



Informe final

Emisiones y calidad del aire en

Huasco

Región de Atacama

Enero 2016

Preparado por:



Gestión Ambiental Consultores S.A
Padre Mariano 103 Of. 307
7500499, Providencia, Chile
Fono: +56 2 2719 5600

Fax: +56 2 2235 1100
www.gac.cl

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. LÍNEA BASE OFICIAL DE CALIDAD DEL AIRE	2
2.1. Concentración natural o “background” de MP y gases	2
2.2. Redes de monitoreo oficiales en Huasco y alrededores	7
2.3. Registro de mediciones de calidad del aire en las redes oficiales de Huasco y alrededores.....	16
2.3.1 Material particulado respirable	16
2.3.2 Material particulado sedimentable	19
2.3.3 Contenido de Hierro en MPS.....	25
2.3.4 Gases.....	31
3. MONITOREO COMPLEMENTARIO DE CALIDAD DEL AIRE.....	34
3.1. Descripción de la red de monitoreo complementario	34
3.2. Resultados Red Complementaria.....	36
3.2.1 Meteorología	36
3.2.2 Material particulado	43
3.2.3 Caracterización química del material particulado.....	51
3.2.4 Análisis y discusión de resultados de la caracterización química de material particulado	93
3.2.5 Monitoreo complementario de gases	111
4. DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS FUENTES EMISORAS EN HUASCO.....	114
4.1. Planta de Pellets.....	114
4.2. Central Térmica Guacolda.....	114
4.2.1 Descripción General	114
4.2.2 Emisiones	117
4.2.3 Discusión	130
4.3. Central Térmica Huasco	136
4.3.1 Descripción general	136
4.3.2 Emisiones	137
4.3.3 Discusión	139
4.4. Puerto Las Losas.....	139
4.4.1 Descripción general	139
4.4.2 Emisiones	141
4.4.3 Discusión	143
4.5. Central Térmica Punta Alcalde.....	143
4.5.1 Descripción general	143
4.5.2 Emisiones	144
4.5.3 Discusión	145
4.6. Fuentes menores en Huasco	148
4.6.1 Estudiadas por CENMA (2006)	148
4.6.2 Estudiadas por GAC (2014-2015)	151

4.6.3	Discusión	159
4.7.	Estudio Cualitativo del Origen y Desplazamiento de Material Particulado en Huasco	160
4.7.1	Objetivos	160
4.7.2	Metodología	160
4.7.3	Resultados	161
4.7.4	Discusión	164
5.	ESTUDIO DE FUENTES EMISORAS DE PLANTA DE PELLETS	165
5.1.	Descripción general	165
5.2.	Tipos de combustible utilizados en Planta de Pellets	167
5.3.	Fuentes fijas	168
5.3.1	Factores de Emisión	168
5.3.2	Nivel de actividad	170
5.3.3	Resultados	171
5.4.	Fuentes areales	173
5.4.1	Factores de Emisión	173
5.4.2	Nivel de actividad	181
5.4.3	Resultados	183
6.	MODELACIÓN DE EMISIONES	186
6.1.	Modelo meteorológico	186
6.1.1	Descripción de Modelos Meteorológicos Disponibles	186
6.1.2	Estaciones meteorológicas de superficie con información disponible	189
6.1.3	Evaluación de los Modelos Meteorológicos	190
6.1.4	Conclusiones de la Evaluación de los Modelos Meteorológicos	249
6.2.	Modelo de Calidad del Aire	250
6.2.1	Justificación del Modelo	250
6.2.2	Descripción del Modelo	250
6.2.3	Receptores Discretos	252
6.2.4	Descripción de Escenarios de Modelación y Emisiones	252
6.2.5	Resultados de Modelación	254
7.	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	260

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Concentraciones de MP10 registradas en zonas con escasa actividad antrópica	3
Tabla 2-2:	Concentraciones de MP2,5 registradas en zonas con escasa actividad antrópica	3
Tabla 2-3:	Tasas de sedimentación registradas en zonas con escasa actividad antrópica	4
Tabla 2-4:	Contenido de hierro en MPS registrado en zonas con escasa actividad antrópica	4
Tabla 2-5:	Concentraciones de SO ₂ registradas en zonas con escasa actividad antrópica	5
Tabla 2-6:	Concentraciones de NO ₂ registradas en zonas con escasa actividad antrópica	5
Tabla 2-7:	Concentraciones de CO registradas en zonas con escasa actividad antrópica	6
Tabla 2-8:	Concentraciones de O ₃ registradas en zonas con escasa actividad antrópica	6
Tabla 2-9:	Ubicación y equipamiento de las estaciones de monitoreo de calidad del aire	12

Tabla 2–10: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de MP10.....	14
Tabla 2–11: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de caracterización química de MP10	14
Tabla 2–12: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de MP2,5.....	15
Tabla 2–13: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de MPS y Hierro en MPS.....	15
Tabla 2–14: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de SO ₂	15
Tabla 2–15: Estaciones de monitoreo y disponibilidad de información de NO ₂	16
Tabla 2–16: Estaciones de monitoreo y disponibilidad de información de CO y O ₃	16
Tabla 2–17: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°1	19
Tabla 2–18: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°2	20
Tabla 2–19: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°3	21
Tabla 2–20: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°4	22
Tabla 2–21: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°5	22
Tabla 2–22: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°6	23
Tabla 2–23: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°1	25
Tabla 2–24: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°2....	26
Tabla 2–25: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°3....	27
Tabla 2–26: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°4....	28
Tabla 2–27: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°5....	29
Tabla 2–28: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°6....	30
Tabla 2–29: Concentraciones de SO ₂ en Huasco.....	32
Tabla 2–30: Concentraciones de NO ₂ en Huasco	32
Tabla 2–31: Concentraciones de CO en Huasco.....	33
Tabla 3–1: Ubicación y equipamiento de las estaciones de monitoreo complementarias.....	34
Tabla 3–2: Coordenadas UTM de estaciones meteorológicas adicionales	35
Tabla 3–3: Velocidad del viento en estaciones de monitoreo red complementaria	37
Tabla 3–4: Direcciones de viento predominantes a lo largo de 24 horas en la red de monitoreo complementaria	37
Tabla 3–5: Resumen de concentraciones de MP10 y MP2,5 medidas en red complementaria – Año 2014 (µg/m ³ N)	44
Tabla 3–6: Fechas para las cuales fueron caracterizadas las membranas entre junio y agosto de 2014	52
Tabla 3–7: Caracterización química de material particulado período Jun-Ago 2014	55
Tabla 3–8: Caracterización química de material particulado Junio 2014.....	58
Tabla 3–9: Caracterización química de material particulado Julio 2014.....	61
Tabla 3–10: Caracterización química de material particulado Agosto 2014.....	64
Tabla 3–11: Fechas para las cuales fueron caracterizadas las membranas entre septiembre y noviembre de 2014.....	66
Tabla 3–12: Caracterización química de material particulado período Sep-Nov 2014.....	69
Tabla 3–13: Caracterización química de material particulado Septiembre 2014.....	72
Tabla 3–14: Caracterización química de material particulado Octubre 2014	75
Tabla 3–15: Caracterización química de material particulado Noviembre 2014.....	78
Tabla 3–16: Caracterización química de material particulado período Diciembre 2014 – Enero 2015.....	83
Tabla 3–17: Caracterización química de material particulado Diciembre 2014.....	86
Tabla 3–18: Caracterización química de material particulado Enero 2015.....	88

