se ha llegado hasta un determinado nivel se cubre la capa con arena dejando crecer la vegetación típica de la zona.

Sistemas de control de emisiones

A medida que Guacolda ha incorporado nuevas unidades, se han incorporado nuevos sistemas de control de emisiones a las distintas unidades y chimeneas, así como a las canchas de acopio y al vertedero. A continuación se presenta un detalle de los sistemas de control instalados actualmente y la situación futura considerando los compromisos ambientales de la empresa, tanto para las unidades (o chimeneas) y las canchas y vertedero.

La Tabla 9-7 muestra los distintos sistemas de control de emisiones instalados actualmente en las unidades generadoras del complejo termoeléctrico de Guacolda.

Tabla 9-7: Sistemas de Control de Emisiones Central Guacolda – Situación Actual

Unidad	Parámetro a controlar	Equipo de Abatimiento	Fabricante	Eficiencia de Abatimiento (%)	Fecha de puesta en servicio
Unidades 1 y 2	MP	Precipitador electrostático 1 (uno en cada unidad)	Lurgi	98,6	29-07-1995
	MP	Precipitador electrostático 2 (para ambas unidades)	KC Cotrell	99,6	S/I
Unidad 3	MP	Precipitador electrostático	KC Cotrell	99,85	03-08-2009
	SO2	Desulfurizador húmedo	Mitsubishi	90,5	03-08-2009
	Nox	Quemadores low nox	Mitsubishi	30	03-08-2009
Unidad 4	MP	Precipitador Electrostatico	Desconocido	99,8	01-09-2016
	NOx	Reducción Catalítica Selectiva	Mitsubishi	85	01-09-2016

Fuente: Elaboración propia a partir de información entregada por Guacolda y RCA N°236/2007 (RCA N°236/2007, 2007), RCA N°191 (RCA N°191/2010, 2010) y RCA N°44 (RCA N°44/2014, 2014)

Con la finalidad de cumplir con la norma de emisiones para termoeléctrica se instalarán desulfurizadores en las unidades 1,2 y 5 y se reemplazará los precipitadores electrostáticos de las unidades 1,2 y 4 por filtros de manga. Con esto, posterior a la puesta en marcha de la norma termoeléctrica y a la instalación de la unidad 5, los sistemas de abatimiento quedarán según lo indicado en la Tabla 9-8.

Tabla 9-8: Sistemas de Control de Emisiones Central Guacolda – Situación Futura

Unidad	Parámetro a controlar	Equipo de Abatimiento	Fabricante	Eficiencia de Abatimiento (%)	Fecha de puesta en servicio
Unidades 1 y 2	MP	Filtro de manga	Desconocido	99,8	01-09-2016
	NOX	Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	Desconocido	85	01-09-2015
	SO2	Desulfurizador seco circulante	Desconocido	91	01-09-2016
Unidad 3	MP	Precipitador electrostático	KC Cotrell	99,85	03-08-2009
	NOX	Quemadores de Low NOX	Mitsubishi	30	03-08-2009
	SO2	Desulfurizador húmedo	Mitsubishi	90,5	03-08-2009
Unidad 4	MP	Filtro de manga	Desconocido	99,8	01-09-2016
	NOX	Reducción Catalítica Selectiva	Mitsubishi	85	03-08-2009
	SO2	Desulfurizador seco circulante	Desconocido	87.5	01-09-2016
Unidad 5	MP	Precipitador Electrostático	Desconocido	99.85	01-09-2016
	NOX	Reducción catalítica selectiva (SCR)	Desconocido	85	01-09-2016
	SO2	Planta Desulfurizadora Húmeda	Desconocido	92.7	01-09-2016

Fuente: Elaboración propia a partir de información entregada por Guacolda y RCA N°236/2007 (RCA N°236/2007, 2007), RCA N°191 (RCA N°191/2010, 2010) y RCA N°44 (RCA N°44/2014, 2014)

Control de Emisiones

En la tabla a continuación se presentan las medidas de mitigación implementadas por la empresa en la actualidad.

Tabla 9-9: Medidas de Control de Emisiones

Lugar	Medida	Parámetro a Controlar	Eficiencia de Abatimiento	Fuente de Información
Cancha de Acopio	Cerco perimetral con malla raschel de protección y refuerzo metálico	MP	60	(GAC, 2009)
	Sistema de humectación por sistema de aspersores perimetrales	MP	50	(E.H. Pechan & Associates, 2006)
	Humectación interior mediante camión aljibe	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
	Aplicación de solución costrante en pilas de carbón	MP	37.5	(EPA & Office of Air Quality Planning and Standards, 2006)
	Uso de carpas en todos los camiones que transiten dentro de la central	MP	80	(Gobierno Vasco, 2012b)
Vertedero y Caminos de Acceso	Reducir el área de manejo donde se trabaja en el depósito de cenizas y escorias a 1 hectárea de trabajo	MP	s/i	n/a
	Humectación permanente del camino que conduce al vertedero	MP	40	(GAC, 2009)
	Asfaltar sectores de estacionamientos y circulaciones menores, será complementada con la aplicación de Bischofita a este camino	MP	50	(EPA & Office of Air Quality Planning and Standards, 2006)
	Limpieza y lavado de camiones: los camiones que trasladan cenizas y escorias serán lavados y encarpados antes de salir de la Central	MP	70	(Gobierno Vasco, 2012a)
Área urbana de Huasco	Pavimentación del patio de escuela José Miguel Carrera y Cuerpo de Bomberos	MP	65	(EPA & Office of Air Quality Planning and Standards, 2006)
	Estudio y financiamiento de una solución que permita reducir la emisión de particulado proveniente del Hospital de Huasco	MP	s/i	n/a
	Uso de máquina aspiradora mencionada anteriormente, en el camino de acceso a la Central y calles del sector urbano de Huasco	MP	s/i	n/a
	Financiamiento del 50% de la Construcción del Proyecto "Parque Urbano Sector Población 21 de Mayo 1ª Etapa"	MP	s/i	n/a

En la siguiente tabla se observan las restricciones de emisión de contaminantes atmosféricos que posee actualmente la planta:

Tabla 9-10: Permisos de emisiones actuales de Guacolda (ton/día)

Contaminante	Unidades 1 y 2	Unidad 3	Unidad 4	Total
SO ₂	68	10,8	24,6	103,4
NO _x	14,8	8	0,8	23,6
NH ₃	-	-	0,08	0,08
PTS	2,2	0,6	0,8	3,6

Fuente: RCA N°236/2007 (RCA N°236/2007, 2007)

Luego de la entrada en vigencia de la norma de emisiones para centrales termoeléctricas y los compromisos ambientales debido a la construcción de la unidad 5, las emisiones diarias máximas de la empresa serán las siguientes:

Tabla 9-11: Chimeneas Guacolda, condiciones futuras de operación (ton/día)

Parámetro	Unidades 1 y 2	Unidad 3	Unidad 4	Unidad 5	Total Complejo
Altura de la chimenea (m)	89	79,5	89	79,5	-
Diámetro de la chimenea (m)	6	5	3,6	3,6	-
Velocidad de salida de los gases (m/s)	12,5	13,96	19,6	13,96	-
T° de salida de los gases (°K)	345,15	330,65	345,15	330,65	-
Tasa de emisión de SO ₂ (ton/día)	10,56	5,42	5,42	2,71	24,11
Tasa de emisión de MP (ton/d)	0,92	0,6	0,68	0,41	2,61
Tasa de emisión de NO _x (ton/d)	13,2	6,78	0,8	0,8	21,58

Fuente: (RCA N°191/2010, 2010; RCA N°44/2014, 2014)

Planta de Pellets de Compañía Minera del Pacífico

La planta de pellets de CMP genera diversos productos a partir de preconcentrado de mineral de hierro, como pellets básicos, pellets chip, pellet feed, preconcentrado de alta ley y granzas, entre otros.

La planta, localizada en la Comuna de Huasco, Provincia de Huasco, III Región de Atacama en el sector denominado Bahía Chapaco, está conectada con Mina Los Colorados y Mina El Algarrobo mediante vías férreas, desde donde recibe la materia prima. Los productos son exportados a través del puerto Guacolda II. Dentro de la planta se distinguen las siguientes unidades:

- Planta de Pellets de Huasco, con capacidad para producir sobre 4 millones de toneladas métrica de pellets al año y 0.8 millones de Pellets Feed anualmente.
- Planta Molienda y Concentración de Huasco, por medio magnético húmedo, con capacidad para procesar 6,5 millones de toneladas de mineral al año.
- Cancha de acopio de materias primas y productos.
- Lugar de descarga y lavado de vagones de tren.
- Cancha de acopio de carbón.
- Cancha de acopio y chancado de material de reciclaje.

Descripción del proceso

Transporte de pre-concentrado: El pre-concentrado es transportado a la planta de pellets desde las faenas mineras mediante ferrocarril y camiones desde Mina Los Colorados y Mina El Algarrobo descargado en estaciones de descarga librando gran cantidad de material particulado fugitivo como se aprecia en la siguiente figura tomada durante visita a terreno en Noviembre del presente; cada vagón descarga en un buzón que está conectado a correas transportadoras que llevan el material hacia la zona de molienda, para proceder a su reducción de tamaño.

Ilustración 9-1: Descarga de pre-concentrado en CAP



Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento: La cancha de almacenamiento tiene una capacidad de 500.000 ton vivas y en ella se almacenan los siguientes insumos y productos:

- Pre-concentrado
- Pellets feed, producto intermedio sin el tratamiento térmico final
- Pellets producto final
- Pellets chips
- Granzas
- Cancha de carbón
- Área acopios intermedios y de emergencia
- Acopio de caliza

El área de acopio consta de una base de arena compactada, una capa de ripio de 40 cm y una capa de roca de 50 cm y cuentan con un muro enrocado en el borde costero para proteger contra las marejadas.

El transporte de material desde la cancha a la planta se realiza a través de cargadores frontales que alimentan, mediante correas transportadoras, los silos de pre-concentrado. Los productos son embarcados y despachados a través de las instalaciones del Puerto Guacolda II.

Procesamiento pre-concentrado: El pre-concentrado ingresa a molinos de bola para reducir el tamaño de las partículas. Posteriormente, utilizando agua se separan las partículas de mayor tamaño dejando pasar sólo las pequeñas a la etapa de concentración, lo que ocurre en el espesador. Luego mediante la flotación neumática (con inyección de burbujas de aire y adición de compuestos químicos para la flotación) se eliminan impurezas y aumenta la concentración de hierro. Este concentrado pasa a concentración magnética secundaria y al filtrado, donde se reduce el porcentaje de humedad y se forma el "queque filtrado". Este queque puede ser utilizado como pellet feed o puede continuar con el proceso térmico para formar pellets.

Ilustración 9-2: Proceso de espesado en CAP



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9-3: Filtrado de concentrado



Fuente: Elaboración propia

Formación de pellet: El "queque filtrado" pasa al proceso de *balling* donde se agrega cal hidratada y caliza para formar las bolas. Estas bolas pasan luego al proceso de endurecimiento térmico y oxidación, que está compuesto por una parrilla recta, horno rotatorio, enfriador anular y finalmente un enfriador recto. El proceso de oxidación comienza en la parrilla recta, en donde se calientan los pellet hasta 340°C. El endurecimiento se culmina en el horno rotatorio donde se alcanza una temperatura de hasta 1330°C. Posteriormente, se baja la temperatura de los pellet en un enfriador anular y un enfriador recto. Los gases son calentados en el horno rotatorio y desde ahí fluye a los distintos procesos, saliendo finalmente eliminados desde la parrilla recta hacia las chimeneas 2A y 2B.

La siguiente tabla muestra el flujo de los gases por los que atraviesan los pellet, distinguiendo la procedencia del gas, su temperatura de entrada, la temperatura de salida y hacia dónde se dirige el gas o destino:

Tabla 9-12: Flujo de gases en el proceso de endurecimiento.

Proceso	Procedencia	Temp Entrada	Temp Salida	Destino
Parrilla recta - Secado ascendente (UDD)	Descarga zonas TPH y y PH	320 ° C	105°C	Chimenea 2A
Parrilla recta - Secado descendente (DDD)	Descarga zona PH y enfriador anular	340°C	140° C	Chimenea 2B
Zona de precalentamiento (TPH)	Enfriador anular y PH	830°C	210°C	ZONA UDD
Zona de calentamiento (PH)	Horno Rotario y enfriador anular	1.210°C		Parrilla recta (UDD y DDD) y TPH
Horno Rotatorio	Atmósfera y Enfriador anular	-	1.210°C	ZONA PH
Enfriador Anular	Atmósfera	25°C		Horno Rotatorio, Zona DDD y PH

Fuente: Elaboración propia a partir de (GAC consultores & CAP, 2010; GAC consultores, 2014)

Ilustración 9-4: Horno rotatorio CAP



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9-5: Scrubber en CAP



Fuente: Elaboración propia

Transporte y embarque: El Pellet producto clasificado es enviado mediante correas transportadoras a canchas de almacenamiento donde es apilado para su posterior embarque.

Control de Emisiones

A continuación se presentan las distintas medidas que ha implementado la empresa con el fin de reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Dado que pretende instalar una nueva línea de pelletización, deberá instalar una nueva chimenea, con sus respectivos sistemas de abatimiento, por lo que se muestra la situación actual y la situación futura, luego de implementarse los sistemas de abatimiento.

Tabla 9-13: Sistema actual de control de emisiones en CAP

Chimenea	Chimenea 2A		Chimenea 2B	
	MP	SO2	MP	SO2
Equipo de abatimiento	Precipitador electrostático	Lavador de gases - Demister	Lavador de gases (Wet Scrubber)	
Eficiencia de abatimiento [%]	95%	54%	80-90%	50%
Fecha de puesta en servicio	09-2012	09-2012	1993	

Fuente: Elaboración propia elaborada en base a RCA N°215/2010 (RCA N° 215/2010, 2010), completada con datos entregados por la empresa.

Tabla 9-14: Sistemas de control posterior a la implementación de la fase II - proceso de ampliación de producción de pellets.

Chimenea	Chimenea 2A		Chimenea 2B		Chimenea 3	
	MP	SO2	MP	SO2	MP	SO2
Parámetro a controlar						
Equipo de abatimiento	Precipitador electrostático	Lavador de gases -Demister	Lavador de gases (Wet Scrubber)		Precipitador electrostático	Lavador de gases
Eficiencia de abatimiento [%]	95%	54%	80-90%	50%	95%	54%
Fecha de puesta en servicio	09-2012	09-2012	1993		2016	

Fuente: Elaboración propia elaborada en base a RCA N°215/2010 (RCA N° 215/2010, 2010)

Tabla 9-15: Resumen Medidas de Control de Emisiones – Planta de Pellets

Fuente	Medida	Parámetro a controlar	Eficiencia Propuesta	Fuente de Información
Cancha de Acopio	Instalación de cortinas eólicas en tres caras de los acopios en zonas de almacenamiento a granel.	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
	Humectación de material en zonas de transferencia.	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
	Humectación de las canchas de acopio.	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
	Cierre perimetral completo, de altura superior (1 metro) a la altura máxima declarada del acopio respectivo en los acopios de carbón, caliza, pre-concentrado y pellets.	MP	60	(GAC, 2009)
Transporte	Encapsulamiento y automatización del sistema de descarga de preconcentrado desde cancha acopio.	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
	Aplicación de bischofita o humectación de todos los caminos.	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
	Instalación de cúpulas de fibra de vidrio en todos los carros que transporten preconcentrado desde Maitencillo a Planta de pellets.	MP	100	(Gobierno Vasco, 2012a)
	Mejoramiento de la vía férrea: mejoramiento de rieles y limpieza de la faja ferroviaria.	MP	s/i	n/a
	Correas nuevas con cobertura 100% de su superficie.	MP	100	(Gobierno Vasco, 2012a)

Fuente: Elaboración Propia

Emisiones aprobadas.