Tabla 3–19: Concentración de MP10, MP2.5, COrg y CE medido en Huasco.....	92
Tabla 3–20: Fracción porcentual de elementos principales en MP2,5 determinados por FRX en estaciones red complementaria	95
Tabla 3–21: Fracción porcentual de otros elementos relevantes en MP2,5 determinados por FRX en estaciones red complementaria	97
Tabla 3–22: Abundancia promedio de elementos en suelo y rocas de corteza terrestre	99
Tabla 3–23: Fracción porcentual de iones en MP2,5 medido en Huasco determinados por Cromatografía Iónica	100
Tabla 3–24: Composición elemental del agua de mar	101
Tabla 3–25: Origen de elementos e iones presentes en estación Playa Brava	103
Tabla 3–26: Origen de elementos e iones presentes en estación Población Huasco II.....	106
Tabla 3–27: Origen de elementos e iones presentes en estación Olivos de Bellavista	109
Tabla 3–28: Concentración de metales pesados como parte del MP10 en estación Población Huasco II vs. normativa de referencia extranjera.....	111
Tabla 3–29: Resumen de concentraciones de gases medidos en estación Población Huasco II ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) ..	111
Tabla 4–1: Características Principales de la Central Térmica Guacolda.....	115
Tabla 4–2: Características de las Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 2 ^(a) , según RCA N° 44/2014.....	115
Tabla 4–3: Características de las Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 3 ^(a) , según RCA N° 44/2014.....	115
Tabla 4–4: Características de las Fuentes Areales de Central Guacolda (excluye caminos).....	116
Tabla 4–5: Características de los Caminos utilizados por Central Guacolda	117
Tabla 4–6: Expedientes Ambientales de Central Guacolda, revisados con ocasión de este estudio	117
Tabla 4–7: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda según RCA N° 236/2007.....	119
Tabla 4–8: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, según AGIES ^(a) Norma de Emisión para Termoeléctricas, para centrales existentes, en construcción y proyectadas al 2008	120
Tabla 4–9: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, según RCA N° 191/2010.....	121
Tabla 4–10: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 2 ^(a) , según RCA N° 44/2014	121
Tabla 4–11: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 3 ^(a) , según RCA N° 44/2014	122
Tabla 4–12: Emisiones de Material Particulado de Fuentes Puntuales de Central Guacolda y Sistemas de Control de Emisiones, según RCA N° 236/2007, RCA N° 191/2010 y RCA N° 44/2014	123
Tabla 4–13: Emisiones de SO ₂ de Fuentes Puntuales de Central Guacolda y Sistemas de Control de Emisiones, según RCA N° 236/2007, RCA N° 191/2010 y RCA N° 44/2014.....	123
Tabla 4–14: Emisiones de NO _x de Fuentes Puntuales de Central Guacolda y Sistemas de Control de Emisiones, según RCA N° 236/2007, RCA N° 191/2010 y RCA N° 44/2014.....	124
Tabla 4–15: Resumen de Emisiones Atmosféricas Medidas en Forma Continua en Fuentes Puntuales de Central Guacolda.....	126
Tabla 4–16: Resultados de Mediciones Isocinéticas en Fuentes Puntuales de Central Guacolda	127
Tabla 4–17: Emisiones de Fuentes Areales de Central Guacolda, Escenario 2 ^(a) , según RCA N° 44/2014..	129
Tabla 4–18: Emisiones de Fuentes Areales de Central Guacolda, Escenario 3 ^(a) , según RCA N° 44/2014..	129
Tabla 4–19: Resumen de Emisiones Actuales de Material Particulado de Central Guacolda	130
Tabla 4–20: Resumen de Emisiones Futuras de Material Particulado de Central Guacolda	132

Tabla 4–21: Resumen de Emisiones Actuales de SO ₂ de Central Guacolda.....	133
Tabla 4–22: Resumen de Emisiones Futuras de SO ₂ de Central Guacolda	134
Tabla 4–23: Resumen de Emisiones Actuales de NO _x de Central Guacolda.....	135
Tabla 4–24: Características Principales de la Central Térmica Huasco.....	136
Tabla 4–25: Características de las Fuentes Puntuales de la Central Térmica Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006.....	137
Tabla 4–26: Características de la Fuente Areal de la Central Térmica Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006.....	137
Tabla 4–27: Emisiones de la Central Huasco TG, según AGIES Norma de Emisión para Termoeléctricas .	138
Tabla 4–28: Emisiones de la Central Térmica Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006	138
Tabla 4–29: Características del Sector de Acopio de Minerales de Puerto Las Losas	141
Tabla 4–30: Emisiones Atmosféricas de MP en Puerto Las Losas según RCA N° 226/2006.....	142
Tabla 4–31: Emisiones Atmosféricas en Etapa de Operación del Proyecto “Recepción y Embarque de Graneles Minerales” de Puerto Las Losas (RCA N° 5/2015).....	142
Tabla 4–32: Características del Camino de Transporte de Cobre en Puerto Las Losas.....	143
Tabla 4–33: Características de Chimeneas de Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012 ^(a)	144
Tabla 4–34: Características de Fuentes Areales de Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012 ^(a)	144
Tabla 4–35: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Punta Alcalde, según Acuerdo N° 17/2012 ^(a)	144
Tabla 4–36: Sistemas de Control de Emisiones y Tipo de Combustible en Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012 ^(a)	145
Tabla 4–37: Emisiones de Fuentes Areales de Central Punta Alcalde, según Acuerdo N° 17/2012 ^(a)	145
Tabla 4–38: Resumen de Emisiones Proyectadas de Material Particulado de Central Térmica Punta Alcalde	146
Tabla 4–39: Resumen de Emisiones Proyectadas de SO ₂ de Central Térmica Punta Alcalde.....	147
Tabla 4–40: Resumen de Emisiones Proyectadas de NO _x de Central Térmica Punta Alcalde.....	148
Tabla 4–41: Características de Fuentes Fijas Menores en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006.....	149
Tabla 4–42: Características de Fuentes Areales Menores (Calles) en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006.....	149
Tabla 4–43: Características de Fuentes Areales Menores (Zonas erosionables) en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006	150
Tabla 4–44: Estimación de Emisiones de Fuentes Menores en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006.....	151
Tabla 4–45: Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas Menores en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006.....	151
Tabla 4–46: Volumen de Tránsito Año 2012 en Ruta C-46 Vallenar-Huasco	152
Tabla 4–47: Estimación de Flujo Vehicular y Distancias Recorridas en Radio Urbano de Huasco	154
Tabla 4–48: Factor de Emisión para Resuspensión de Polvo por Tránsito Vehicular por Caminos Pavimentados	154
Tabla 4–49: Valores de Variables y Cálculo de Factor de Emisión para Resuspensión de Polvo por Tránsito Vehicular por Caminos Pavimentados	154
Tabla 4–50: Estimación de Emisiones de Material Particulado por Resuspensión de Polvo por Tránsito Vehicular en el Radio Urbano de Huasco	155

Tabla 4–51: Factores de Emisión para Grupos Electrógenos	156
Tabla 4–52: Niveles de Actividad para Generadores de Buques en Puerto.....	156
Tabla 4–53: Estimación de Emisiones de Material Particulado y Gases de Generadores de Buques en Puerto	156
Tabla 4–54: Características de las Locomotoras de Ferronor que realizan el recorrido Mina Los Colorados-Planta de Pellets.....	157
Tabla 4–55: Factores de Emisión para Locomotoras.....	157
Tabla 4–56: Tiempos de Marcha del Ferrocarril de Ferronor entre Las Tablas y Planta de Pellets	157
Tabla 4–57: Estimación de la Duración del Viaje del Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets	158
Tabla 4–58: Niveles de Actividad para Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets	158
Tabla 4–59: Estimación de Emisiones de Material Particulado para Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets	158
Tabla 4–60: Estimación de Emisiones de NO _x para Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets	159
Tabla 4–61: Resumen de Emisiones Estimadas de Material Particulado para Fuentes Menores en Huasco	159
Tabla 5–1: Consumo de Combustibles – Periodo 2011-2013	168
Tabla 5–2: Posición y altura de las chimeneas de Planta de Pellets.....	168
Tabla 5–3: Medición de emisiones en Planta Pellets 2014, desarrolladas por SERPRAM.....	169
Tabla 5–4: Mediciones de emisiones en chimeneas 2A y 2B periodo 2013-2014, desarrolladas por SERPRAM	170
Tabla 5–5: Horas de funcionamiento anual en Planta de Pellets	171
Tabla 5–6: Emisiones de MP10 Fuentes Fijas Planta Pellets.....	172
Tabla 5–7: Emisiones de SO ₂ y NO _x Fuentes Fijas Planta Pellets.....	173
Tabla 5–8: Resumen de Resultados de Análisis de Muestras.....	173
Tabla 5–9: Comparación de variables consideradas en EIA con resultados de análisis de muestras.....	174
Tabla 5–10: Comparación de factores de emisión para MP10 considerados en EIA con los actualizados a partir de resultados de análisis de muestras	177
Tabla 5–11: Comparación de factores de emisión para MP10 considerados en EIA con los actualizados ...	179
Tabla 5–12: Cantidad de material (t/año).....	181
Tabla 5–13: Comparación de niveles de actividad para emisión por erosión eólica en pilas de acopio	182
Tabla 5–14: Comparación parámetros para determinar nivel de actividad para tránsito de camiones.....	183
Tabla 5–15: Emisiones de MP10 de Fuentes Areales según EIA, Actualización y escenario 2013 (Real)....	184
Tabla 5–16: Eficiencias de Emisiones de MP10 de Fuentes Areales según EIA, EIA Actualizado y 2013 (Real)	185
Tabla 6–1: Características del Dominio de Modelación – Modelo Punta Alcalde 2011.....	187
Tabla 6–2: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo Punta Alcalde 2011	187
Tabla 6–3: Características del Dominio de Modelación – Modelo CMP 2012.....	187
Tabla 6–4: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo CMP 2012.....	188
Tabla 6–5: Características del Dominio de Modelación – Modelo CMP 2013.....	188
Tabla 6–6: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo CMP 2013.....	188
Tabla 6–7: Características del Dominio de Modelación – Modelo CMP 2013.....	189
Tabla 6–8: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo CMP 2013.....	189

Tabla 6–9: Características de las Estaciones Meteorológicas Utilizadas para la Evaluación	190
Tabla 6–10: Estadísticos para el ciclo diario de velocidad del viento obtenido a partir del modelo Punta Alcalde 2011	192
Tabla 6–11: Estadísticos para el ciclo diario de velocidad del viento obtenido a partir del modelo CAP Minería 2012	200
Tabla 6–12: Estadísticos para el ciclo diario de velocidad del viento obtenido a partir del modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015	210
Tabla 6–13: Receptores Discretos considerados en la Modelación	252
Tabla 6–14: Emisiones de Planta Pellets para escenario considerado	253
Tabla 6–15: Emisiones de Central Guacolda para escenario considerado	253
Tabla 6–16: Emisiones de Puerto Las Losas para todos los Escenarios de Modelación.....	254
Tabla 6–17: Resultados de Modelación de MP10 (P98 24h) para el escenario considerado	255
Tabla 6–18: Resultados de Modelación de MP10 (Promedio Anual) para el escenario considerado.....	255

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Estaciones de monitoreo Red Guacolda Huasco	8
Figura 2-2: Estaciones de monitoreo Red Guacolda SO ₂	9
Figura 2-3: Estaciones de monitoreo Red PLL-CAP Huasco	10
Figura 2-4: Estaciones de monitoreo Red CAP MPS.....	10
Figura 2-5: Estación de monitoreo Red SIVICA MMA	11
Figura 2-6: Concentraciones actuales de material particulado en red PLL-CAP Huasco	17
Figura 2-7: Concentraciones actuales de material particulado en red SIVICA MMA	18
Figura 3-1: Red complementaria CAP Minería	36
Figura 3-2: Rosas de viento Junio 2014 – Mayo 2015.....	38
Figura 3-3: Rosas de viento Junio-Agosto 2014 (m/s).....	40
Figura 3-4: Rosas de viento Septiembre-Noviembre 2014 (m/s).....	41
Figura 3-5: Rosas de viento Diciembre 2014 – Febrero 2015 (m/s).....	42
Figura 3-6: Rosas de viento Marzo – Mayo 2015 (m/s)	43
Figura 3-7: Quema de desechos urbanos en Huasco.....	49
Figura 3-8: Trayectoria penacho Central Guacolda en horas desfavorables.....	113
Figura 4-1: Central termoeléctrica Guacolda	116
Figura 4-2: Puerto Las Losas	141
Figura 4-3: Flujo Vehicular Año 2011 en Acceso Huasco según Modelación de Transporte del EIA “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”	153
Figura 4-4: Escaneos relevantes registrados en barrido -185° a 135°	162
Figura 4-5: Escaneos relevantes registrados en barrido -45° a 45°	163
Figura 4-6: Escaneo relevante registrado en barrido -45° a -120°.....	164
Figura 5-1: Fuentes emisoras de Planta de Pellets	166
Figura 6-1: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Punta Mariposa 2011) y modelada (Modelo Punta Alcalde 2011)	192
Figura 6-2: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Punta Mariposa 2011	193
Figura 6-3: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo Punta Alcalde 2011. Estación Punta Mariposa	194