La Tabla 9-16 muestra las emisiones ambientalmente autorizadas para la planta:

Tabla 9-16: Chimeneas actuales en CAP

Parámetro	Chimenea 2A	Chimenea 2B	Total
Altura de la chimenea (m)	60	32	
Diámetro de la chimenea (m)	5	3	
Velocidad de salida de los gases (m/s)	7,78	22,6	
T° de salida de los gases (°K)	328,15	320,45	
Tasa de emisión de SO ₂ (ton/día)	1,1	2,11	3,21
Tasa de emisión de MP (ton/d)	0,76	1,97	2,73
Tasa de emisión de NO _x (ton/d)	1,188	0,792	1,98

Fuente: RCA N°2015/2010 (RCA N° 215/2010, 2010)

Luego de que se ponga en marcha la fase II del proyecto las emisiones serán:

Tabla 9-17: Chimeneas operación futura en CAP

Parámetro	Chimenea 2A	Chimenea 2B	Chimenea 3	Total
Altura de la chimenea (m)	60	30	30	
Diámetro de la chimenea (m)	5	3	5	
Velocidad de salida de los gases (m/s)	7,78	22,6	15,92	
T° de salida de los gases (°K)	328,15	320,45	400	
Tasa de emisión de SO ₂ (ton/día)	1,1	2,11	4,86	8,07
Tasa de emisión de MP (ton/d)	0,76	1,97	4,13	6,86
Tasa de emisión de NO _x (ton/d)	1,188	0,792	3,07	5,05

Fuente:c

Puerto Las Losas

Información general

El puerto las losas está ubicado en la bahía Guacolda y cuenta con dos puntos de atraque: uno para la descarga de granel de productos de origen vegetal y mineral, y otro para la carga y descarga de contenedores y pallets. En relación a los graneles, principalmente abastece la Planta de Alimentos Balanceados del "Proyecto Agroindustrial del Valle del Huasco" y mejora la gestión de graneles de caliza y carbón para Planta de Pellets de CAP. Además cuenta con dos sitios de almacenamiento de contenedores.

Descripción de las instalaciones

El puerto considera obras marítimas y obras en tierra. Las obras en el mar corresponden a las necesarias para el atraque de los barcos y para albergar la infraestructura de descarga. Como los productos a descargar son graneles, éstas se realizan en un muelle de atraque, puente de acceso, cintas transportadoras y tolvas de descarga. La descarga se realiza principalmente con las grúas del barco.

La operación del puerto considera que durante la estadía de la nave, los productos se descargarán mediante el uso de las grúas del barco a 3 tolvas móviles ubicadas en el cabezo de atraque, que descargan a una única cinta transportadora. Esta cinta, a su vez alimenta a una correa transportadora de 1250 [t/h]. Esta correa descarga en una Torre de Transferencia, que distribuye la carga según se requiera, en correas transportadoras. Parte de los productos vegetales se almacenan en silos y bodegas y otros se despachan directamente en camiones.

Los productos minerales en tanto, se despachan a una pila de transición que corresponde a una cancha descubierta, donde son almacenados por un par de días para ser despachados posteriormente a la planta CAP en camiones.

Control de Emisiones

Tabla 9-18: Resumen Medidas de Control de Emisiones – Puerto Las Losas

Medida	Parámetro a controlar	Eficiencia Propuesta [%]	Fuente de Información
Asfaltado de caminos interiores.	MP	67,5	(E.H. Pechan & Associates, 2006)
Cobertura de correas transportadoras.	MP	100	(Gobierno Vasco, 2012)
Instalación de muros de tierra alrededor de la pila de transferencia que impiden la erosión del carbón o la caliza.	MP	60	(GAC, 2009)
Uso de mallas alrededor de la pila de transferencia.	MP	60	(GAC, 2009)
Humectación del material de la pila de transferencia durante su almacenamiento.	MP	50	(RCA N° 215/2010, 2010)
Uso de manga retráctil para la descarga en la pila de transferencia.	MP	s/i	n/a

Central Huasco Endesa

Información general

En la bahía de Guacolda, la Empresa Nacional de Electricidad S.A (ENDESA) cuenta en la actualidad con dos centrales termoeléctricas: La central Huasco TG a Fuel Oil y la Central Huasco Vapor (o Huasco TV) que funciona a carbón. Huasco TG funciona solamente de respaldo cuando no es posible obtener energía de otras fuentes en el sistema interconectado central (SIC). Huasco TV no ha presentado un funcionamiento relevante desde el año 2006.

La central Huasco TG cuenta con tres unidades (turbinas generadoras) con una potencia instalada total de 64,23 MW y utiliza Fuel Oil y petróleo diésel para su funcionamiento.

La central Huasco Vapor cuenta con dos unidades generadoras de 8 MW cada una, y tiene una potencia total de 16 MW.

En la Tabla 9-19 se observa la generación anual para cada una de las centrales desde el año 1996 a la fecha, considerando la totalidad del año 2014. Se observa que desde 2006 la central Huasco TV no ha funcionado (se estima un funcionamiento de 1,5 horas para el año 2012 solamente) y la central Huasco TG ha funcionado muy pocas horas a partir del año 2009. Lo anterior fue en respuesta a la construcción de nuevos proyectos de generación eléctrica en respuesta a la crisis del gas el año 2007. Considerando los últimos 5 años de funcionamiento, se estima que las centrales Huasco TG y Huasco TV operaron en promedio solamente 9 y 0,3 horas por año.

Tabla 9-19: Generación de Huasco TG y Huasco Vapor

Año	Generación (MWh)		Factor de Planta		Horas Funcionamiento	
	Huasco TG	Huasco TV	Huasco TG	Huasco TV	Huasco TG	Huasco TV
1996	191.206	44.209	34,6%	31,5%	3.035,0	2.763,1
1997	124.317	34.995	22,5%	25,0%	1.973,3	2.187,2
1998	164.432	35.991	29,8%	25,7%	2.610,0	2.249,4
1999	163.401	48.215	29,6%	34,4%	2.593,7	3.013,4
2000	11.547	0	2,1%	0,0%	183,3	0,0
2001	308	0	0,1%	0,0%	4,9	0,0
2002	318	0	0,1%	0,0%	5,0	0,0
2003	532	0	0,1%	0,0%	8,4	0,0
2004	29.045	4.106	5,3%	2,9%	461,0	256,6
2005	57.248	11.136	10,4%	7,9%	908,7	696,0
2006	33.101	0	6,0%	0,0%	525,4	0,0
2007	184.625	0	33,5%	0,0%	2.930,6	0,0
2008	160.840	0	29,1%	0,0%	2.553,0	0,0
2009	24.127	0	4,4%	0,0%	383,0	0,0
2010	1.069	0	0,2%	0,0%	17,0	0,0
2011	1.062	0	0,2%	0,0%	16,9	0,0
2012	197	23	0,0%	0,0%	3,1	1,5
2013	30	0	0,0%	0,0%	0,5	0,0
2014	486		0,1%	0,0%	7,7	0,0

Fuente: CDEC-SIC. Generación Bruta por Central

Por otra parte, se espera que en un futuro cercano entre en operación la nueva Central Punta Alcalde, con lo cual las centrales Huasco TG y Huasco TV dejarán de operar definitivamente. Debido al bajo nivel de actividad registrado por ambas centrales, y al futuro cierre de ella, no se evaluará el efecto de ambas centrales sobre la contaminación del Valle de Huasco, ni en la situación actual de línea base ni tampoco en futuros escenarios de emisiones.

9.1.2 Calidad del Aire

Antecedentes de modelación de calidad del aire en la zona

Uno de los objetivos principales del presente Estudio es establecer una relación cuantitativa entre emisión y concentración de MP_{10} que permita discriminar entre distintas fuentes emisoras (chimeneas, fuentes de área), de manera de evaluar las medidas de reducción de emisiones que se requieren para que el MP_{10} se mantenga bajo la condición de latencia.

En este estudio se ha hecho un resumen de estudios anteriores relativos a la modelación de la dispersión de las emisiones del complejo industrial del Huasco y como ellas afectan la calidad del aire en Huasco.

La gran mayoría de las modelaciones realizadas corresponden a parte de EIA asociados a la ampliación o modificación de las operaciones de las industrias ubicadas en la zona del puerto.

La Tabla 9-20 presenta un resumen de los estudios considerados en el análisis. En esta tabla no se consideran los siguientes estudios que ingresaron al SEIA pero donde no se realizaron modelaciones de calidad del aire:

- i. DIA "Flexibilización de la Operación en la Central Termoeléctrica Guacolda", ingresado en Mayo 2004. Esta modificación de proyecto se refiere a mantener el límite ambientalmente aprobado de 84 t/día de SO₂, es decir, no hay cambio de emisiones en la empresa, por lo que no se presentaron modelaciones.
- ii. DIA "Puerto Las Losas", ingresado en Junio 2006. Se argumenta que con las medidas contempladas en el proyecto, las emisiones serían menores a las del periodo 2004-2005 en aproximadamente 1,6 t/año de MP₁₀, por lo cual no se modelaron las emisiones de la etapa de operación del puerto.
- iii. DIA "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS EN CENTRAL TÉRMICA GUACOLDA", ingresada en mayo de 2008. Se argumentó que las emisiones de la construcción del proyecto ya estaban consideradas en las emisiones fugitivas ambientalmente aprobadas para Eléctrica Guacolda, por esto no se modelaron esos impactos incrementales.
- iv. DIA "Sitio 2 Puerto Las Losas", ingresado en febrero 2008. Se argumenta que "Estas emisiones serán controladas mediante el riego periódico de caminos y los frentes de trabajo susceptibles de emisión, dando cumplimiento a las indicaciones contenidas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción." Además se agrega que: "Dada la naturaleza de los contenedores y el contar con caminos asfaltadas, no se estiman emisiones atmosféricas asociadas a la etapa de operación." Luego, no se realizó modelación de calidad del aire.

Tabla 9-20: Resumen de estudios que han aplicado modelos de calidad del aire para hallar la relación emisión-concentración en la zona de Huasco.

Estudio	Emisiones modeladas	Modelo usado, información meteorológica	Conclusiones del Estudio	Opinión del Consultor
“Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, Febrero 2006. Para la I. Municipalidad de Huasco.	Zona industrial y zona urbana de Huasco.	ISCST3 (Industrial Source Complex, Short Term, versión 3) EPA-EEUU. Estación EME ME (interior Central Guacolda).	Aporte total antropogénico anual es de 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación monitora EME F (Bomberos) y de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación EME M (Escuela José Miguel Carrera); los aportes anuales de la industria son de 9 y 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Los aportes anuales de las chimeneas industriales son del orden de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir de la calibración del modelo se estima un nivel basal de MP_{10} en Huasco de 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En base a estos resultados, se propone intensificar las medidas de control de emisiones fugitivas industriales de MP_{10} .	El modelo empleado no permite estimar los impactos causados por la generación de MP secundario como sulfatos y nitratos. El modelo ISCST3 no puede por lo tanto usarse para ‘calibrar’ la línea base natural en Huasco. Tampoco se demostró que el modelo ISCST3 está representando adecuadamente la dispersión de chimeneas en Huasco, es decir, no hay estimación de la incertidumbre del modelo. Por lo mismo los estudios posteriores que han usado las estimaciones de impactos hechas por el estudio de CENMA no son correctas, ya que subestiman los impactos de la industria.
EIA Guacolda, Unidad 3. Realizado por Jaime Illanes Consultores para Eléctrica Guacolda.	Emisiones Complejo Termoeléctrico Guacolda: con y sin la Unidad 3.	ISCST3 (Industrial Source Complex, Short Term, versión 3) EPA-EEUU. Estación EME ME (interior Central Guacolda).	El EIA concluye que se cumple con la normativa ambiental vigente de calidad del aire (no se comenta que la zona se encuentra latente por norma anual).	No queda claro qué pasa con las emisiones de área del complejo industrial, dado que se va a procesar más carbón y por lo tanto aumentarían los niveles de almacenamiento de carbón en pilas de acopio. Tampoco queda claro que pasa si hay un mayor flujo de camiones al vertedero de cenizas debido al aumento del consumo de combustibles. Finalmente, no se tiene una estimación de la incertidumbre del modelo de dispersión usado.
EIA Guacolda Unidad 4. Realizado por Jaime Illanes Consultores para	Emisiones Complejo Termoeléctrico Guacolda: con y sin Unidad 4. Usan	ISCST3 (Industrial Source Complex, Short Term, versión 3) EPA-EEUU.	Muestran que cumplen con la normativa vigente de calidad del aire (no comentan tema de latencia por MP_{10} anual). Usan los	Los resultados tomados del estudio de CENMA (2006) no son adecuados para proyectar a futuro los impactos industriales.

Estudio	Emisiones modeladas	Modelo usado, información meteorológica	Conclusiones del Estudio	Opinión del Consultor
Eléctrica Guacolda.	estimación del estudio de CENMA para las emisiones fugitivas de Guacolda.	Estación EME ME (interior Central Guacolda).	<p>resultados del estudio de CENMA (2006) para justificar que su aporte al MP₁₀ anual en Huasco es menor 0,13 µg/m³.</p> <p>En la situación ‘con proyecto’ estiman que los máximos aportes en Huasco (estaciones EME M y EME F) son, respectivamente, de 1,1 y 1,6 µg/m³, para el promedio diario y de 0,09 y 0,23 µg/m³ para la media anual.</p> <p>También señalan que la reducción de MP₁₀ registrada a partir del año 2006 se debe a adoptar mejores prácticas en la zona industrial respecto al protocolo de acuerdo con la I. Municipalidad de Huasco.</p>	<p>Tampoco se demostró que el modelo ISCST3 está representando adecuadamente la dispersión de chimeneas en Huasco, es decir, no hay estimación de la incertidumbre del modelo.</p> <p>Sin embargo, esas reducciones han ocurrido solo en la estación EME F (Bomberos), la que a contar del año 2006 mide valores muy cercanos a los registrados en la estación de monitoreo EME M (Escuela José Miguel Carrera). En otras palabras, hay poca evidencia que las emisiones del MP10 se hayan reducido en Huasco a partir del año 2006.</p>
EIA Guacolda Unidad 5. Realizado por Jaime Illanes Consultores para Eléctrica Guacolda.	Emisiones Complejo Termoeléctrico Guacolda: reducción de emisiones en unidades 1, 2 y 3 para acomodar emisiones Unidad 4. Usan estimación de CENMA para las emisiones fugitivas de Guacolda.	ISCST3 (Industrial Source Complex, Short Term, versión 3) EPA-EEUU. Estación EME ME (interior Central Guacolda).	En este EIA se reconocen que en la situación ‘con proyecto’ las emisiones de MP y de NOx aumentarán levemente. Luego, los aportes en MP en Huasco son mayores que en EIA anteriores de la misma empresa. Sin embargo, justifican esto indicando que “hay aportes de terceros que son mucho mayores. “	<p>Es particularmente preocupante que se haya aprobado un aumento de impactos del MP₁₀ en Huasco, dada la condición de latencia de la zona para el MP₁₀ anual.</p> <p>Tampoco se demostró que el modelo ISCST3 está representando adecuadamente la dispersión de chimeneas en Huasco, es decir, no hay estimación de la incertidumbre del modelo.</p>

Estudio	Emisiones modeladas	Modelo usado, información meteorológica	Conclusiones del Estudio	Opinión del Consultor
EIA “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”. Realizado por GAC consultores para CMP.	Solo Emisiones Planta de Pellets CMP: chimeneas 1 y 2 y futura chimenea 3.	No se usó modelo de dispersión, excepto la etapa de construcción (Fase 1) donde se usó AERMOD.	Se argumenta que con las reducciones de emisiones de MP (2 t/día en situación ‘con proyecto’) no se necesita modelar el impacto en la calidad del aire de la situación ‘con proyecto’. Por lo mismo no se modela el impacto actual de la planta CMP en la calidad del aire, solo el aporte diario al MP ₁₀ en la etapa de construcción (Fase 1), el cual cumpliría con la respectiva norma diaria del MP ₁₀ .	No se tiene una estimación de la incertidumbre del modelo de dispersión usado.
EIA Central Termoeléctrica Punta Alcalde, realizado por Pedro Sanhueza. Año 2009.	Considera las emisiones del proyecto mismo: MP ₁₀ , SO ₂ , NOx y CO. También se considera el impacto agregado al considerarse los restantes proyectos ingresados al SEIA (caso de las unidades 4 y 5 de Eléctrica Guacolda).	Se modeló por separado la etapa de construcción (usando AERMOD) y la de operación (usando CALPUFF).	En el caso de la etapa de construcción, se muestran resultados que indican cumplimiento de la normativa anual del MP ₁₀ , ya que se estiman impactos muy bajos en la red de monitoreo de Guacolda, menores a 0,1 µg/m ³ . Esto se debe a que las emisiones atmosféricas son relativamente bajas, y a la distancia entre el emplazamiento del proyecto y Huasco. En la etapa de operación del proyecto se hizo una modelación con CALPUFF.	En el caso de la aplicación de AERMOD, no queda claro que información de meteorología se usó, ya que el Titular puso una estación de monitoreo emplazada en Huasco, pero solo por un periodo de 5 meses del año 2008, insuficiente para fines de modelación. Tampoco aparece mención respecto a la información en altura. Los receptores se pusieron muy separados (1 km) considerando lo complejo de la topografía del sector. No queda claro como las emisiones de la etapa de construcción se repartieron a lo largo del año modelado, ya que no se incluye la carta Gantt de las obras de construcción ni tampoco se hace mención explícita a ese punto. En el caso del modelo CALPUFF, no queda explícito en el EIA cual información meteorológica se usó, tanto a nivel superficial como en altura; este último