Figura 6-4: Rosa de los Vientos Observada (Estación Punta Mariposa 2011) y Modelada (Modelo Punta Alcalde 2011).....	195
Figura 6-5: Ciclo estacional del viento observado en Estación Punta Mariposa 2011	197
Figura 6-6: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Punta Mariposa 2011	198
Figura 6-7: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación EME ME 2012) y modelada (Modelo CAP Minería 2012)	199
Figura 6-8: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Punta Mariposa 2012) y modelada (Modelo CAP Minería 2012)	199
Figura 6-9: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Punta Mariposa 2012	201
Figura 6-10: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería 2012. Estación Punta Mariposa 2012	201
Figura 6-11: Rosa de los Vientos Observada (Estación Punta Mariposa 2012) y Modelada (Modelo CAP Minería 2012).....	202
Figura 6-12: Ciclo estacional del viento observado en Estación Punta Mariposa 2012	205
Figura 6-13: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Punta Mariposa 2012	205
Figura 6-14: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Huasco Bajo) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)	207
Figura 6-15: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Población Huasco II) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)	207
Figura 6-16: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Planta Pellets) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)	208
Figura 6-17: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Playa Brava) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)	208
Figura 6-18: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Olivos de Bellavista) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)	209
Figura 6-19: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Las Losas) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)	209
Figura 6-20: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015	211
Figura 6-21: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015.....	212
Figura 6-22: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015	213
Figura 6-23: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015	214
Figura 6-24: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015	215
Figura 6-25: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015	216
Figura 6-26: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015	217
Figura 6-27: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015	218

Figura 6-28: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015.....	219
Figura 6-29: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015.....	220
Figura 6-30: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Las Losas Junio 2014 – Abril 2015.....	221
Figura 6-31: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Las Losas Junio 2014 – Abril 2015.....	221
Figura 6-32: Rosa de los Vientos Observada (Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015).....	222
Figura 6-33: Rosa de los Vientos Observada (Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015).....	225
Figura 6-34: Rosa de los Vientos Observada (Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015).....	227
Figura 6-35: Rosa de los Vientos Observada (Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015).....	230
Figura 6-36: Rosa de los Vientos Observada (Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015).....	233
Figura 6-37: Rosa de los Vientos Observada (Estación Las Losas Junio 2014 – Abril 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015).....	235
Figura 6-38: Ciclo estacional del viento observado en Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015.....	238
Figura 6-39: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015.....	239
Figura 6-40: Ciclo estacional del viento observado en Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015.....	240
Figura 6-41: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015.....	241
Figura 6-42: Ciclo estacional del viento observado en Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015.....	242
Figura 6-43: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015.....	243
Figura 6-44: Ciclo estacional del viento observado en Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015.....	244
Figura 6-45: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015.....	245
Figura 6-46: Ciclo estacional del viento observado en Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015.....	246
Figura 6-47: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015.....	247
Figura 6-48: Ciclo estacional del viento observado en Estación Las Losas Junio 2014 – Abril 2015.....	248
Figura 6-49: Ciclo estacional del viento modelado en Estación las Losas Junio 2014 – Abril 2015.....	249
Figura 6-50: Resultados de Modelación de MP10 (P98 24h). Fuentes Principales. Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015.....	256
Figura 6-51: Resultados de Modelación de MP10 (P98 24h). Fuentes desagregadas. Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015.....	257
Figura 6-52: Resultados de Modelación de MP10 (Promedio Anual). Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015.....	258
Figura 6-53: Resultados de Modelación de MP10 (Promedio Anual). Fuentes industriales desagregadas. Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015.....	259

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°1	19
Gráfico 2-2: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°2	20
Gráfico 2-3: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°3	21
Gráfico 2-4: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°4	21
Gráfico 2-5: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°5	22
Gráfico 2-6: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°6	23
Gráfico 2-7: sedimentación anual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Todas las estaciones.....	24
Gráfico 2-8: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°1 .	25
Gráfico 2-9: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°2 .	26
Gráfico 2-10: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°3	27
Gráfico 2-11: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°4	28
Gráfico 2-12: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°5	29
Gráfico 2-13: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°6	30
Gráfico 2-14: Sedimentación anual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Todas las estaciones	31
Gráfico 3-1: Concentración diaria de MP10 y MP2,5 en estación Playa Brava – Junio 2014 a Abril 2015.....	45
Gráfico 3-2: Promedios mensuales de MP10 y MP2,5 en estación Playa Brava – Junio 2014 a Abril 2015 ...	46
Gráfico 3-3: Concentración diaria de MP10 y MP2,5 en estación Población Huasco II – Junio 2014 a Mayo 2015	47
Gráfico 3-4: Promedios mensuales de MP10 y MP2,5 en estación Población Huasco II – Junio 2014 a Mayo 2015	48
Gráfico 3-5: Concentraciones diarias de MP10 y MP2,5 en estación Olivos de Bellavista – Junio 2014 a Marzo 2015	50
Gráfico 3-6: Promedios mensuales de MP10 y MP2,5 en estación Olivos de Bellavista – Junio 2014 a Marzo 2015	51
Gráfico 3-7: Fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI – Junio - Agosto 2014.....	53
Gráfico 3-8: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP entre junio y agosto de 2014	57
Gráfico 3-9: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en junio de 2014	60
Gráfico 3-10: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en julio de 2014	63
Gráfico 3-11: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en agosto de 2014	65
Gráfico 3-12: Fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI – Septiembre - Noviembre 2014	67
Gráfico 3-13: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP entre septiembre y noviembre de 2014	71
Gráfico 3-14: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en septiembre de 2014	74
Gráfico 3-15: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en octubre de 2014	77
Gráfico 3-16: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en noviembre de 2014	79

Gráfico 3-17: Fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI – Diciembre 2014 – Enero 2015. 80
Gráfico 3-18: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP entre diciembre 2014 y enero 2015 85
Gráfico 3-19: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en diciembre de 2014 87
Gráfico 3-20: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en enero de 2015..... 90

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento que corresponde al informe final del proyecto “**Emisiones y Calidad del Aire en Huasco**”, entrega información de contexto respecto de los registros de emisiones históricas y actuales de Planta de Pellets en la localidad de Huasco y de su evolución en el tiempo. Además, en virtud de la red de monitoreo de calidad del aire existente en la parte baja de la cuenca del Río Huasco (incluyendo la red de monitoreo implementada por CAP Minería en 2014), aporta un análisis de los datos históricos con relación a la evolución de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en la zona, así como información general relativa a las fuentes existentes. Toda la información presentada en este documento es de carácter público y se encuentra a disposición de la autoridad y de la comunidad.

Huasco fue declarada zona latente a través del D.S. 40/2012 del Ministerio de Medio Ambiente, en tanto se ha determinado que la concentración anual de material particulado respirable (MP10) excede ligeramente el 80% del nivel de la norma primaria anual de calidad del aire vigente en Chile (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) en dos estaciones EMRP.

Por lo anterior, y según lo manda la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y sus modificaciones, corresponde que la autoridad ambiental elabore e implemente un Plan de Prevención por MP10, orientado a evitar que la norma anual de MP10 se supere y lograr que la concentración promedio anual se reduzca a valores por bajo del 80% de la norma de calidad.

Aunque la concentración de MP10 ha disminuido en la última década, los valores medidos de este contaminante, permiten apreciar, en los últimos 5 años, que existe un comportamiento relativamente estacionario de esta variable, con una tendencia a la baja, muy leve. Al respecto, cabe señalar que, en el mismo período, las fuentes fijas, emisoras de MP, han experimentado importantes reducciones según consta en las correspondientes RCA y en los reportes de muestreos isocinéticos. En el caso de Planta de Pellets, ésta instalación en los últimos tres años muestra una reducción significativa de emisiones en su área de endurecimiento térmico, sin que ello se refleje de manera evidente en los niveles de MP10 medidos.

En este contexto, Compañía Minera del Pacífico (CMP) ha desarrollado el presente proyecto y elaborado el informe final con el apoyo de la empresa Gestión Ambiental Consultores (GAC), como aporte a la eventual elaboración de un Plan de Prevención, y a la orientación de medidas conducentes al mejoramiento de la calidad del aire en Huasco.

El análisis de la información recabada indica que Huasco, además de estar en latencia por concentración anual de MP10, pareciera presentar una condición similar con relación a la concentración anual de MP2,5.

La recopilación y análisis de los estudios de impacto ambiental en zonas sin actividad industrial o urbana, sumado a publicaciones científicas en la materia, permiten asumir con un buen nivel de certeza que la concentración natural o de *background* de material particulado respirable (MP 10) y fino (MP 2,5) presenta, en zonas costeras del Norte de Chile una concentración que oscila en torno al 50% de las normas primarias de calidad anual para dichas variables.

Con el propósito de verificar el comportamiento de la concentración ambiental de material particulado, CAP Minería instaló equipos que registraron las variables meteorológicas de interés y la concentración ambiental de MP 10 y MP 2,5 en una zona rural al Sur de Huasco, en el área urbana de esta localidad y en el sector agrícola del valle. El principal objetivo fue corroborar los resultados del referido análisis con antecedentes de terreno.

2. LÍNEA BASE OFICIAL DE CALIDAD DEL AIRE

En el presente capítulo se presentan los registros disponibles en las estaciones de monitoreo oficiales de la localidad de Huasco y alrededores, junto con el análisis de los resultados. Con este último fin, en primer lugar se presenta la información disponible para concentración natural o *background* de material particulado y gases para luego contextualizar la información anterior en el marco de los resultados de las estaciones de monitoreo en Huasco.

2.1. Concentración natural o “background” de MP y gases

Para efectos de poder gestionar la calidad del aire en Huasco, considerando todas las variables que inciden en ella de manera significativa, es necesario identificar cuál es la concentración natural o *background* de material particulado y gases, entendiéndose ésta como aquella presente en una zona, en ausencia de actividades humanas o industriales en el área de influencia directa. Dado que en Huasco hasta la fecha del presente estudio no se contaba con mediciones de concentración *background* de los contaminantes MP10 y MP2.5, ha sido necesario recabar información en bibliografía o estudios ambientales nacionales registrada en zonas similares.

A continuación, en la Tabla 2–1 se presentan los registros de 8 estaciones ubicadas en las cercanías del borde costero (al igual que Huasco) entre la tercera y cuarta región. Todas ellas muestran concentraciones de MP10 en zonas con escasa actividad antrópica, con un promedio anual en torno a los 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, sin considerar la estación Chungungo instalada por Compañía Minera del Pacífico, y en torno a los 25,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ al considerar esta última. En el caso del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas, el mismo se sitúa en torno a los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y en estación Chungungo, por sobre los 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Cabe señalar que la estación Chungungo presenta niveles altos de MP10 que debieran estar influenciados por resuspensión de polvo debido al tránsito vehicular y por erosión

eólica, porque la estación se emplazó en el centro del poblado y las calles de este último son de tierra.

Tabla 2–1: Concentraciones de MP10 registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MP10	Promedio MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Máximo de 24 h MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	P98 de 24 h MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Fuente
		Norte	Este					
EMCA	CT Farellones	6.735.381	275.220	Jun07 – May08	22,8	51	S.I.	EIA CT Farellones
Capitanía	CT Barrancones	6.740.239	277.781	Jun07 – May08	27,4	71	55	EIA CT Barrancones
Estancia Chungungo		6.745.978	275.256	Nov06 – Oct07 ^(a)	21,4	70	39	
Punta de Choros		6.762.678	260.862	Abr07 – Mar08	26,8	74	48	
Choros Bajos		S.I.	S.I.	Mar08 - Mar09	25	80	53	
Choros Bajos – Dominga	Proyecto Dominga	6.757.756	275.122	Sep12 – Mar13	24	S.I.	37	EIA Proyecto Dominga
Totalillo Norte 1		6.735.100	274.392	Feb10 – Feb11	20	S.I.	40	
Chungungo	Compañía Minera del Pacífico	6.740.292	277.007	Jul11 – Jun12	38,9	S.I.	71,7	EIA Puerto Cruz Grande

(a) La estación Estancia Chungungo no operó durante Enero y Febrero del año 2007.

S.I.: Sin información

En el caso del MP2,5, la cantidad de información es menor. En la Tabla 2–2 se muestran registros de tres estaciones emplazadas en el borde costero con una concentración promedio anual en torno a $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un percentil 98 de las concentraciones de 24 horas en torno a $16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en ambos casos sin considerar la estación Chungungo, que, al igual que en el caso del MP10 y presumiblemente por las mismas razones, presenta concentraciones mayores.

Tabla 2–2: Concentraciones de MP2,5 registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MP2,5	Promedio MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo de 24 h de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 de 24 h MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fuente
		Norte	Este					
Choros Bajos - Dominga	Proyecto Dominga	6.757.756	275.122	Sep12 – Mar13	10	S.I.	18	EIA Proyecto Dominga
Totalillo Norte 2		6.735.090	274.321	Sep12-Mar13	7	S.I.	15	
Chungungo	Compañía Minera del Pacífico	6.740.292	277.007	Jul11 – Jun12	14,5	S.I.	25,6	EIA Puerto Cruz Grande

S.I.: Sin información

Por otra parte, considerando que para la cuenca del río Huasco se encuentra vigente la exclusiva norma secundaria de calidad del aire para MPS y el contenido de hierro en esta última, a continuación se presenta información para dichos parámetros en áreas con actividad antrópica limitada.