Estudio	Emisiones modeladas	Modelo usado, información meteorológica	Conclusiones del Estudio	Opinión del Consultor
			<p>En el caso del ozono se ocupó un modelo antiguo (no vigente) de la EPA de EEUU para estimar el impacto por ozono en la zona de Huasco.</p>	<p>aspecto es muy crítico en la evaluación del modelo de dispersión, y no es posible reconstruir los cálculos presentados en el EIA solamente con los datos de las emisiones atmosféricas del proyecto. Los aportes del proyecto a las concentraciones anuales de MP₁₀ en la red de monitoreo existente, si bien son bajos, no consideran que la zona de Huasco está en condición de latencia por el MP₁₀ anual; aunque se hace la evaluación del impacto sinérgico en calidad del aire en la tabla VI-2 del anexo U.2 del EIA.</p> <p>En el caso del modelo empleado para modelar el ozono, no se entregan detalles que permitan reproducir esos resultados allí presentados, en particular corroborar que el ozono disminuiría en Huasco debido a las mayores emisiones de NOx de la central Punta Alcalde.</p> <p>No hay estimaciones de la incertidumbre de los modelos de dispersión empleados.</p>
<p>DIA "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas". Realizado por Algoritmos S.A. para</p>	<p>Se modelan las emisiones atmosféricas de la central termoeléctrica Guacolda con 5 unidades hasta la RCA 191/2010 y con la aplicación de un equipo retrofit que disminuiría las emisiones, es</p>	<p>Se modeló la meteorología en la zona usando el modelo WRF, para posteriormente emplear el modelo CALPUFF. El año de modelación</p>	<p>Con respecto a la evaluación del modelo WRF, éste sobrestima la magnitud del viento SW en la estación EME ME (figura 8, apéndice C4-1 Modelación), especialmente en los meses más fríos donde el viento observado es mínimo.</p>	<p>Esto indica una tendencia a subestimar los impactos de la zona industrial en Huasco en el entorno de la estación de monitoreo EME ME.</p>

Estudio	Emisiones modeladas	Modelo usado, información meteorológica	Conclusiones del Estudio	Opinión del Consultor
Eléctrica Guacolda año 2013.	decir, dos escenarios modelados.	correspondió al 2012.	<p>En el caso de las estaciones SM4 y SM8 en el interior del valle, el modelo no es capaz de reproducir la frecuencia de viento E allí observada.</p> <p>En la modelación realizada con el sistema CALPUFF, solo se consideraron las fuentes de chimeneas, no las fuentes de área de Guacolda. Se estima que habría una mejoría en la calidad del aire, en la estación EME F, donde el MP₁₀ anual se reduciría de 1,28 a 0,87 µg/m³.</p>	<p>Se aprecia una deficiencia del modelo WRF, causada probablemente por la alta complejidad del terreno (valle muy angosto, con grandes cambios de propiedades del suelo). Las figuras 17 y 18 muestran claramente la poca capacidad predictiva del modelo WRF en el caso de la estación EME ME, y en las figuras 19 a 21 los problemas de WRF para simular correctamente la circulación del aire en condiciones de madrugada. Las subestimaciones nocturnas son más complicadas que las sobrestimaciones diurnas, ya que en la noche hay más estabilidad atmosférica y menor altura de mezclado, ocurriendo lo opuesto de día.</p> <p>No hay una estimación de la incertidumbre de estas estimaciones. Tampoco se justifica por qué no se modeló las emisiones de área de Guacolda, siendo que la actividad de consumo (y almacenamiento) de carbón, transporte de cenizas a vertedero, etc. debería haber aumentado.</p>

Fuente: Elaboración propia

En general, del análisis de las modelaciones realizadas, se puede establecer las siguientes conclusiones:

- i) Todas las modelaciones de calidad del aire realizadas a la fecha no consideran un análisis de incertidumbre de las predicciones del modelo de dispersión, especialmente en el caso de los impactos evaluados en Huasco. Solo la modelación realizada por Algoritmos en 2013 analiza el desempeño del modelo meteorológico WRF, pero solo en forma cualitativa, y no presenta estimaciones de la incertidumbre del modelo CALPUFF empleado en la modelación.
- ii) Las modelaciones realizadas con modelos gaussianos básicos como ISCST3 tienen la deficiencia de que no son adecuadas para un terreno complejo y con borde costero como es la zona de Huasco, pero la mayor deficiencia de ellos es que no incluyen reacciones químicas que originan material particulado secundario, especialmente sulfatos y nitratos, los que son relevantes en la zona de Huasco²⁸. Luego esos resultados no se pueden considerar como estimaciones robustas de los impactos totales de las emisiones atmosféricas en la calidad del aire. Los estudios posteriores que han usado resultados como los del estudio de CENMA para elaborar estimaciones adicionales (usando estimaciones de línea base o de impactos de la industria hechas en el estudio de CENMA) heredan esa incertidumbre no cuantificada, es decir, son estimaciones con amplio margen de error²⁹.
- iii) Algunos estudios (Illanes y Asociados & Guacolda Energía, 2005, 2007, 2009) han hecho calibraciones del modelo de dispersión considerando situaciones puntuales en las cuales una de las industrias ha paralizado totalmente. Este tipo de análisis posee dos deficiencias: 1) el periodo de detención considerado es solo de uno o dos días, insuficiente para ser representativo de las condiciones anuales de meteorología en la zona y muy breve para asegurar que se haya limpiado completamente la zona de la presencia de material particulado secundario (el que puede permanecer varios días recirculando en el borde costero); 2) si bien es cierto las chimeneas pueden estar detenidas, las canchas de acopio siguen presentando emisiones fugitivas, al igual que la actividad portuaria asociada a cada empresa. Luego, el atribuir la diferencia entre lo observado en el monitoreo y la modelación de calidad del aire (hecha con modelos gaussianos, sin reacciones químicas) a ‘terceros’ no es correcta.
- iv) A excepción de la modelación de Algoritmos del año 2013, en que se entregan respaldos digitales de todos los archivos usados, no es posible reproducir las modelaciones anteriormente realizadas en la zona. Esto es crítico, ya que cada modelo de dispersión posee muchos parámetros que pueden ser modificados por el usuario que modela, lo que eventualmente puede llevar a una variabilidad importante en los resultados del modelo usado. Por ejemplo, para la mayoría de los modelos gaussianos usados (incluyendo AERMOD) se

²⁸ Ver sección sobre la composición química del material particulado en la zona de Huasco, en este mismo Informe Técnico.

²⁹ En la sección sobre la composición química del material particulado en la zona de Huasco se muestra que la estimación de aporte natural hecha en el estudio CENMA es claramente incorrecta.

necesita disponer de mediciones (o modelación) de la meteorología en altura, aspecto que no está considerado en dichos estudios.

- v) En forma preliminar (ya que solo disponemos de la data de MP₁₀ disponible en SINCA, desde 2002 a 2010 en las estaciones EME F y EME M) se aprecia que el descenso en las concentraciones de MP₁₀ en los años 2006 y 2007 (atribuido por algunos estudios a la mejora en las buenas prácticas en ambas industrias, comprometidas en un protocolo de acuerdo con el Municipio local) no se mantuvo en el tiempo, ya que los promedios anuales de MP₁₀ subieron en los años 2008 a 2010, y se mantuvo la zona en latencia por MP₁₀ anual, sin una clara indicación de mejoría en las concentraciones ambientales. Este aspecto requiere un análisis más detallado una vez que se cuente con la data de MP₁₀ existente hasta la fecha de este Estudio.

Calidad del aire en Huasco

El valle y la ciudad de Huasco cuentan con distintas redes de monitoreo ambiental pertenecientes al Estado y a las industrias que operan en la zona. El Ministerio de Medio Ambiente opera desde el mes de Junio del año 2014 una estación de monitoreo continuo de MP_{2,5} en la localidad de Huasco, como se aprecia en la siguiente ilustración.

Ilustración 9-6: Red de Monitoreo del MMA



Fuente: (GAC consultores, 2014)

La empresa eléctrica Guacolda cuenta con tres estaciones de monitoreo en el área urbana de Huasco que monitorean MP₁₀, NO₂ y SO₂ y que son reconocidas por la autoridad para evaluar el cumplimiento de las normas primarias de calidad del aire. Dichas estaciones se identifican como

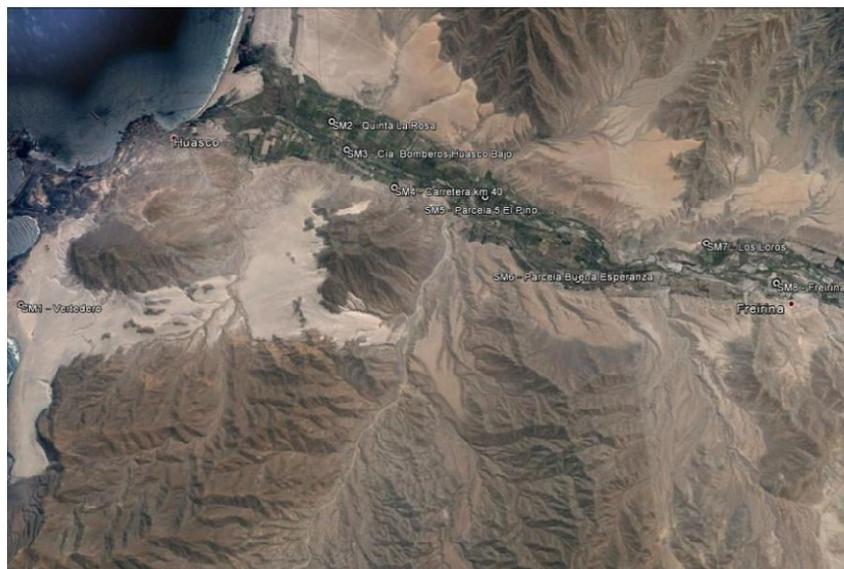
EME-M, EME-F y 21 de Mayo (Ilustración 9-7). Por otra parte cuenta con una red de 8 estaciones que monitorean la concentración de SO₂ para fines de evaluar cumplimiento de la norma secundaria del SO₂. Excepto la estación SM1 (ubicada al SSE del complejo industrial), las estaciones se ubican en el valle del Huasco (Ilustración 9-8).

Ilustración 9-7: Red de Monitoreo Guacolda



Fuente: (GAC consultores, 2014)

Ilustración 9-8: Red de monitoreo Guacolda SO₂



Fuente: (GAC consultores, 2014)

CAP Minería cuenta con una red de seis estaciones de monitoreo de material particulado sedimentable (MPS) y su contenido de hierro, distribuidas en la parte baja del valle del río Huasco. Además cuenta con otra red, de propiedad compartida con Puerto Las Losas en donde se registra MP10 y se registra MP2,5, NOx, SO₂ y O₃ y realiza la caracterización química del MP cuantificando hierro, cromo total, plomo, vanadio y níquel.

En paralelo a las estaciones de monitoreo previamente indicadas, CAP Minería instaló y se encuentra operando desde Junio del año 2014 una red complementaria de monitoreo de calidad del aire conformada por las estaciones Playa Brava y Olivos de Bellavista, la primera de las cuales se emplaza al sur de la localidad de Huasco, en tanto que la segunda se ubica en la parcela del mismo nombre, de propiedad de CAP Minería (Ilustración 9-9). En paralelo, se han complementado las mediciones en la estación Pob. Huasco II, incorporando la medición de MP_{2,5} y material particulado sedimentable y se considera la caracterización química de tres muestras mensuales de MP₁₀ y MP_{2,5} en las estaciones Playa Brava, Pob. Huasco II y Olivos de Bellavista. El objetivo de las nuevas estaciones y de la profundización del levantamiento de información en las estaciones existentes es conformar una red robusta tanto en la ciudad de Huasco como en la parte baja del valle para así poder recabar información que permita analizar la participación de los actores industriales en la concentración de material particulado respirable y en la composición química de este último. Ver Tabla 9-21 para un resumen de las estaciones de la red complementaria de CAP Minería.

Ilustración 9-9: Red complementaria CAP minería



Fuente: (GAC consultores, 2014)

Tabla 9-21: Ubicación y equipamiento de las estaciones de monitoreo complementarias Red CAP Minería

Estación	Ubicación (UTM, WGS84)		Principio y/o equipo de medición			
	Norte	Este	MP10	MP2,5	MPS	Caracterización Química
Playa Brava	6.845.032	278.526	Low-Vol Monitoreo Discreto c/3 días		Sedimentador	3 filtros mensuales de MP10 y MP2,5 mediante fluorescencia de rayos-X
Pob. Huasco II	6.849.068	281.593				
Olivos de Bellavista	6.848.379	280.159				

Fuente: (GAC consultores, 2014)

Puertos Las Losas S.A por su parte cuenta con dos estaciones que monitorean MP₁₀, de las cuales sólo una cuenta con representatividad poblacional (de propiedad compartida con CAP Minería) y cuyos datos se reportan mensualmente a la autoridad. Dichas estaciones se denominan Las Losas y Población Huasco II (EMRP/MP₁₀).

Ilustración 9-10: Red de Monitoreo Las Losas-CAP



Fuente: (GAC consultores, 2014)

Ilustración 9-11: Red de monitoreo CAP MPS



Fuente: (GAC consultores, 2014)

Concentraciones de Material Particulado

La norma primaria de calidad del aire para el MP10 (DS N° 59/1998) establece que el percentil 98 de las concentraciones de 24 h registradas durante un periodo anual en cualquier Estación Monitora con Representación Poblacional (EMRP) debe ser menor a $150 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Por otra parte, para proteger la salud de los efectos crónicos la concentración media anual debe ser menor a $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Con esto la zona de latencia se establece cuando las concentraciones son mayores a $120 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ y a $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ para la norma diaria y la norma anual, respectivamente.

Tabla 9-22: Concentración norma diaria percentil 98 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

Año	Estaciones de Monitoreo				
	Eme-M	Eme-F	21 de Mayo	Huasco II	Las Losas
2002	99,1	131,3	-	-	-
2003	84,7	111,4	-	-	-
2004	88,3	131,7	-	-	-
2005	115,4	121,5	-	-	-
2006	74,7	78,6	-	-	-
2007	72,6	85,3	-	-	-
2008	89,8	79	38,5	83,3	89
2009	106,1	131	31,2	91,9	103,6
2010	82,4	81,1	81,6	89,6	79,6
2011	89,5	98,7	58	101	87,4
2012	124,9	116,6	68,5	85,7	114,9

Fuente: (Seremi de Medio Ambiente Region de Atacama, 2012)

Tabla 9-23: Concentración promedio trienal MP10 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

PERIODO	Estaciones de Monitoreo				
	EME-M	EME-F	21 de mayo	Huasco II	Las Losas
1998-2000	65,6	74,7	-	-	-
1999-2001	58,7	72,6	-	-	-
2000-2002	52,4	68,1	-	-	-
2001-2003	48,2	65,4	-	-	-
2002-2004	44,2	63,4	-	-	-
2003-2005	45	61,6	-	-	-
2004-2006	43,6	54,1	-	-	-
2005-2007	42,9	45,2	-	-	-
2006-2008	43,4	42,6	-	-	-
2007-2009	44,9	45,5	-	-	-
2008-2010	44,9	46,1	19,8	44,1	46,5
2009-2011	42,5	43,6	25,5	42,8	43,5
2010-2012	42,7	42,7	36,8	41,7	41,7

Fuente: (Seremi de Medio Ambiente Region de Atacama, 2012)

En la Tabla 9-22 se observa que la estación EME-F supera el nivel de latencia para los años 2002, 2004, 2005 y 2009 y para la estación EME-M para el año 2012. Para la norma anual se observa que se sobrepasa la norma desde el trienio 1998-2000 para las estaciones EME-M y EME-F y desde 2008 para las estaciones Huasco II y Las Losas.

En tanto para el Material Particulado de tamaño menor a 2.5 micrones la norma es $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ como percentil 98 diario y $20 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ como promedio anual. En la tabla siguiente se resume la información disponible. Se observa un cumplimiento tanto en la normativa diaria como anual.