Tabla 2–3: Tasas de sedimentación registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MPS	Promedio MPS periodo (mg/m ² -día)	Máximo mensual de MPS (mg/m ² -día)
		Norte	Este			
MPS1 - Farellones	CT Farellones	6.735.869	274.757	Nov07 – Ene08	92,6	105,9 (Dic08)
MPS2 - Farellones		6.735.717	275.374		60,3	103,4 (Dic08)
MPS2 – Dominga	Proyecto Dominga (a)	6.751.268	290.988	Nov 11 – Ene13 (Se presenta sólo año 2012)	144,1	256,6 (Nov12)
MPS3 - Dominga		6.753.800	286.398		138,2	234,4 (Nov12)
MPS4 - Dominga		6.757.650	276.070		145,2	248,4 (Nov12)
MPS6 - Dominga		6.734.974	274.392		138	197,7 (Nov12)

Nota: El titular del Proyecto Dominga instaló 6 estaciones de monitoreo de MPS. Sólo dos de ellas (MPS4 y MPS6) se emplazan en el borde costero. Otras dos (MPS1 y MPS5) se emplazan en las cercanías de la Ruta 5, por lo que sus resultados se omiten para minimizar posibles sesgos.

En el caso del Material Particulado Sedimentable (MPS) es relevante señalar que de acuerdo a Tabla 2-17, la tasa de sedimentación de MPS supera con frecuencia los 100 mg/m²-día, en zonas costeras sin actividad antrópica.

Tabla 2–4: Contenido de hierro en MPS registrado en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MPS	Promedio Fe en MPS periodo (mg/m ² -día)	Máximo mensual de Fe en MPS (mg/m ² -día)
		Norte	Este			
MPS2 – Dominga	Proyecto Dominga (a)	6.751.268	290.988	Nov 11 – Ene13 (Se presenta sólo año 2012)	12,4	27,5 (Ene12)
MPS3 - Dominga		6.753.800	286.398		8,0	18,8 (Feb12)
MPS4 - Dominga		6.757.650	276.070		7,4	16,6 (Ene12)
MPS6 - Dominga		6.734.974	274.392		6,3	11,5 (Jul12)

(a) El titular del Proyecto Dominga instaló 6 estaciones de monitoreo de MPS. Sólo dos de ellas (MPS4 y MPS6) se emplazan en el borde costero. Otras dos (MPS1 y MPS5) se emplazan en las cercanías de la Ruta 5 por lo que sus resultados se omiten para minimizar posibles sesgos.

En el caso del hierro contenido en el MPS, los valores indican una tasa promedio mensual de sedimentación en torno a 8,5 mg/m²-día.

En cuanto a la concentración ambiental de SO₂ la concentración promedio se encuentra en torno a 0,8 µg/m³N, mientras que en el caso del NO₂ alcanza en torno a 1 µg/m³N.

Tabla 2–5: Concentraciones de SO₂ registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información SO ₂	Promedio SO ₂ (µg/m ³ N)	P99 24 h de SO ₂ (µg/m ³ N)	Máximo 24 h SO ₂ (µg/m ³ N)	Máximo horario SO ₂	Fuente
		Norte	Este						
EMCA	CT Farellones	6.735.381	275.220	Jun07 – May08	0,82	4	4	15	EIA CT Farellones
Capitanía	CT Barrancones	6.740.239	277.781	Nov06 – Oct07	0,85	2	3,1	12,2	EIA CT Barrancones
Estancia Chungungo		6.745.978	275.256	Nov06 – Oct07	0,6	2,75	4,1	10,7	
Punta de Choros		6.762.678	260.862	Abr07 – Mar08	0,6	3,58	5,3	9,1	
Choros Bajos		S.I.	S.I.	Mar08 - Mar09	1	3,0	9,0	177	

Tabla 2–6: Concentraciones de NO₂ registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información NO ₂	Promedio NO ₂ (µg/m ³ N)	P99 Máx diario Concentración de 1 h de NO ₂ (µg/m ³ N)	Fuente
		Norte	Este				
EMCA	CT Farellones	6.735.381	275.220	Jun07 – May08	0,22	3	EIA CT Farellones
Capitanía	CT Barrancones	6.740.239	277.781	Nov06 – Oct07	0,39	6,6 (Máx. hora)	EIA CT Barrancones
Estancia Chungungo		6.745.978	275.256	Nov06 – Oct07	2,05	31,9 (Máx. hora)	
Punta de Choros		6.762.678	260.862	Abr07 – Mar08	0,48	5,6 (Máx. hora)	
Choros Bajos		S.I.	S.I.	Mar08 - Feb09	0,6	13 (Máx. hora)	

En el caso del monóxido de carbono (CO), las concentraciones, si bien bajas, dan cuenta de cierta actividad antrópica, propia de las localidades donde se emplazan las estaciones (Chungungo y Choros Bajos). El valor más bajo se presenta en Punta Choros, lo cual es esperable dado que se trata de la estación más alejada de centros poblados.

Tabla 2-7: Concentraciones de CO registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información CO	Máximo horario CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	P99 Máximo diario 1 h CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Máx. promedio móvil 8 h CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Fuente
		Norte	Este					
Capitanía	CT Barrancones	6.740.239	277.781	Nov06 – Oct07	730	690	720	EIA CT Barrancones
Estancia Chungungo		6.745.978	275.256	Nov06 – Oct07	516,3	465,7	369,2	
Punta de Choros		6.762.678	260.862	Abr07 – Mar08	287,4	217,6	176,6	
Choros Bajos		S.I.	S.I.	Mar08 - Feb09	4641	733	856	

Finalmente, en el caso del ozono, contaminante secundario que normalmente se presenta en zonas costeras afectas a elevada radiación solar, como es el caso del Norte Chico, se observa que las menores concentraciones figuran nuevamente en Punta de Choros.

Tabla 2-8: Concentraciones de O₃ registradas en zonas con escasa actividad antrópica

Estación de Monitoreo	Titular	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información O ₃	Máximo horario O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Máximo promedio móvil 8 h O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	P99 Máx. promedio móvil 8 h O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Fuente
		Norte	Este					
Capitanía	CT Barrancones	6.740.239	277.781	Nov06 – Oct07	110	80	59,2	EIA CT Barrancones
Estancia Chungungo		6.745.978	275.256	Nov06 – Oct07	104,5	75,9	60,2	
Punta de Choros		6.762.678	260.862	Abr07 – Mar08	78,6	34,8	33,3	
Choros Bajos		S.I.	S.I.	Mar08 - Feb09	78,6	44,0	S.I.	

De acuerdo a los antecedentes presentados, las concentraciones ambientales de gases reflejan una baja actividad antrópica, con valores promedio bajo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para NO_2 y SO_2 . Por lo anterior, considerando que estos gases son precursores de material particulado fino (de carácter secundario como sulfato y nitrato) y que su concentración es casi nula, es razonable considerar, como una primera aproximación, que la concentración natural o background de material particulado respirable (MP10) y fino (MP2,5), de acuerdo a los valores previamente presentados, se encuentra en torno al 50% de las normas primarias anuales de calidad del aire.

2.2. Redes de monitoreo oficiales en Huasco y alrededores

La ciudad de Huasco y la parte baja del valle del río del mismo nombre, cuentan con numerosas estaciones de monitoreo de calidad del aire, agrupadas en redes, que son administradas por los distintos proyectos de la zona. Dichas redes registran variables meteorológicas, MP10 y gases (NO_2 y SO_2). Recientemente se ha incorporado el MP2,5, la caracterización de algunos metales en el material particulado MP10 y la medición de ozono.