Tabla 9-24: Concentración diaria de MP 2,5 en Huasco ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

Estación	MP2,5		
	Anual		Diaria
	2005	(2011-2013)	(2013)
Pob. Huasco II		18,2	34,2
EME-M	11,5	17	33
EME-F	7,4	14	29

Fuente: Elaboración propia a partir de (CENMA, 2006; GAC consultores, 2014)

Concentraciones de Material Particulado Sedimentable

La norma D.S. No. 4 de 1992, del Ministerio de Agricultura, que “Establece Normas de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la Cuenca del Rio Huasco III Región” tiene el objetivo de proteger las plantaciones silvo-agropecuarias limitando las concentraciones de MPS y el hierro contenido en este. Dicha norma establece que el promedio de la concentración mensual de MPS debe ser menor a **150 mg/(m²dia)** y que las concentraciones de Hierro deben ser menor a

60 mg/(m² día) desde diciembre a agosto y menor a **30** mg/(m² día) desde septiembre hasta la primera quincena de diciembre. En cuanto a las medias anuales para el MPS esta debe ser menor a **100** mg/(m² día) y para el Hierro en el MPS debe ser menor a **30** mg/(m² día)

En las tablas presentadas a continuación se puede observar que la norma se cumple para concentraciones de MPS y de Hierro en el MPS, para el año 2013, de acuerdo a registros de monitoreo entregados por la empresa.

.

Tabla 9-25: Concentración de MPS en el año 2013 en red de monitoreo de CAP (mg/(m² día))

Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	93,3	103	77,2	69,4	78,5	75,6	60,1	71	79,6	70,8	85,4	63,2
2	95,8	90,5	75,8	57	60,2	62,5	47,5	79,1	68,8	102,7	72,4	52,9
3	45,4	100,3	77	48,9	44,3	46,8	52,2	69,1	72	88	83,7	66,6
4	105,5	115,2	100,5	74,4	64,6	66,1	74	92,9	87,6	102,3	47,2	76,4
5	98,2	108,5	86,6	55	53,2	46,8	43,3		73,5	97,8	87,7	73,6
6	94,6	82,9	67,9	50,5	44,5	44,4	48,2	32,4	91,9	94,8	92,1	92,3
Promedio	88,8	100,1	80,8	59,2	57,6	57,0	54,2	68,9	78,9	92,7	78,1	70,8
Norma Media Mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Normal Media Anual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Promedio Anual Móvil	72,1	71,8	72,7	71,9	72,2	73,2	72,5	73,9	75,3	75,8	77,7	73,9

Fuente: Mediciones entregadas por la Empresa

Tabla 9-26: Concentraciones de Hierro en MPS en el año 2013 en red de monitoreo de CAP (mg/(m² día))

Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12,94	13,29	11,92	13,95	7,67	13,75	8,69	8,65	12,75	13,47	15,82	8,06
2	11,17	12,34	9,47	10,61	7,87	11,85	6,29	9,85	13,84	15,61	11,76	6,05
3	8,24	12,24	11,18	8,13	6,38	9,21	5,93	15,23	16,26	23,43	15,05	10,88
4	25,11	16,83	14,64	11,44	8,7	14,25	8,31	23,23	14,67	19,98	2,26	10,27
5	18,31	12,54	11,3	9,41	5,93	8,96	5,9		10,41	23,83	8,38	11,81
6	18,81	11,55	14,36	9,49	5,87	9,86	7,66	2,85	11,7	18,52	13,71	10,32
Promedio	15,76	13,13	12,15	10,51	7,07	11,31	7,13	11,96	13,27	19,14	11,16	9,57
Norma Media Mensual	60	30	30	30	30							
Normal Media Anual	30											
Promedio Anual Móvil	12,74	11,96	11,79	11,37	11,27	11,59	11,36	11,78	11,91	12,31	12,72	11,85

Fuente: Mediciones entregadas por la Empresa

Concentración de Gases (CO, NO_x, SO₂, O₃)

Las concentraciones de SO₂, NO₂ y CO están muy por debajo a los niveles de concentración de la norma primaria para bienio el 2011-2012, según la información obtenida de las estaciones EME-M y EME-F de la red de monitoreo Guacolda (ver Tabla 9-5).

La estación Puerto Las Losas y la estación 21 de mayo no cuentan con información sobre gases y la estación Población Huasco II sólo cuenta con información de MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 9-27: Niveles de concentración de gases

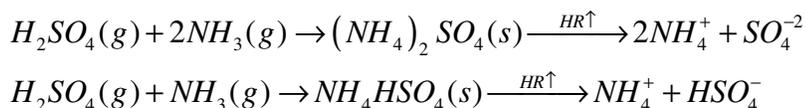
Estación	SO ₂ (ug/m ³)		NO ₂ (ug/m ³)		CO (mg/m ³)	
	Anual	P99 24 hrs.	Anual	P99 Máx 1 hr	P99 Máx 1 hr.	P99 Máx 8 hr.
EME-M	18	60	8	53	0,96	0,57
EME-F	17	55	9	47	0,96	0,57
Norma primaria	80	250	100	400	30	10

Fuente: (GAC consultores, 2014)

Antecedentes de la composición química del MP en la zona

En una zona costera como Huasco, el aporte natural del aerosol marino al MP₁₀ es relevante; de acuerdo a estudios realizados en zonas costeras chilenas, los valores de este aporte natural al MP₁₀ pueden variar entre 10 a 30 µg/m³, dependiendo de las características meteorológicas locales. Este antecedente es crítico para fines de poder establecer metas de reducción de emisiones, ya que en todos los escenarios el aporte de fuentes naturales va a ser una fuente no regulada, por lo que va a permanecer en la zona, sujeto solamente a las variabilidades meteorológicas que lo explican (intensidad del viento, por ejemplo). Además el conocer este aporte permite evaluar de manera correcta la modelación de la dispersión de MP en la zona, ya que una componente relevante del MP será el producido por reacciones químicas en la forma de MP secundario. A continuación presentamos más detalles sobre este aspecto del MP respirable.

Los sulfatos secundarios se forman por la conversión del dióxido de azufre (SO₂) a ácido sulfúrico y posteriormente a partículas. La oxidación atmosférica del SO₂ puede ocurrir a través de dos mecanismos: la oxidación en fase gaseosa y la oxidación en fase acuosa. En ambos casos se forma ácido sulfúrico en fase gaseosa. En presencia del amoníaco el ácido sulfúrico se neutraliza para dar origen a sulfato o bisulfato de amonio, de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:



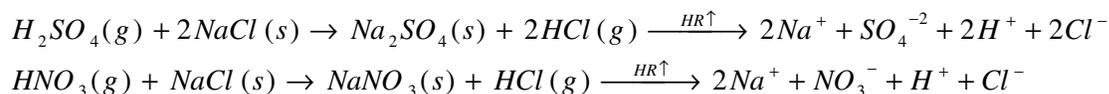
Ecuación 9-1

El NO₂ es un gas emitido en baja proporción en procesos de combustión (acompañado por óxido nítrico, NO, el cual es mayoritario), pero se forma también por la oxidación atmosférica del óxido nítrico. Al igual que en los sulfatos, existen mecanismos de formación de nitratos en fase gaseosa y acuosa. En ambos casos se forma ácido nítrico gaseoso, el cual reacciona con el amoníaco presente para formar nitrato de amonio de acuerdo a la reacción:



Ecuación 9-2

Además de la situación anterior, en zonas costeras la abundancia del aerosol marino (esencialmente NaCl en fase sólida) permite que se produzcan reacciones químicas de neutralización de esta sal con los mencionados ácidos en fase gaseosa, originándose sulfato y nitrato de sodio, de acuerdo a las reacciones:



Ecuación 9-3

En la Ecuación 9-1 y Ecuación 9-2, la neutralización con amoníaco produce partículas en el intervalo de tamaño bajo 2,5 μm, es decir, MP_{2,5}; sin embargo en el caso de la Ecuación 9-3, el aerosol marino se encuentra mayoritariamente en masa en la fracción de tamaño de partícula sobre 2,5 μm, por lo que produce mayoritariamente partículas secundarias en la fracción gruesa del MP₁₀.

En las tres ecuaciones anteriores la última etapa corresponde a la solubilización de la respectiva sal en la humedad existente (gotas de agua), en caso que la humedad relativa supere un valor crítico denominado humedad de deliquesencia.

A continuación se resumen los estudios previos que han incluido el análisis químico de filtros de MP en la zona de Huasco.

a) Universidad de Chile, 1999. "Estimación de la participación de las fuentes emisoras en el material particulado de la cuenca de Huasco".

En este Estudio se analizó por primera vez la composición química de muestras de MPS tomadas en los sitios de monitoreo de MPS de la red del SAG en Huasco, en distintas fuentes emisoras y en algunos receptores seleccionados. El análisis de la composición química del MPS se hizo por el método PIXE (*Proton Induced X-ray Emission*) en la Facultad de Ciencias. Posteriormente los datos fueron analizados mediante un modelo de receptor (*Chemical Mass Balance Model*, EPA EEUU) para hacer la estimación del aporte de las diferentes fuentes al MPS.

Las muestras tomadas fueron las siguientes:

- a) Doce muestras tomadas en sendos monitores de la red de MPS, en Noviembre 1998.
- b) Polvo sedimentado en hojas de olivo en la parcela de propiedad del Sr. Rojo, en Huasco Bajo, con una muestra medida más cerca de la línea del tren.
- c) Tres muestras de MP_{10} ambiental recolectadas en la misma parcela (Sr. Rojo) en tres días consecutivos de Noviembre 1998.
- d) Polvo superficial de caminos.
- e) Materiales en la planta de pellets: pre-concentrado de hierro, concentrado de hierro, pellets de hierro, carbón.
- f) Chimeneas de Endesa, Guacolda, y tres chimeneas en CMP: 2-A, 2-B y Scrubber, usando muestreo isocinético en los cinco casos.

Al aplicarse análisis de componentes principales a los datos de la composición química de los doce puntos de medición de MPS, se encontró cuatro tipos de conglomerados (elementos característicos): polvo del suelo (Si, K, Ca y Ti), sulfatos (P y S), emisión de CMP (Fe y Cr) y finalmente V como elemento aislado, que podría asociarse a emisiones de termoeléctricas (Endesa y Guacolda). La baja cantidad de datos (doce muestras solamente) le quita robustez estadística a estos resultados. Sin embargo, cualitativamente se detectan aportes de las dos principales fuentes emisoras en la zona en el material particulado que deposita en la zona olivícola de Huasco Bajo. Por otra parte, los resultados del modelo de receptor aplicado a las tres muestras de MP_{10} ambiental recolectadas secas en filtros, se muestran en la siguiente Tabla, extraída del citado informe.

Tabla 9-28: Resultados del modelo de receptor en parcela Huasco Bajo, noviembre 1998. (%)

Muestra	A	B	C
Fecha	26/11/1998	27/11/1998	28/11/1998
CMP-2 ^a	7	11	3
Polvo ciudad	14	17	
Polvo natural			12
Aerosol Marino	29	21	60
Fertilizantes	3	8	
Sulfatos	64	81	30
% de la masa	117	138	105

Fuente: Tabla 5.9 del citado estudio de la U. de Chile.

Aunque esto se hizo solo en un sitio (parcela Sr. Rojo en Huasco Bajo) y solamente en tres días consecutivos, los resultados indican aportes significativos de sulfatos y de aerosol marino en el MP₁₀ ambiental muestreado. Dada la baja cantidad de muestras y el breve periodo de la campaña de monitoreo, estos valores no se pueden extrapolar a largo plazo ni tampoco a la zona de Huasco misma, debido a la dependencia de los impactos en calidad del aire con la distancia entre la(s) fuente(s) y el receptor analizado.

b) CENMA, 2006. “Estudio de la calidad del aire en la Comuna de Huasco”

Este estudio se orientó a evaluar los niveles de MP₁₀ en la comuna de Huasco, específicamente en la zona urbana. Consistió en una campaña de monitoreo de MP₁₀, el análisis químico de filtros de MP₁₀ de la red de monitoreo de Guacolda, la generación de un inventario de emisiones de MP₁₀ y una modelación de la dispersión de las emisiones de MP₁₀ y su contribución a las concentraciones ambientales del MP₁₀ en Huasco. Finalmente, se entregaron recomendaciones de medidas a tomar en cuenta para reducir las concentraciones de MP₁₀ en el pueblo de Huasco.

Las dos estaciones de monitoreo existentes en Huasco a la fecha del estudio del CENMA corresponden a los receptores Escuela José Miguel Carrera y Cuerpo de Bomberos de Huasco, denominadas EME M y EME F, respectivamente. Las siguientes tablas muestran los resultados de los análisis químicos realizados a filtros escogidos de ambas estaciones de monitoreo. Por razones de presupuesto, el análisis se limitó a 10 filtros en cada estación.

Tabla 9-29: Concentración de MP10 y composición de iones (ug/m3) en estación EME F

Fecha	MP10	Ca ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
10/17/2005	92,7	18,5	3,2	7,9	32,2	6,0	29,2
10/26/2005	36,4	5,3	1,3	1,9	4,7	1,0	12,2
10/29/2005	70	7,2	1,8	2,4	4,1	1,5	22,6
11/1/2005	44,2	4,8	1,3	1,7	4,0	1,0	10,8

11/4/2005	39,3	4,0	0,8	1,4	2,8	1,0	12,1
11/7/2005	36,9	4,0	1,1	1,8	5,2	1,5	9,0
11/10/2005	30,4	2,9	0,6	1,1	2,4	0,6	7,6
11/13/2005	29,8	2,2	0,5	1,4	4,1	1,1	7,1
11/16/2005	27,6	0,2	0,1	0,1	2,6	0,4	3,4
11/19/2005	32,7	0,1	0,0	0,1	1,4	0,5	2,9
Promedio:	44,0	4,9	1,1	2,0	6,4	1,5	11,7

Fuente: Elaboración propia en base a resultados informe CENMA (2006)

Tabla 9-30: Concentración de MP10 y composición de iones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación EME M

Fecha	MP10	Ca ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
10/17/2005	55,3	0,6	0,3	0,3	5,5	1,3	14,6
10/26/2005	46,5	0,7	0,2	0,1	4,3	1,2	13,9
10/29/2005	67,6	1,0	0,1	0,4	3,4	1,5	21,8
11/1/2005	43,8	6,0	0,9	1,5	3,0	1,0	12,5
11/4/2005	44,9	3,8	1,0	1,7	5,0	1,2	8,5
11/7/2005	41,5	3,3	0,5	1,0	2,7	0,8	8,7
11/10/2005	50,3	3,9	0,9	1,9	6,9	1,5	7,3
11/13/2005	31,7	3,3	0,4	1,0	2,5	0,8	5,3
11/16/2005	34,2	3,2	0,5	1,0	3,1	0,5	4,2
11/19/2005	35,1	1,6	0,3	1,0	3,2	0,8	5,0
Promedio:	45,1	2,7	0,5	1,0	4,0	1,0	10,2

Fuente: Elaboración propia en base a resultados informe CENMA (2006)

La primera cifra que aparece como relevante es la cantidad de sulfatos presentes en las muestras de MP₁₀, que en promedio alcanzan a 11,7 y 10,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones F y M, respectivamente; esto corresponde al 26,6 y 22,6 % del MP₁₀, respectivamente.

Para poder cuantificar cuanto del sulfato medido es antropogénico y cuanto de origen natural (parte del aerosol marino), usamos las siguientes expresiones:

$$[SO_4^{-2}]_{\text{antropogénico}} = [SO_4^{-2}]_{\text{total}} - 0,252 \cdot [Na^+]$$

Ecuación 9-4

$$[SO_4^{-2}]_{\text{antropogénico}} = [SO_4^{-2}]_{\text{total}} - 0,14 \cdot [Cl^-]$$

Ecuación 9-5

Una complicación para aplicar la Ecuación 9-4 es que el sodio no fue medido debido a que hubo interferencias con el material del filtro (fibra de vidrio) usado en el muestreador HiVol usado en la

red de Guacolda para medir el MP_{10} . Una complicación con la Ecuación 9-5 es que parte del cloro del aerosol marino pasa a la fase gaseosa cuando hay neutralización con gases ácidos (Ecuación 9-3), por lo que tiende a sobrestimar el sulfato antropogénico.