La Empresa Eléctrica Guacolda, que opera la central termoeléctrica del mismo nombre en la localidad de Huasco desde el año 1995, cuenta con tres estaciones de monitoreo en el área urbana de Huasco, todas de representatividad poblacional tanto para MP10 como para los gases (NO_2 y SO_2), esto es, reconocidas por la autoridad como estaciones en las cuales se puede evaluar el cumplimiento de las normas primarias de calidad del aire. Estas corresponden a las estaciones EME-M, EME-F y 21 de Mayo. Adicionalmente, opera una red de monitoreo de SO_2 conformada por 8 estaciones distribuidas en la parte baja del valle del río Huasco.

Puerto Las Losas S.A., instalación portuaria que inició su operación en el año 2008, cuenta con dos estaciones de monitoreo de MP10, una de ellas con representatividad poblacional (ubicada en la Población Huasco II) y la segunda estación denominada Las Losas, ubicada en el límite Oeste de la instalación portuaria. Sus datos son reportados mensualmente a la autoridad. La estación Población Huasco II, actualmente es una propiedad compartida con CAP Minería, la que ha complementado el monitoreo con registro de MP2,5 y gases (NO_x , SO_2 , O_3) además de la caracterización química del MP, cuantificándose hierro, cromo total, plomo, vanadio y níquel.

Adicionalmente, CAP Minería cuenta con una red de 6 estaciones de monitoreo de material particulado sedimentable (MPS), distribuidas en la parte baja del valle del río Huasco, analizándose hierro en el MPS. Toda la red de monitoreo ambiental de CAP Minería fue recientemente fiscalizada por la Superintendencia de Medio Ambiente, verificándose que su operación y registro satisfacen los requisitos de calidad y trazabilidad requeridos¹.

Finalmente, el Ministerio de Medio Ambiente opera desde el mes de Junio de 2014 una estación de monitoreo continuo de MP2,5 en la localidad de Huasco (SIVICA MMA).

Para facilitar la comprensión del informe, las estaciones de monitoreo se agrupan en las redes que se indican a continuación²:

¹ Ver expediente DFZ-2015-4155-III-NC-EI

<http://snifa.sma.gob.cl/RegistroPublico/Fiscalizacion/VerExpediente?expediente=DFZ-2015-4155-III-NC-EI>

² El nombre de las redes no es oficial. Ha sido definido para facilitar la presentación y análisis de información exclusivamente en el marco del presente estudio.

- Red Guacolda Huasco
- Red Guacolda SO₂
- Red PLL-CAP Huasco
- Red CAP MPS
- Red SIVICA MMA

La ubicación de las estaciones se presenta en las siguientes figuras.