Debido a esto, hacemos dos estimaciones distintas del sulfato antropogénico y, a la vez, del aerosol marino:

- a) Suponemos que todo el sulfato y el nitrato fueron neutralizados por el aerosol marino de acuerdo con la ecuación 3; con esto estimamos un valor máximo de Na^+ (máximo de aerosol marino NaCl presente en Huasco) con el cual estimamos un valor mínimo del sulfato antropogénico en la ecuación 4.
- b) Suponemos que el Cl^- medido permite calcular el mínimo valor de aerosol marino (NaCl) presente en Huasco, y a partir de la ecuación 5 podemos hacer una estimación del máximo valor de sulfato antropogénico presente en Huasco.

Las siguientes tablas presentan los resultados de este cálculo para las dos estaciones de monitoreo EME F y EME M.

Tabla 9-31: Estimación de sulfato antropogénico y aerosol marino ($\mu g/m^3$), EME F

Fecha	MP_{10}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{-2} total	Na^+ max	SO_4^{-2} min	SO_4^{-2} max	NaCl min	NaCl max
10/17/2005	92,7	32,2	6,0	29,2	15,9	25,2	24,7	53,1	40,5
10/26/2005	36,4	4,7	1,0	12,2	6,1	10,6	11,5	7,7	15,5
10/29/2005	70	4,1	1,5	22,6	11,2	19,8	22,0	6,7	28,4
11/1/2005	44,2	4,0	1,0	10,8	5,5	9,4	10,2	6,5	13,9
11/4/2005	39,3	2,8	1,0	12,1	6,0	10,6	11,7	4,7	15,4
11/7/2005	36,9	5,2	1,5	9,0	4,8	7,8	8,3	8,6	12,2
11/10/2005	30,4	2,4	0,6	7,6	3,8	6,7	7,3	4,0	9,7
11/13/2005	29,8	4,1	1,1	7,1	3,7	6,1	6,5	6,8	9,4
11/16/2005	27,6	2,6	0,4	3,4	1,8	3,0	3,1	4,2	4,5
11/19/2005	32,7	1,4	0,5	2,9	1,5	2,5	2,7	2,3	3,9
Promedio:	44,0	6,4	1,5	11,7	6,0	10,2	10,8	10,5	15,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-32: Estimación de sulfato antropogénico y aerosol marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), EME M

Fecha	MP ₁₀	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻² total	Na ⁺ max	SO ₄ ⁻² min	SO ₄ ⁻² max	NaCl min	NaCl max
10/17/2005	55,3	5,5	1,3	14,6	7,3	12,7	13,8	9,1	18,6
10/26/2005	46,5	4,3	1,2	13,9	7,0	12,2	13,3	7,2	17,7
10/29/2005	67,6	3,4	1,5	21,8	10,8	19,1	21,3	5,6	27,4
11/1/2005	43,8	3,0	1,0	12,5	6,2	11,0	12,1	4,9	15,9
11/4/2005	44,9	5,0	1,2	8,5	4,4	7,4	7,8	8,2	11,3
11/7/2005	41,5	2,7	0,8	8,7	4,4	7,6	8,3	4,4	11,1
11/10/2005	50,3	6,9	1,5	7,3	4,0	6,3	6,4	11,4	10,2
11/13/2005	31,7	2,5	0,8	5,3	2,8	4,6	5,0	4,1	7,1
11/16/2005	34,2	3,1	0,5	4,2	2,2	3,7	3,8	5,1	5,5
11/19/2005	35,1	3,2	0,8	5,0	2,7	4,4	4,6	5,3	6,8
Promedio:	45,1	4,0	1,0	10,2	5,2	8,9	9,6	6,5	13,2

Fuente: Elaboración propia

Luego, el aporte de la industria (SO₂ emitido por chimeneas) al MP₁₀ en Huasco el año 2005 es mucho mayor que la modelación hecha por CENMA, que solo considera el MP₁₀ emitido directamente por las chimeneas y no incluye la formación de sulfatos en la zona, y que fue estimado en 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambas estaciones de monitoreo. Tomando el promedio de las estimaciones en ambas estaciones de las Tablas anteriores llegamos al valor de 9,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como sulfato antropogénico, que corresponde a un 23,8 % promedio en la estación EME F y un 19,7 % en la estación EME M.

Por lo tanto, el procedimiento de 'ajuste' del modelo Gaussiano realizado en dicho informe del CENMA para establecer la línea base de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como en Huasco se considera incorrecto. Tomando el promedio del aerosol marino en las dos estaciones de las dos Tablas anteriores se llega al valor de 11,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como aporte natural al MP₁₀, prácticamente la mitad del valor estimado en el citado informe de CENMA, de 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comparando las concentraciones promedio de distintos iones en las Tablas anteriores se aprecia una alta correlación entre las mediciones en ambas estaciones; esta consistencia era esperable debido a la cercanía de ambas estaciones monitoras en Huasco, y es una constatación de que los datos analizados no poseen sesgos evidentes ni relevantes.

c) DICTUC, Proyecto FIC: 33-01-773: Estudio Para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco. Julio 2013.

En este estudio se hizo un análisis de la composición química del material particulado fino (MP_{2,5}) en tres sitios a lo largo del valle del Huasco, como se muestra en la siguiente figura. El muestreo se llevó a cabo entre el 4 de enero y 3 de marzo del 2013, usando muestreadores de bajo volumen.

Figura 9-1: Ubicación de los puntos de monitoreo de concentración del MP_{2.5}.

La siguiente figura muestra que hay una gran variabilidad entre los datos de un muestreo y otro (en un mismo sitio) y también para una misma fecha entre sitios distintos.

Esta gran variabilidad se debe a que las principales fuentes de emisión de MP_{2.5} corresponden a las chimeneas de CMP y Guacolda (incluyendo la generación de MP_{2.5} secundario), por lo que los impactos dependen de la cercanía del monitor a la pluma de esas emisiones de MP_{2.5}. Cuando las plumas pasan cerca de un monitor, los impactos son altos; en el caso de que las plumas no pasen cerca del monitor, los impactos serán los de las demás fuentes en Huasco (incluyendo fuentes naturales como levantamiento de polvo superficial), las que son menos significativas en aportes, ya que la mayoría de las emisiones de MP en Huasco provienen de la industria.

Figura 9-2: Serie cronológica con los datos monitoreados de MP2.5, en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].
Círculos: Bomberos de Huasco; triángulos: Huasco Bajo; cruces: Las Tablas

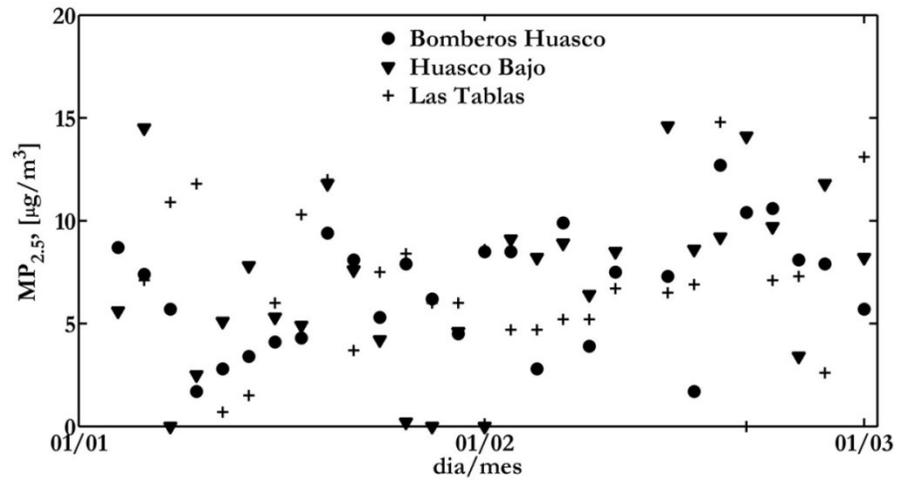


Tabla 9-33: Resumen de las concentraciones de MP_{2.5} medidas en la campaña de verano 2013.

Fecha instalación	Cia. Bomberos Huasco [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Huasco Bajo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Las Tablas [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
4-ene	8.7	5.6	
6-ene	7.4	14.5	7.1
8-ene	5.7	0.0	10.9
10-ene	1.7	2.5	11.8
12-ene	2.8	5.1	0.7
14-ene	3.4	7.8	1.5
16-ene	4.1	5.3	6.0
18-ene	4.3	4.9	10.3
20-ene	9.4	11.8	12.0
22-ene	8.1	7.6	3.7
24-ene	5.3	4.2	7.5
26-ene	7.9	0.2	8.4
28-ene	6.2	0.0	6.0
30-ene	4.5	4.6	6.0
1-feb	8.5	0.0	8.6
3-feb	8.5	9.1	4.7
5-feb	2.8	8.2	4.7
7-feb	9.9	8.9	5.2
9-feb	3.9	6.4	5.2
11-feb	7.5	8.5	6.7
15-feb	7.3	14.6	6.5
17-feb	1.7	8.6	6.9
19-feb	12.7	9.2	14.8
21-feb	10.4	14.1	0.0
23-feb	10.6	9.7	7.1
25-feb	8.1	3.4	7.3
27-feb	7.9	11.8	2.6
1-mar	5.7	8.2	13.1

La Tabla 9-33 presenta los valores numéricos encontrados en la campaña de medición del MP_{2.5}; los datos muestran el mismo comportamiento de la Figura 9-2: gran variabilidad de un día a otro en un sitio fijo, y bastante variabilidad entre los tres sitios en un mismo día. Luego, las emisiones del sector industrial afectan de manera intermitente la zona baja del valle del Huasco: algunos días no llegan a un receptor dado (por causas meteorológicas) y otros días si lo impactan. Los valores '0.0' en la Tabla indican que no se detectó una concentración significativa en los filtros respectivos.

Los promedios de la campaña son muy similares entre los distintos sitios: 6.6, 7.0 y 6.9 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], para Bomberos de Huasco, Huasco Bajo y Las Tablas, respectivamente. Esta poca variabilidad promedio nos está indicando que, en el mediano plazo, todo el sector entre la ciudad de Huasco y el sector de Las Tablas está expuesto a aproximadamente las mismas concentraciones de MP_{2.5}. Este comportamiento de largo plazo con poca variabilidad espacial del MP_{2.5} es característico de este contaminante, y es lo que pasa, por ejemplo, en la ciudad de Santiago donde los valores del MP_{2.5} medidos en distintos sitios de la ciudad no varían mucho entre sí.

Para identificar los aportes de las distintas fuentes emisoras al material particulado fino, se analizaron los filtros de Teflón en aquellos días con mayores concentraciones medidas en la Tabla 9-33. Para esto se analizaron esos filtros mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (*SEM*) en conjunto con un detector de emisiones de rayos X dispersados por los distintos elementos presentes en la muestra (*EDX*). La siguiente Tabla muestra los resultados de las concentraciones determinadas para el subconjunto de muestras con mayores valores de $MP_{2.5}$ medidos en la campaña.

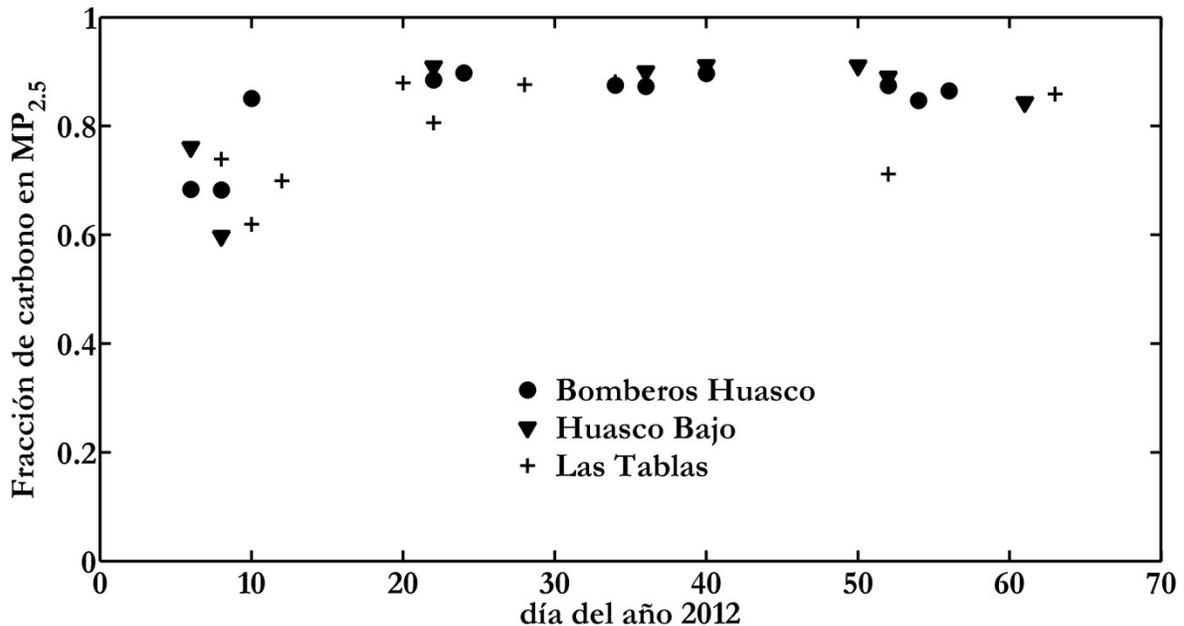
Como se puede apreciar de la Tabla 9-34 la mayor proporción en masa en los filtros corresponde al carbono, elemento trazador de partículas generadas en procesos de combustión. En base a los inventarios de emisiones disponibles, se puede concluir que estas partículas provienen casi en su totalidad de las emisiones del complejo industrial de Huasco.

La Figura 9-3 muestra un gráfico de serie cronológica con la fracción del material particulado fino que corresponde a carbono, para todos los datos presentados en la Tabla 9-34. Se aprecia que este predominio del carbono en el $MP_{2.5}$ ocurre todo el tiempo, con porcentajes que están siempre por sobre el 60 % del $MP_{2.5}$ medido, y la mayoría de ellos están por sobre el 80% del $MP_{2.5}$ medido.

Tabla 9-34: Concentraciones de elementos presentes en el MP2-5 medido en campaña de verano 2013 en el valle del Huasco, [en ug/m3]. BH: Bomberos de Huasco, HB: Huasco Bajo, LT: Las Tablas

Fecha	Sitio	MP2.5	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Pb
06-01-12	BH	8.7	5.95	1.59	0.14	0.05	0.03	0.13	0.03	0.09	0.05	0.65	0.00	0.00	0.00
08-01-12	BH	7.4	5.05	1.79	0.19	0.05	0.07	0.03	0.14	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
10-01-12	BH	5.7	4.85	0.45	0.25	0.00	0.02	0.02	0.06	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
22-01-12	BH	9.4	8.32	0.75	0.14	0.00	0.05	0.02	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
24-01-12	BH	8.1	7.27	0.67	0.06	0.00	0.03	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03-02-12	BH	8.5	7.44	0.76	0.16	0.03	0.00	0.00	0.10	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
05-02-12	BH	8.5	7.42	0.63	0.29	0.00	0.00	0.03	0.06	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04
09-02-12	BH	9.8	8.79	0.65	0.20	0.00	0.00	0.02	0.07	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00
21-02-12	BH	12.7	11.11	0.74	0.65	0.00	0.00	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-02-12	BH	10.4	8.81	0.90	0.30	0.03	0.15	0.04	0.13	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-02-12	BH	10.6	9.17	0.84	0.43	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06-01-12	HB	5.6	4.26	0.98	0.09	0.00	0.03	0.01	0.08	0.02	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00
08-01-12	HB	14.5	8.66	4.02	0.24	0.08	0.24	0.39	0.22	0.00	0.05	0.50	0.10	0.00	0.00
22-01-12	HB	11.8	10.73	0.82	0.14	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
05-02-12	HB	9.1	8.19	0.55	0.20	0.00	0.03	0.00	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
09-02-12	HB	8.9	8.11	0.52	0.14	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06
19-02-12	HB	8.6	7.83	0.41	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-02-12	HB	9.2	8.19	0.52	0.30	0.00	0.06	0.03	0.06	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01-03-12	HB	11.8	9.95	1.27	0.37	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-01-12	LT	7.1	5.25	1.47	0.15	0.00	0.04	0.05	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-01-12	LT	10.9	6.75	3.34	0.32	0.00	0.06	0.00	0.27	0.08	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
12-01-12	LT	11.8	8.25	3.17	0.06	0.00	0.06	0.20	0.00	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
20-01-12	LT	10.3	9.06	1.00	0.10	0.03	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-01-12	LT	12.0	9.67	1.42	0.22	0.00	0.44	0.05	0.22	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
28-01-12	LT	8.4	7.36	0.74	0.12	0.04	0.00	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
03-02-12	LT	8.6	7.58	0.69	0.12	0.00	0.03	0.00	0.10	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00
21-02-12	LT	14.8	10.53	1.02	0.64	0.00	2.29	0.06	0.08	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03-03-12	LT	13.1	11.25	0.99	0.55	0.00	0.00	0.00	0.12	0.10	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 9-3: Fracción de carbono en el MP_{2.5}, campaña de verano 2013.
Círculos: Bomberos de Huasco; triángulos: Huasco Bajo; cruces: Las Tablas



A través del análisis de la composición química del MP_{2.5}, de las reacciones químicas que se pueden producir entre los gases ácidos y el aerosol marino y de balances de masa y factores estequiométricos, se pueden construir las siguientes figuras que muestran una línea del tiempo y una torta de aportes, respectivamente, de las especies químicas identificadas para el MP_{2.5} medido en los tres sitios de la campaña verano 2013.

Se puede constatar que el aporte de partículas de combustión (medidas por el carbono total) es dominante todo el tiempo, en los tres sitios de medición. También se aprecia que los aportes de MP_{2.5} secundario (sulfatos y nitrato de sodio) no ocurren todos los días sino en forma intermitente, lo que es consistente con el hecho de que se originan a partir de las emisiones de NO_x y SO_x de las chimeneas del complejo industrial de Huasco, las mayores emisoras de esos gases y cuya trayectoria hacia el interior del valle del Huasco no es regular sino que es cambiante con la meteorología de cada día analizado.

Figura 9-4: Línea de tiempo de las contribuciones al MP2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] medidas en los tres sitios de monitoreo de la campaña de verano 2013 en el valle del Huasco.

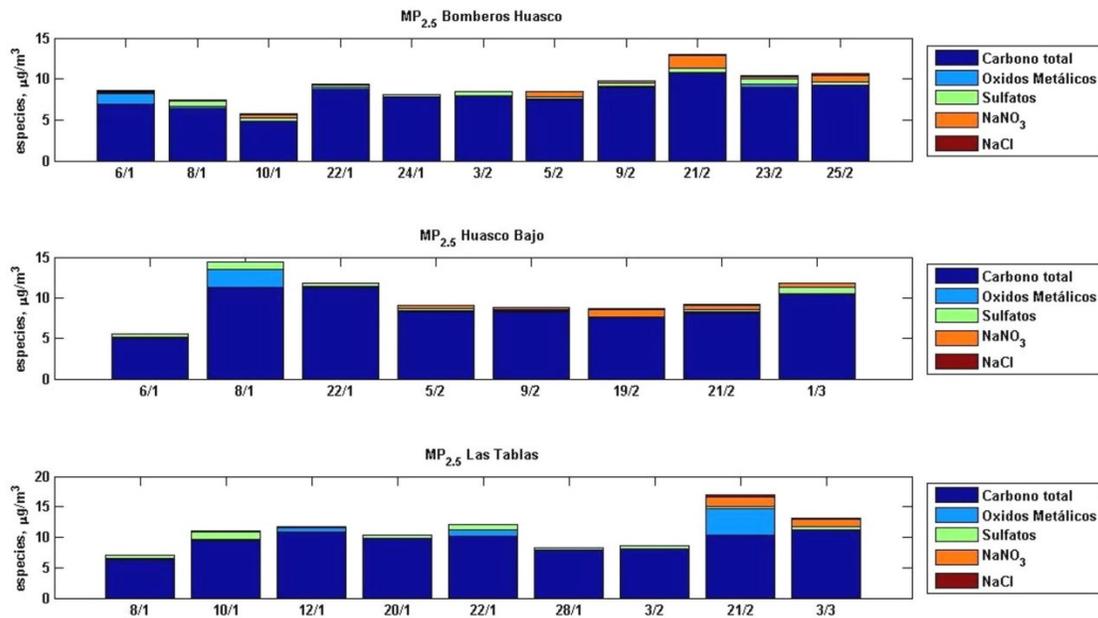
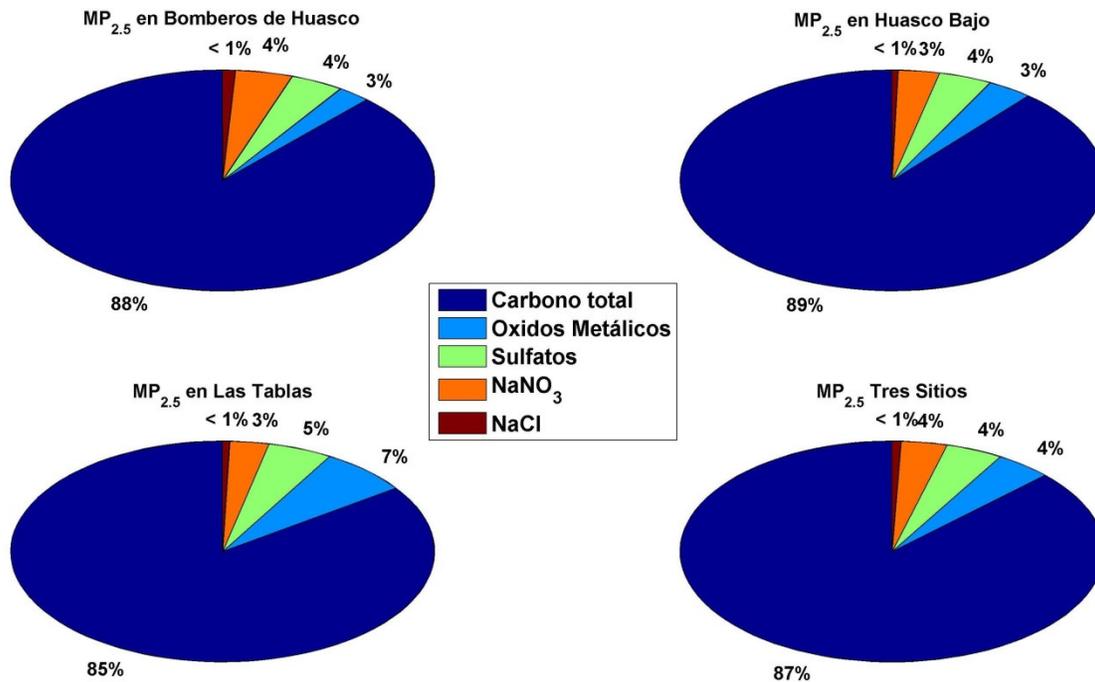


Figura 9-5: Gráficos de aportes de fuentes al MP_{2.5} (%) en los tres sitios de monitoreo de la campaña de verano 2013 en el valle del Huasco, incluyendo promedio global de aportes al MP_{2.5}



Finalmente, solo se puede considerar como aporte natural al MP_{2.5} el aerosol marino (NaCl) y una parte de los óxidos metálicos, aquellos considerados como polvo suspendido por acción del viento. Ambas componentes solamente llegan al 5% del MP_{2.5} medido, lo que confirma que el MP_{2.5} proviene en su gran mayoría de las fuentes antropogénicas, en este caso de las emisiones del complejo industrial de Huasco.

El hecho de que hay poco sulfato y nitrato en el MP_{2.5} (comparado con el caso del MP₁₀ descrito anteriormente) se debe principalmente a que el aerosol marino que neutraliza los gases ácidos está presente principalmente en el tamaño de partícula por sobre 2,5 µm, por lo que se manifiesta de manera más predominante en masa en la fracción gruesa del MP₁₀ secundario.

d) Resumen de los estudios revisados

Como resumen de esta sección podemos establecer las siguientes conclusiones:

- a) Las concentraciones de material particulado fino (MP_{2.5}) se explican en su gran mayoría por las emisiones del complejo industrial, ya que predominan las partículas de procesos de combustión, con alto contenido de carbono.

- b) El material particulado respirable total (MP₁₀) posee una alta contribución de material particulado secundario, principalmente sulfatos y, en menor medida, nitratos. Para la campaña de mediciones de CENMA con los filtros de octubre y noviembre 2005 se estima que el total de material particulado secundario (suma de nitrato más sulfato antropogénico) asciende a un 27% y a un 23% del MP₁₀ medido en la estación EME F y EME M, respectivamente.
- c) Con la información recopilada del citado estudio de CENMA se puede estimar que el aporte natural (aerosol marino, NaCl) asciende a un 29% y 22% del MP₁₀ medido en la estación EME F y EME M, respectivamente. En otras palabras, la línea base natural asociada al aerosol marino es de aproximadamente 11,5 µg/m³ para la zona de Huasco.

Cabe hacer notar que esos resultados han sido obtenidos en campañas de análisis químico de filtros de corta duración, por lo que la estacionalidad de los aportes al MP₁₀ no ha podido ser determinada todavía en una base anual para la zona de Huasco.

9.2 Estudios/Documentos Revisados

Tabla 9-35: Documentos Revisados

Estudio	Autor	Financia	Año	Importancia	Materia
Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial.	UDT Universidad de Concepción.	Ministerio Medio Ambiente	2012	Media	Emisiones
Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas	KAS Ingeniería	CONAMA	2009	Baja	Complemento
Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco	CENMA	Municipalidad de Huasco	2006	Alta	Calidad del Aire
SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA DE MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE para Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco	CENMA	Municipalidad de Huasco	2006	Alta	Dispersión de Contaminantes
Caracterización Física y Química del Material Particulado en Huasco para Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco	CENMA	Municipalidad de Huasco	2006	Media	Dispersión de Contaminantes
Inventario de Emisiones de Material Particulado para Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco	CENMA	Municipalidad de Huasco	2006	Media	Emisiones
Presentación Avance de Actividades Análisis de Representatividad de las estaciones en Huasco, campaña de monitoreo, inventarios de emisiones y modelación de dispersión de MP10	CENMA	Municipalidad de Huasco	2007	Media	Emisiones
Estudio de la Calidad del Aire en la Comuna de Huasco					
Particulate Matter Dispersion in the Huasco Valley, Chile, Jorquera, Héctor.	Jorquera	-	2007	Media	Dispersión de Contaminantes
Elaboración de una matriz fuente receptor a nivel nacional que aporte como insumo a la valoración económica de la reducción del riesgo en salud asociado a la contaminación del aire, Dictuc S.A	Dictuc	Ministerio Medio Ambiente	2010	Media	Complemento
Decreto 13, Norma de Emisión para Termoeléctrica.	Ministerio Medio Ambiente	Ministerio Medio Ambiente	2011	Alta	Emisiones
Declaración de zona latente para MP ₁₀ como concentración anual la localidad de Huasco, y su zona circundante.	Ministerio Medio Ambiente	Ministerio Medio Ambiente	2012	Alta	Complemento
Planes de descontaminación atmosférica (2014 – 2018), Ministerio de Medio Ambiente	Ministerio Medio Ambiente	Ministerio Medio Ambiente	2014	Alta	Complemento

Estudio	Autor	Financia	Año	Importancia	Materia
ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DE UNA NORMA DE EMISIÓN PARA TERMOELÉCTRICAS	Mg y Cifuentes	-	2010	Baja	Complemento
Estudio Para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco.	Dictuc Agronomía PUC	SEREMI Agronomía Atacama	2013	Alta	Emisiones, Dispersión de Contaminantes, calidad del aire
Emisiones y calidad del aire en Huasco	GAC	CAP	2014	Alta	Emisiones, Calidad del Aire
Presentación proyectos retrofits	Guacolda	Guacolda	2013	Alta	Emisiones
Segundo Informe de Avance Coexistencia Agricultura y Minería	Fundacion Chile	Proyecto Centro Tecnológico Ambiental Atacama	2010	Media	Calidad del Aire
Análisis granulométrico-morfologico-composicional de filtros mp10 de la comuna de huasco estaciones Escuela y Bomberos	Guarachi Ingenieros	CENMA	2006	Alta	Dispersión de Contaminantes
Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) del material particulado sobre la salud humana.	Dr Claudio Vargas	Minsal	2011	Media	Impacto
DIAGNÓSTICO DE SALUD REGIONAL DE ATACAMA CON ENFOQUES DE DETERMINANTES SOCIALES DE SALUD	SEREMI Salud, Tercera Region	SEREMI Salud, Tercera Region	2010	Alta	Impacto
Perfiles de MorbiMortalidad - Huasco -Atamaca	SEREMI Salud, Tercera Region	SEREMI Salud, Tercera Region		Media	Impacto
EIA Central Termoeléctrica Punta Alcalde	GAC	Endesa	2009	Media	Emisiones
EIA Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets, CMP Y Gestión Ambiental Consultores.	GAC	CMP		Alta	Emisiones
EIA Central Guacolda Unidad 3, Electrica Guacolda y Jaime Illanes y Asociados.	Illanes y Asociados	Guacolda	2005	Media	Emisiones
EIA Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A (Unidad 4), Electrica Guacolda y Jaime Illanes y Asociados.	Illanes y Asociados	Guacolda	2007	Media	Emisiones
Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A (Unidad 5), Electrica Guacolda y Jaime Illanes y Asociados.	Illanes y Asociados	Guacolda	2009	Alta	Emisiones
DIA Ampliación de la capacidad de almacenamiento de combustible central termoéctrica guacolda	Guacolda	Guacolda	2008	Alta	Emisiones
DIA Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para	Guacolda	Guacolda	2013	Alta	Emisiones

Estudio	Autor	Financia	Año	Importancia	Materia
Centrales Termoeléctricas"					
DIA Flexibilización de la Operación en la Central Termoeléctrica Guacolda	Guacolda	Guacolda	2004	Media	Emisiones
EIA Usos de Mezclas de Carbón y Petcoke en Central Termoeléctrica Guacolda	Illanes y Asociados	Guacolda	1999		
Resolución Exenta Nº 215 de 2010: "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets"	COREMA III Región	COREMA III Región	2010	Alta	Emisiones
Resolución Exenta Nº 191 de 2010: "Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A."	COREMA III Región	COREMA III Región	2010	Alta	Emisiones
Resolución Exenta Nº 4 de 2014: Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas"	Comisión Evaluación II Región	Comisión Evaluación II Región	2014	Alta	Emisiones
Resolución Exenta Nº 236 de 2007: "Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A."	COREMA III Región	COREMA III Región	2007	Media	Emisiones
Resolución Exenta Nº 68 de 2006: "Proyecto Central Guacolda Unidad Nº3"	COREMA III Región	COREMA III Región	2006	Media	Emisiones
Resolución Exenta Nº 49 de 2004: "Flexibilización de la Operación en la Central Termoeléctrica Guacolda"	COREMA III Región	COREMA III Región	2004	Media	Emisiones
Resolución Exenta Nº 38 de 2000: "Uso de Mezclas de Carbón y Petcoke en la Central Termoeléctrica Guacolda S.A."	COREMA III Región	COREMA III Región	2000	Media	Emisiones
Estimación de la participación de las fuentes emisoras en el material particulado de la cuenca de Huasco	Centro de Agricultura y Medio Ambiente, Universidad de Chile	SAG, Ministerio de Agricultura	1999	Media	Calidad del Aire

Fuente: Elaboración propia

9.3 Factores de Emisión Fuentes Móviles (g/km)

Tipo de Vehículo	Subtipo de Vehículo	Standard del Vehículo	Diesel				Gasolina			
			MP10	MP25	NOX	SOX	MP10	MP25	NOX	SOX
Buses	< 12 metros	Convencional	1.1132	1.0019	18.9258	0.0426				
		E1	0.5657	0.5091	11.6449	0.0358				
		E2	0.2599	0.2339	12.3871	0.0344				
		E3	0.2432	0.2188	11.2026	0.0359				
		E4	0.0575	0.0517	6.4087	0.0341				
		E5	0.0575	0.0517	3.6529	0.0341				
		E6	0.0029	0.0026	0.7050	0.0341				
	> 12 metros rígido	Convencional	1.1132	1.0019	18.9258	0.0426				
		E1	0.5657	0.5091	11.6449	0.0358				
		E2	0.2599	0.2339	12.3871	0.0344				
		E3	0.2432	0.2188	11.2026	0.0359				
		E4	0.0575	0.0517	6.4087	0.0341				
		E5	0.0575	0.0517	3.6529	0.0341				
		E6	0.0029	0.0026	0.7050	0.0341				
	Articulado	Convencional	1.3656	1.2290	23.8166	0.0521				
		E1	0.6904	0.6213	14.7861	0.0450				
		E2	0.3446	0.3101	15.3303	0.0434				
		E3	0.2864	0.2577	13.7886	0.0450				
		E4	0.0659	0.0593	8.1151	0.0426				
		E5	0.0659	0.0593	4.6256	0.0426				
		E6	0.0033	0.0030	0.8927	0.0426				
	Interurbano	Convencional	0.6652	0.5987	13.0457	0.0342				
		E1	0.5281	0.4753	10.0558	0.0313				
		E2	0.2215	0.1994	11.2689	0.0311				
E3		0.2499	0.2249	9.8210	0.0335					
E4		0.0512	0.0461	5.8118	0.0317					
E5		0.0512	0.0461	3.3127	0.0317					
E6		0.0026	0.0023	0.6393	0.0317					
	4tiempos	Convencional					0.0100	0.0090	0.0800	0.0030
Taxis	Basicos	Convencional	0.2442	0.2198	0.5889	0.0088				

Tipo de Vehículo	Subtipo de Vehículo	Standard del Vehículo	Diesel				Gasolina			
			MP10	MP25	NOX	SOX	MP10	MP25	NOX	SOX
		E1	0.0642	0.0578	0.6878	0.0080	0.0032	0.0029	0.3090	0.0066
		E3	0.0324	0.0292	0.7788	0.0080	0.0013	0.0012	0.0808	0.0067
		E4	0.0320	0.0288	0.6368	0.0080	0.0013	0.0012	0.0653	0.0068
		E5	0.0016	0.0014	0.4585	0.0080	0.0013	0.0012	0.0490	0.0068
		E6	0.0016	0.0014	0.2038	0.0080	0.0013	0.0012	0.0490	0.0068
		No Cat					0.0032	0.0029	1.9750	0.0094
		Convencional	0.2442	0.2198	0.5889	0.0088				
	Colectivos	E1	0.0642	0.0578	0.6878	0.0080	0.0032	0.0029	0.3090	0.0066
		E3	0.0324	0.0292	0.7788	0.0080	0.0013	0.0012	0.0808	0.0067
		E4	0.0320	0.0288	0.6368	0.0080	0.0013	0.0012	0.0653	0.0068
		E5	0.0016	0.0014	0.4585	0.0080	0.0013	0.0012	0.0490	0.0068
		E6	0.0016	0.0014	0.2038	0.0080	0.0013	0.0012	0.0490	0.0068
		No Cat					0.0032	0.0029	1.9750	0.0094
		Convencional	0.2819	0.2537	2.2908	0.0088				
Vehículos Livianos	Comerciales	E1	0.0872	0.0784	1.2873	0.0080	0.0032	0.0029	0.4640	0.0114
		E3	0.0584	0.0526	1.0813	0.0080	0.0013	0.0012	0.0974	0.0114
		E4	0.0305	0.0275	0.8754	0.0080	0.0013	0.0012	0.0464	0.0114
		E5	0.0017	0.0016	0.6308	0.0080	0.0013	0.0012	0.0325	0.0114
		E6	0.0017	0.0016	0.2832	0.0080	0.0013	0.0012	0.0325	0.0114
		No Cat					0.0032	0.0029	2.4917	0.0097
		Convencional	0.2442	0.2198	0.5889	0.0069				
	Pasajeros	E1	0.0642	0.0578	0.6878	0.0054	0.0032	0.0029	0.3090	0.0066
		E3	0.0324	0.0292	0.7788	0.0054	0.0013	0.0012	0.0808	0.0067
		E4	0.0320	0.0288	0.6368	0.0054	0.0013	0.0012	0.0653	0.0068
		E5	0.0016	0.0014	0.4585	0.0054	0.0013	0.0012	0.0490	0.0068
		E6	0.0016	0.0014	0.2038	0.0054	0.0013	0.0012	0.0490	0.0068
		No Cat					0.0032	0.0029	1.9750	0.0094
		Convencional	0.4231	0.3807	4.6421	0.0135				
Camiones	Livianos	E1	0.1636	0.1472	3.2187	0.0107				
		E2	0.0664	0.0598	3.4500	0.0101				
		E3	0.0751	0.0676	2.7320	0.0107				
		E4	0.0145	0.0130	0.9274	0.0101				
		E5	0.0145	0.0130	0.9274	0.0101				
		E6	0.0007	0.0007	0.9274	0.0101				

Tipo de Vehículo	Subtipo de Vehículo	Standard del Vehículo	Diesel				Gasolina			
			MP10	MP25	NOX	SOX	MP10	MP25	NOX	SOX
	Medianos	Convencional	0.4743	0.4269	10.0873	0.0221				
		E1	0.2844	0.2559	6.0313	0.0188				
		E2	0.1210	0.1089	6.4280	0.0180				
		E3	0.1237	0.1113	5.3038	0.0190				
		E4	0.0243	0.0218	1.7909	0.0178				
		E5	0.0243	0.0218	1.7909	0.0178				
		E6	0.0012	0.0011	1.7909	0.0178				
	Pesados	Convencional	0.7031	0.6328	14.9245	0.0375				
		E1	0.5355	0.4819	10.5317	0.0321				
		E2	0.2233	0.2010	11.1145	0.0308				
		E3	0.2362	0.2126	8.7427	0.0322				
		E4	0.0426	0.0384	3.0299	0.0301				
		E5	0.0426	0.0384	0.5847	0.0301				
		E6	0.0021	0.0019	0.5847	0.0301				

Fuente: (GreenLabUC & Sistemas Sustentables, 2012)

9.4 Estimación Cantidad de Preconcentrado, Carbón y Caliza en CAP

El total de producción del año 2013 se obtuvo por parte de la empresa como respuesta a la solicitud de información realizada por el consultor a través de la SEREMI de Medio Ambiente. La información obtenida a ese año se presenta a continuación:

Tabla 9-36 Producción en CAP – Año 2013

Producto	ton/año
Pellet Básico	1,728,670
Pellet RD	473,458
Pellet Chip	112,764
Pellet Feed	3,465,277
Preconcentrado Alta Ley	908,805
Granzas	703,221
TOTAL	7,392,195

Fuente: Información entregada por la empresa, disponible en Anexo Digital “CAP Minería (2014). Segundo Informe: Respuestas a Cuestionario de DICTUC”.

Sin embargo, no se conoce la cantidad de preconcentrado almacenado en las canchas de acopio, ni tampoco la cantidad de carbón y caliza. Para esto, se revisó el EIA “Proyecto Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”, Anexo 6.1 – Análisis de Impacto en la Calidad del Aire, Tabla 33: Cantidad y Características de Materiales – Situación Actual”

Tabla 9-37 Cantidad y Características de Materiales – Situación Actual - CAP

Material	Cantidad (ton/año)	Densidad Promedio (ton/m ³)	Humedad (%)	Finos (%)
Preconcentrado	7000000	2.95	2,6	20
Pellets	4000000	2.18	1,5	0.5
Pellets Feed	1400000	2.6	8,5	80
Pellets Chips	400000	2.45	1,5	10
Carbón	89760	0.95	7	8
Caliza	185240	2.3	5	3

Fuente: (GAC consultores & CAP, 2010)

En base a la información presentada en la tabla anterior se estiman 3 factores para poder estimar para el año 2013 el total de preconcentrado, carbón y caliza:

Tabla 9-38 Razones de Consumo/Producción de Materiales Estimadas para CAP

Razón	Valor	Unidad	Materiales Considerados
Razón Precon. / Pellets	1.2069	ton/ton	Pellets, Pellets Feed, Pellets Chip y Preconcentrado
Razón Carbón / Pellets	0.0204	ton/ton	Pellets, Pellets Chip y Preconcentrado
Razón Caliza / Carbón	2.0637	ton/ton	Caliza y Carbón

Fuente: Elaboración Propia

Con las razones anteriores y la cantidad de material declarado por la empresa para el año 2013 se procede a estimar la cantidad total de preconcentrado, carbón y caliza para ese mismo año:

Tabla 9-39 Cantidad de Preconcentrado, Carbón y Caliza Estimado para el año 2013 - CAP

Material	ton/año
Preconcentrado	6,976,066
Carbón	47,224
Caliza	97,457

Fuente: Elaboración Propia

9.5 Resultados Análisis de Muestras

Durante la primera visita a la zona de Huasco, el equipo consultor tomo varias muestras según se detalla a continuación:

Tabla 9-40 Detalle Muestras Tomadas en Visita #1 a Zona de Huasco

Muestras	Origen	Empresa	Material	Fecha
A	Usibelli, Alaska	Guacolda	Carbon	27-11-14
B	Mini Invierno, Isla Riesgo Chile, Guacolda	Guacolda	Carbon	27-11-14
C	Drumón, Colombia, Guacolda	Guacolda	Carbon	27-11-14
D	Clearmont, Australia, Guacolda	CAP	Carbon	27-11-14
E	Petcoke, EE.UU.	Guacolda	Carbon	27-11-14
F	Cerrajón	Guacolda	Carbon	27-11-14
G	Preconcentrado	CAP	Preconcentrado	27-11-14
H	Rollerstone, Australia	Guacolda	Carbon	27-11-14

Fuente: Elaboración Propia

Dichas muestras fueron enviadas a la Unidad de Ingeniería Geotécnica de DICTUC Construcción³⁰ para ser analizadas obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 9-41 Resultados Análisis de Muestras Tomadas en Visita #1 a Zona de Huasco

Muestras	Humedad Natural (%)	Peso Específico (g/cm ³)	% Finos
A	20.3	1.53	3
B	21.3	1.53	6
C	11.5	1.41	9
D	5.6	1.55	17
E	1.8	1.37	7
F	8.6	1.43	9
G	0.2	4.75	14
H	14.8	1.45	10

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados se entregaron en el CD como anexo digital, además de los resultados originales obtenidos por parte de Geotécnica.

³⁰ <http://www.dictuc.cl/construccion>

9.6 Listado Ampliado de Medidas

A continuación se presenta el listado ampliado de medidas. Finalmente, no se consideraron todas las medidas, y se procedió a evaluar solamente un grupo de medidas seleccionadas.

Tabla 9-42: Listado Ampliado de Medidas para Localidad de Huasco

ID	Tipo de Fuente	Medida	Referencia	Comentarios	Contaminante Afectado y Reducción				Unidad Reducción
					MP10	MP2.5	NOX	SO2	
1	Areas Verdes	Arborización Urbana	Universidad de Concepción y PROTERM (2011) / PDA Temuco y Padre las Casas		2.6	0.39	1.8	0.9	ton/km ² -año
2	Fuentes Fijas	Plan de Monitoreo y Seguimiento	DSS (2008) / PDA Tocopilla	Empresas ya poseen sistema de monitoreo continuo de emisiones	S/I				
3	Fuentes Fijas	Sistema de cubiertas sobre canaletas de vaciado y un sistema de extracción con filtro de mangas	Universidad de Concepción y PROTERM (2011) / PDA Concepción Metropolitano		S/I				
4	Fuentes Fijas	Sistema de monitoreo continuo de emisiones para MP10, SO2 y NOX	Universidad de Concepción y PROTERM (2011) / PDA Concepción Metropolitano	Empresas ya poseen sistema de monitoreo continuo de emisiones	S/I				
5	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Implementación, Mejora o Reconversión de Actuales Tecnologías de Abatimiento	DSS (2008) / PDA Tocopilla	Empresas ya poseen tecnologías que les permita cumplir con la nueva norma de emisiones de centrales termoeléctricas	S/I				
6	Fuentes Fugitivas	Medidas de control y reducción de emisiones de particulado fugitivo (Humectación, Pavimentación, entre otros)	DSS (2008) / PDA Tocopilla	Se considera Humectación, pavimentación, encapsulamiento y cubiertas en transporte, chutes de descarga, aspersores, etc.	S/I				
7	Fuentes Fugitivas	Reducción de Emisiones Fugitivas	Universidad de Concepción y PROTERM	No se evaluó la medida finalmente	S/I				

ID	Tipo de Fuente	Medida	Referencia	Comentarios	Contaminante Afectado y Reducción				Unidad Reducción
					MP10	MP2.5	NOX	SO2	
			(2011) / PDA Concepción Metropolitano						
8	Fuentes Fugitivas	Cobertura con domos	Cotizacion con Prosil, Rep de Geométrica Chile	Se analiza la medida	99.9%	99,9			%
9		Almacenamiento en silos	DSS (2008) / PDA Tocopilla	La medida no se analiza ya que es demasiado cara para los volúmenes en cuestión.	99,9%	99,9			%
10	Fuentes fugitivas	Utilización de correas tubulares	Cotizacion con Contitech Chile	Se considera la utilización de correas tubulares	99,99%				%
11	Fuentes fugitivas	Instalación de chutes optimizados	Cotizacion con Contitech Chile	Se considera la utilización de chutes que funcionan a contrapresión.	80%				%
12	Fuentes móviles fugitivas	Reducción de Emisiones Fugitivas en Calles Pavimentadas	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET	Aspirado de Calles	51	25			%
13	Fuentes móviles fugitivas	Reducción de Emisiones Fugitivas en Calles sin Pavimentar	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET	Estabilización química de caminos	38	25			%
14	Fuentes móviles fugitivas	Secador de Cal por Aspersión	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET	Para calderas				90	%
15	Fuentes móviles fugitivas	Programa de Aspirado de Calles	(SCL Econometrics 2007, DICTUC 2008)		68	25			%
16	Fuentes móviles fugitivas	Cobertura de Vagones	(De Rus, 2011)	Se cubren con una tapa e un 100% los vagones	79.00				
17	Fuentes móviles fugitivas		(De Rus, 2011)	Se utiliza un lavado de aire y agua híbrido		16.00			

ID	Tipo de Fuente	Medida	Referencia	Comentarios	Contaminante Afectado y Reducción				Unidad Reducción
					MP10	MP2.5	NOX	SO2	
18	Fuentes Móviles - Vehículos a Diesel	Aplicación de Normas Tier a vehículos fuera de ruta que usan diesel, incluyendo equipamiento ferroviario	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		S/I				
19	Fuentes Móviles - Vehículos a Diesel	Aplicación de normas de emisión a vehículos pesados + requerimiento de uso de diesel con bajo azufre	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		18	19	33	97	%
20	Fuentes Móviles Fuera de Ruta	Instalación de Filtros en Maquinaria Fuera de Ruta	(SCL Econometrics 2007, DICTUC 2008) / PDA RM			50			%
21	Fuentes Móviles - Vehículos Pesados a Diesel	Instalación de Catalizador Oxidativo	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		24.01	24.52		97	%
22	Fuentes Móviles - Fuera de Ruta	Instalación de Catalizador Oxidativo	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		24.01	24.52		97	%
23	Fuentes Móviles - Vehículos Pesados a Diesel	Instalación de Filtro de Partículas	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		61.99	62.26		97	%
24	Fuentes Móviles - Fuera de Ruta	Instalación de Filtro de Partículas	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		61.99	62.26		97	%
25	Fuentes Móviles - Vehículos Pesados a Diesel	Reducción Catalítica Selectiva	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		19.26	19.8	75	97	%

ID	Tipo de Fuente	Medida	Referencia	Comentarios	Contaminante Afectado y Reducción				Unidad Reducción
					MP10	MP2.5	NOX	SO2	
26	Fuentes Móviles - Fuera de Ruta	Reducción Catalítica Selectiva	Pechan (2006) / Modelo AircontrolNET		19.26	19.8	75	97	%
27	Fuentes Fijas - General	Quemador de Bajo NOX	EPA (2010) / Modelo CoST				40.6		%
28	Fuentes Fijas - General	Quemador de Bajo NOX + Sobrecombustión	EPA (2010) / Modelo CoST				55.6		%
29	Fuentes Fijas - General	Reducción Catalítica Selectiva	EPA (2010) / Modelo CoST				86		%
30	Fuentes Fijas - General	Reducción No-Catalítica Selectiva	EPA (2010) / Modelo CoST				41		%
31	Fuentes Fijas - General	Absorbente Secto	EPA (2010) / Modelo CoST					91.4	%
32	Fuentes Fijas - General	Absorción Extendida	EPA (2010) / Modelo CoST				90.5		%
33	Fuentes Fijas - General	Aditivo de Catalizador	EPA (2010) / Modelo CoST					43	%
34	Fuentes Fijas - General	Depuración de aminos - paso adicional de gases de salida	EPA (2010) / Modelo CoST					97.8	%
35	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Depuración por vía húmeda	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas		98.5-99				%
36	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Filtros de Manga	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas		99.8	99.6			%
37	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Precipitadores Electrostáticos	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas		98	98			%

ID	Tipo de Fuente	Medida	Referencia	Comentarios	Contaminante Afectado y Reducción				Unidad Reducción
					MP10	MP2.5	NOX	SO2	
38	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Desulfuración de gases vía húmeda	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas				98	%	
39	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Desulfuración en seco con humidificación controlada	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas				94	%	
40	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Desulfuración con agua de mar	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas				97	%	
41	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Reducción selectiva catalítica (SCR)	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas			80-95		%	
42	Fuentes Fijas - Generación Eléctrica	Reducción selectiva no-catalítica (SNCR)	KAS 2009 / AGIES Norma Termoeléctricas			30-40		%	

9.7 Fichas de Medidas de Reducción

A continuación se presenta un resumen de los costos unitarios considerados y los costos de inversión y operación estimados para cada medida. Sin embargo, adjunto al presente informe se entrega como anexo digital el archivo “PPA-HUASCO – AnalisisMedidas.xlsx”, que contiene toda la información que permite caracterizar al detalle cada medida.

Tabla 9-43 Costos Considerados en Evaluación de Medidas y Reducción de Emisiones Estimada

Medida	Responsable	Detalle Fuente	Costo Inversión	Costo Operación	Vida útil	Costo Total Anual	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
			UF	UF/año	Años	UF/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Precipitador Electrostatico	CAP	2A	458,429	29,416	20	69,384	36.0	36.0	13.6	0.0	0.0
	CAP	2B	0	0	20	0	334.7	334.7	126.7	0.0	0.0
	CAP	3	426,396	27,360	20	64,536	1,402.1	1,402.1	530.5	0.0	0.0
	Guacolda	U3	253,492	16,463	20	38,564	94.6	94.6	35.8	0.0	0.0
	Guacolda	U5	253,492	16,534	20	38,635	146.0	146.0	55.2	0.0	0.0
	Punta Alcalde	PA1	291,849	19,036	20	44,481	316.2	316.2	119.6	0.0	0.0
	Punta Alcalde	PA2	291,849	19,036	20	44,481	316.2	316.2	119.6	0.0	0.0
Reduccion Catalitica Selectiva (SCR)	Guacolda	U3	578,806	32,229	20	82,692	0.0	0.0	0.0	1,667.6	0.0
	Guacolda	U5	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	190.2	0.0
	Punta Alcalde	PA1	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	1,752.5	0.0
	Punta Alcalde	PA2	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	1,752.5	0.0
Desulfurizador Seco Circulante	Guacolda	U1_U2	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,215.4
	Guacolda	U4	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,005.1
Planta Desulfurizadora Humeda	Guacolda	U5	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	0.0	701.7
	Punta Alcalde	PA1	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,844.7
	Punta Alcalde	PA2	0	0	20	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,844.7
Pavimentacion	CAP	Puerto Las Losas a CAP	7,380	0	7	1,322	19	7	1	0	0
	Guacolda	Guacolda a Vertedero Guacolda	107,748	0	7	19,301	102	39	4	0	0
	Puerto Las Losas	Otros Puerto Las Losas	7,380	0	7	1,322	1	0	0	0	0
	Punta Alcalde	Entrada a Punta Alcalde	615,000	0	7	110,168	274	105	10	0	0
	Punta Alcalde	Punta Alcalde a Vertedero Punta Alcalde	77,490	0	7	13,881	61	23	2	0	0

Medida	Responsable	Detalle Fuente	Costo Inversión	Costo Operación	Vida útil	Costo Total Anual	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
			UF	UF/año	Años	UF/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Cobertura de Vagones	CAP	Linea de Tren entrada-CAP	45,466	23,650	20	27,614	16	8	1	0	0
Hidrolavado de Vagones	CAP	Linea de Tren entrada-CAP	114,812	2,601	10	18,201	3	2	0	0	0
Mejoramiento Espacio Urbano	Otros	Recorrido Ciudad	0	165	10	165	13	6	1	0	0
Domos	Guacolda	Gu Cancha Carbon Continuo	670,706	0	20	58,475	3	2	2	0	0
	CAP	CAP Cancha Acopio Material Continuo	695,707	0	20	60,655	34	17	5	0	0
	CAP	CAP Cancha Carbon Continuo	205,810	0	20	17,943	9	5	1	0	0
	CAP	CAP Cancha Reharneo Continuo	173,927	0	20	15,164	15	7	2	0	0
	Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Continuo	20,467	0	20	1,784	0	0	0	0	0
	Punta Alcalde	PA Cancha Carbon Continuo	659,821	0	20	57,526	12	6	2	0	0
Correas tubulares	Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente	1,055	0	20	92	0	0	0	0	0
	CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	10,552	0	20	920	6	4	2	0	0
	CAP	CAP Cancha Carbon Intermitente	760	0	20	66	0	0	0	0	0
	Punta Alcalde	PA Cancha Carbon Intermitente	1,477	0	20	129	0	0	0	0	0
Chutes optimizados	Guacolda	Gu Cancha Carbon Intermitente	1,766	0	20	154	65	5	1	0	0
	Guacolda	Gu Vertedero Intermitente	589	0	20	51	3	1	0	0	0
	CAP	CAP Cancha Acopio Material Intermitente	5,298	0	20	462	7,374	425	144	0	0
	CAP	CAP Cancha Carbon Intermitente	1,766	0	20	154	6	1	0	0	0
	CAP	CAP Cancha Reharneo	1,177	0	20	103	75	35	5	0	0

Medida	Responsable	Detalle Fuente	Costo Inversión	Costo Operación	Vida útil	Costo Total Anual	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx
			UF	UF/año	Años	UF/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
		Intermitente									
	Puerto Las Losas	PLL Cancha Acopio Intermitente	2,649	0	20	231	45	6	1	0	0

Fuente: Elaboración Propia

9.8 Minuta Visita #1 a la Zona de Huasco

Visita a Terreno # 1

Proyecto: Antecedentes para Elaborar el Plan de Prevención de la Localidad de Huasco

Central Termoeléctrica Guacolda:

Fecha	27 de Noviembre de 2014, 10:30hrs
Presentes	Erik Jopia Sierra, Guacolda Energía Mariana Hurtado, Seremi de Medio Ambiente Héctor Jorquera, DICTUC S.A Nicolás Borchers, DICTUC S.A Macarena Larraín, DICTUC S.A

En primer lugar se realiza una reunión inicial donde se explican los objetivos del proyecto y se comentan los pasos a seguir para la realización del estudio. Posteriormente, se visitan las distintas instalaciones de la planta, obteniendo registro fotográfico y tomando muestra de las pilas de carbón, para su posterior análisis en DICTUC S.A.

En la reunión inicial se explican los objetivos y las principales actividades contempladas en el proyecto y se solicita la información que será necesaria para su ejecución. Los representantes de Guacolda entregan al equipo de DICTUC una tabla con información solicitada por la Seremi de Medio Ambiente y comentan que estarán totalmente disponibles para entregar la información necesaria.

Se explican, además, las modificaciones que se han realizado y que se realizarán a las distintas unidades para cumplir con los requerimientos para la instalación de la unidad 5 de la RCA y para cumplir con la norma de emisiones en termoeléctricas.

Posteriormente se visitan las siguientes instalaciones:

- Sala de control: Se muestran los sistemas de registro de la información operacional y ambiental. Se señala que Guacolda posee un sistema de monitoreo continuo (de acuerdo a estándares de la Superintendencia del Medio Ambiente) desde hace aproximadamente un año, en donde las emisiones son reportadas minuto a minuto (y que esa información está disponible para ser entregada al consultor, por ejemplo en planillas Excel de datos

horarios). Además existen registros continuos de emisiones anteriores, realizadas con otro sistema computacional, los que eventualmente podrían solicitarse también.

- Vista de la planta: Desde la superficie de la planta se observan las chimeneas de las distintas unidades y sus respectivos sistemas de abatimiento de emisiones actuales (precipitadores electrostáticos).

Ilustración 9-12: Precipitador electrostático



- Cancha de acopio: Se visita la cancha de acopio de carbón y se toman muestras de los distintos tipos de carbón utilizados.

Ilustración 9-13: Sistema de transporte de carbón



- Vertedero: Se visita el vertedero y se explica brevemente su operación.

Ilustración 9-14: Vertedero

**CAP Minería:**

Fecha	27 de Noviembre de 2014, 14:30hrs
Presentes	Claudio Masson, CAP Minería Jaime Larrondo, CAP Minería Gustavo Rodríguez, CAP Minería Mariana Hurtado, Seremi de Medio Ambiente Héctor Jorquera, Dictuc S.A Nicolás Borchers, Dictuc S.A Macarena Larrain, Dictuc S.A

Para esta visita se recorren primero las distintas instalaciones de la planta y se finaliza con una reunión. En la planta se vistan las siguientes instalaciones:

- Lugar de descarga y lavado de vagones de tren: Se observa que cuando se descarga el preconcentrado se libera gran cantidad de material particulado. Se observa además el sistema de lavado que se realiza manualmente, de forma poco efectiva en algunos casos. El equipo de DICTUC registra además la gran apertura superior de los vagones, situación que es reclamada por los habitantes.

Ilustración 9-15: Zona de descarga CAP

- Cancha de acopio de pellets, pellet feed y preconcentrado: Se visita la cancha de acopio y se toman muestras del preconcentrado. Se observa la gran cantidad de material de preconcentrado (de menor granulometría en comparación con pellet y pellet feed) que se erosiona fácilmente con la presencia de ráfagas de viento.

Ilustración 9-16: Cancha de acopio CAP

- Planta: Se visitan las instalaciones que muelen y filtran el preconcentrado y forman el pellet feed. Se visita además la sala de control en donde se muestra un sistema que monitorea las emisiones de las dos chimeneas cuando el horno está funcionando. Finalmente se visita el horno de secado y las chimeneas que en ese minuto no estaban funcionando. El aporte de emisiones por los hornos es grande, sin embargo la empresa nos comenta que un gran porcentaje del tiempo el horno permanece apagado, ya que ha aumentado la exportación de producto intermedio (pellet feed), sin tratamiento térmico (solo concentrado magnéticamente después de la molienda húmeda).

**Ilustración 9-18: Scrubber
en chimenea 2A**



**Ilustración 9-17: Precipitador electrostático
en Chimenea 2A; al fondo se ve la chimenea**



- Cancha de acopio de carbón: Se toman muestras del carbón utilizado en el horno de secado.
- Cancha de acopio de material de reciclaje: Se visita la planta de chancado y donde se acopia el material que será reciclado y no comercializado directamente. Se observa que la cancha no está completamente rodeada por muros y que en el proceso de chancado se dispersa gran cantidad de material particulado debido al viento, ya que se usa una correa simple para apilar el material reciclado proveniente del chancador.

**Ilustración 9-19: Planta de reciclado de pellets aglomerados
durante el proceso. Correa de alimentación de pila de acopio**



9.9 Minuta Visita #2 a la Zona de Huasco

Visita a Terreno # 2

Proyecto: Antecedentes para Elaborar el Plan de Prevención de la Localidad de Huasco

Central Termoeléctrica Guacolda

Fecha	15 de Diciembre de 2015, 9:00 hrs
Presentes	Víctor Henríquez, Guacolda S.A Héctor Jorquera, DICTUC S.A Nicolás Borchers, DICTUC S.A Macarena Larraín, DICTUC S.A

Desarrollo de la Visita

Durante esta visita se georeferenciaron, con un GPS del equipo consultor, las chimeneas de las unidades 1 y 2, 3 y 4 y los vértices de la cancha de acopio de carbón.

Se solicita la siguiente información la que la gente de Guacolda se compromete a entregar:

- Flujo de camiones que va al vertedero.
- Consumo de combustible diario para cada unidad desde 2011 hasta 2014.
- Mediciones isocinéticas desde 2011 hasta 2014 de MP, MP2,5, MP10, SOx y NOx de las estaciones meteorológicas desde 2011 hasta 2014.
- Masa de carbón almacenado en las canchas de acopio.
- Planos donde se georeferencien las chimeneas y los vértices de las canchas de acopio.

Tabla 9-44: Georreferencia de Chimeneas de Guacolda

Fuente	Coordenada E [m]	Coordenada S [m]
Chimenea Unidades 1 y 2	279,003	6,849,277
Chimenea Unidad 3	279,119	6,849,304
Chimenea Unidad 4	279,175	6,849,247
Chimenea Unidad 5 *	279,040	6,849,396

* La ubicación de la chimenea 5 es aproximada utilizando software de georreferencia

Ilustración 9-20: Polígono de Cancha de Carbón Guacolda

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9-45: Distancias recorridas por camiones para el acopio de las cenizas

Condiciones del Camino	Distancia [km]
Pavimentado o con bischofita	3.18
Camino rural no pavimentado	3.71

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9-21: Polígono cancha de acopio de cenizas**CAP Minería**

Fecha 15 de Diciembre de 2015, 11:30hrs

Presentes Claudio Masson, CAP Minería
Jaime Larrondo, CAP Minería
Gustavo Rodríguez, CAP Minería
Valentina Córdova, CAP Minería
Héctor Jorquera, Dictuc S.A
Nicolás Borchers, Dictuc S.A
Macarena Larraín, Dictuc S.A

Desarrollo de la Visita

Se referencian geográficamente con un GPS del equipo consultor las chimeneas 2A y 2B, los vértices de la cancha de reharneo de la cancha de acopio de carbón y de la cancha de acopio de insumos y productos.

- Se referencia geográficamente, con un GPS del equipo consultor, la ruta que recorren los camiones de Guacolda para verter los residuos en el vertedero desde donde se observan las chimeneas de CAP que estaban funcionando y sus respectivas plumas.
- Se solicita la siguiente información, la que la gente de CAP se compromete a entregar:
- Medición del flujo de camiones que pasa por puerto Las Losas.

- Planos de los EIA donde se georeferencian las chimeneas y canchas.
- Consumo de carbón y diesel diario.
- Mediciones de la estación de monitoreo que mide el MP de background.

Ilustración 9-22: Chimeneas y plumas CAP**Tabla 9-46: Georreferencia de Chimeneas de CAP**

Fuente	Coordenadas E	Coordenadas S
	<i>m</i>	<i>m</i>
Chimenea 2A	279,916	6,847,419
Chimenea 2B	279,995	6,847,455
Chimenea 3*	280,192	6,847,489

*Datos obtenidos desde RCA

Ilustración 9-23: Polígono Cancha Acopio de Carbón



Ilustración 9-24: Cancha Acopio Materiales

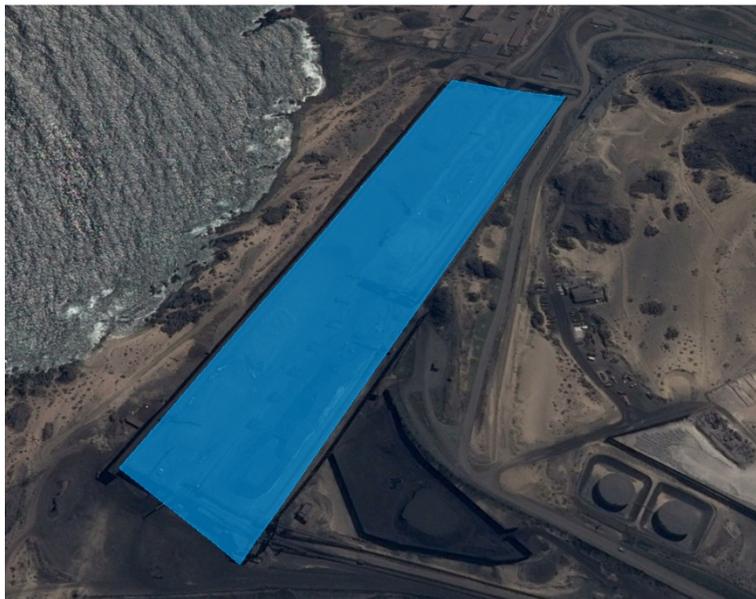


Ilustración 9-25: Cancha Reharneo**Toma de muestras de polvo de calle**

Fecha	15 de Diciembre de 2015, 15:00 hrs
Presentes	Héctor Jorquera, Dictuc S.A Nicolás Borchers, Dictuc S.A Macarena Larraín, Dictuc S.A

Desarrollo de la Visita

- Se recolecta, con una brocha y una pala, el polvo contenido en cuatro metros cuadrados de calle. Se realiza esta medición en cuatro puntos distintos de Huasco. Las muestras serán enviadas a un laboratorio para ser analizadas en cuanto a masa y composición. Se referencia geográficamente los puntos donde se toman las muestras.

Ilustración 9-26: Toma de muestra de polvo de calle



9.10 Respuesta de Parte de CAP a Cuestionario DICTUC