Figura 2-1: Estaciones de monitoreo Red Guacolda Huasco

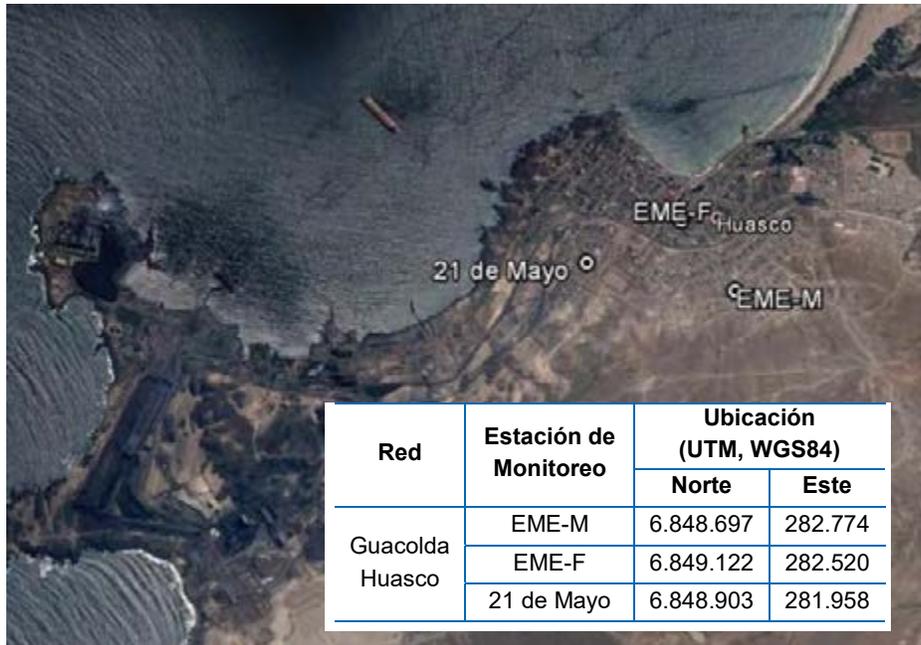


Figura 2-2: Estaciones de monitoreo Red Guacolda SO₂

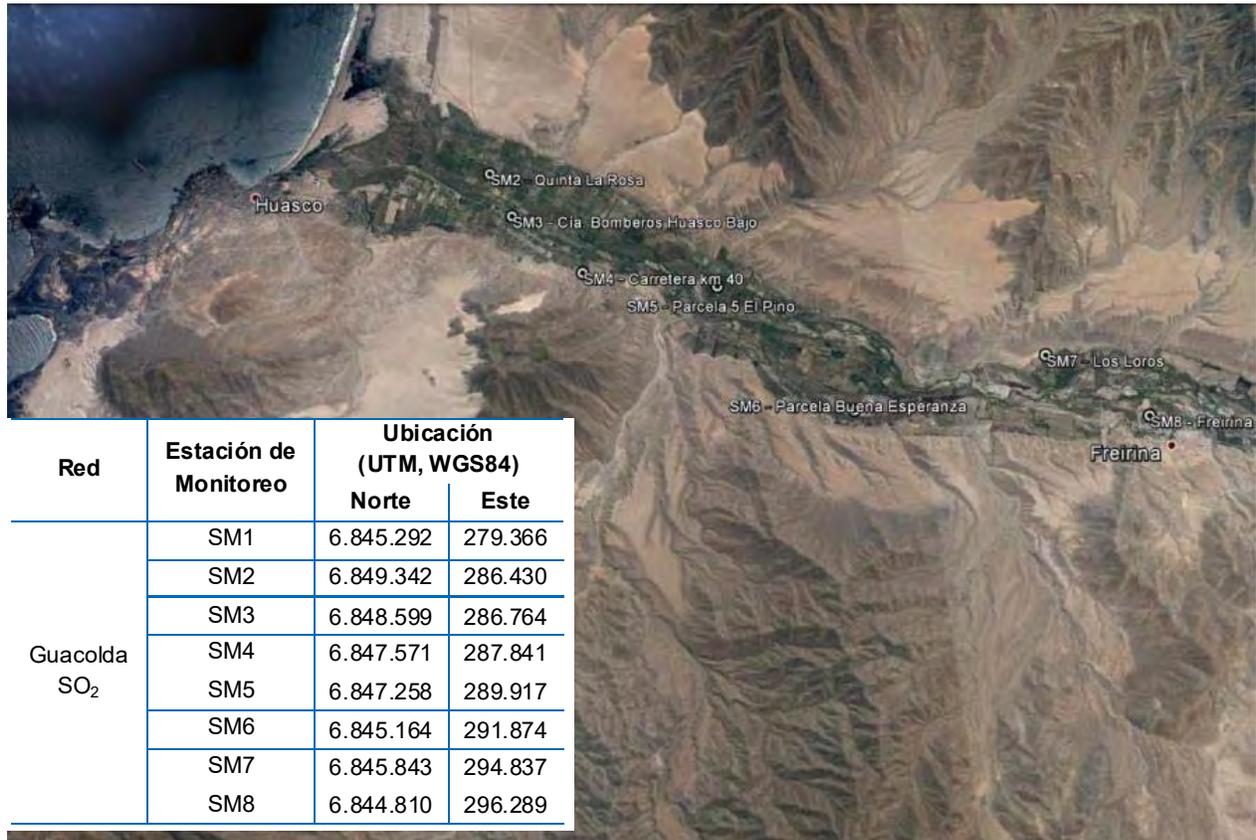


Figura 2-3: Estaciones de monitoreo Red PLL-CAP Huasco



Figura 2-4: Estaciones de monitoreo Red CAP MPS



Figura 2-5: Estación de monitoreo Red SIVICA MMA



Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)	
		Norte	Este
SIVICA MMA	Huasco Sivica	6.848.726	282.686

La ubicación de las estaciones y su equipamiento se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2-9: Ubicación y equipamiento de las estaciones de monitoreo de calidad del aire

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Principio y/o equipo de medición					
		Norte	Este	MP10	MP2,5	MPS – Hierro en MPS	SO ₂	NO _x	O ₃
PLL-CAP Huasco	Las Losas	6.848.569	280.225	Alto volumen Marca: Graseby Monitoreo discreto c/3 días	-	-	-	-	-
	Población Huasco II	6.849.068	281.593	Alto volumen Marca: Tisch Environmental Monitoreo discreto c/3 días	-	-	Fluorescencia de pulso UV Equipo: Teledyne T100 Monitoreo continuo	Luminiscencia química Equipo: Teledyne T200 Monitoreo continuo	Espectrofotometría UV Equipo: Teledyne 400 A Monitoreo continuo
SIVICA MMA	Huasco Sivica	6.848.726	282.686	-	Atenuación beta Marca: Met One Modelo: BAM 1020 Monitoreo continuo	-	-	-	-
Guacolda Huasco	EME-M	6.848.697	282.774	Alto volumen Monitoreo discreto c/3 días	-	-	Analizador continuo UV Monitoreo continuo	Luminiscencia química Monitoreo continuo	-
	EME-F	6.849.122	282.520		-	-			-
	21 de Mayo	6.848.903	281.958	Atenuación beta Monitoreo continuo	-	-	-	-	-
CAP MPS	Estación N°1	6.848.655	284.244	-	-	Colección por sedimentación. Dos jarros colectores por estación	-	-	-
	Estación N°2	6.848.473	285.017	-	-		-	-	-
	Estación N°3	6.849.951	286.302	-	-		-	-	-
	Estación N°4	6.848.667	286.202	-	-		-	-	-
	Estación N°5	6.849.869	286.793	-	-		-	-	-

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Principio y/o equipo de medición					
		Norte	Este	MP10	MP2,5	MPS – Hierro en MPS	SO ₂	NO _x	O ₃
	Estación N°6	6.849.002	288.106	-	-		-	-	-
Guacolda SO ₂	SM1	6.845.292	279.366	-	-	-	Monitoreo continuo con detector UV.	-	-
	SM2	6.849.342	286.430	-	-	-		-	-
	SM3	6.848.599	286.764	-	-	-		-	-
	SM4	6.847.571	287.841	-	-	-		-	-
	SM5	6.847.258	289.917	-	-	-		-	-
	SM6	6.845.164	291.874	-	-	-		-	-
	SM7	6.845.843	294.837	-	-	-		-	-
	SM8	6.844.810	296.289	-	-	-		-	-

Finalmente, la disponibilidad de información por red y estación se presenta en las siguientes tablas, separadas por parámetros.

Tabla 2–10: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de MP10

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MP10									
		Norte	Este	2001 – 2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PLL-CAP Huasco	Las Losas	6.848.569	280.225	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Población Huasco II	6.849.068	281.593	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Guacolda Huasco	EME-M	6.848.697	282.774	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EME-F	6.849.122	282.520	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	21 de Mayo	6.848.903	281.958	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota: a la fecha del presente informe, no se cuenta con información de las estaciones de la red Guacolda Huasco para el año calendario 2014. Dicha información fue solicitada vía Ley de transparencia a la Superintendencia del Medio Ambiente y no fue facilitada por esta última debido a que los datos formaban parte de un proceso de investigación en curso (Resolución Exenta N°49/2015).

Tabla 2–11: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de caracterización química de MP10

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información caracterización química MP10									
		Norte	Este	2001 – 2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PLL-CAP Huasco	Las Losas	6.848.569	280.225	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
	Población Huasco II	6.849.068	281.593	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
Guacolda Huasco	EME-M	6.848.697	282.774	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EME-F	6.849.122	282.520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21 de Mayo	6.848.903	281.958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2–12: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de MP2,5

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MP2,5							
		Norte	Este	2001 - 2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PLL-CAP Huasco	Población Huasco II	6.849.068	281.593	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
SIVICA MMA	Huasco Sivica	6.848.726	282.686	-	-	-	-	-	-	-	✓
Guacolda Huasco	EME-M	6.848.697	282.774	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EME-F	6.849.122	282.520	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	21 de Mayo	6.848.903	281.958	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: La información de las estaciones administradas por CT Guacolda (EME-M y EME-F) no estaba disponible a la fecha del presente informe.

Tabla 2–13: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de MPS y Hierro en MPS

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información MPS y hierro en MPS
		Norte	Este	2000 - 2014
CAP MPS	Estación N°1	6.848.654,5	284.243,9	✓
	Estación N°2	6.848.472,5	285.016,9	✓
	Estación N°3	6.849.950,5	286.301,9	✓
	Estación N°4	6.848.666,5	286.201,9	✓
	Estación N°5	6.849.868,5	286.792,9	✓
	Estación N°6	6.849.001,5	288.105,9	✓

Tabla 2–14: Estaciones de monitoreo y periodo de registro de información de SO₂

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información SO ₂							
		Norte	Este	2003 - 2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PLL-CAP Huasco	Población Huasco II	6.849.068	281.593	-	-	-	-	-	-	✓	✓
Guacolda Huasco	EME-M	6.848.697	282.774	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EME-F	6.849.122	282.520	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	21 de Mayo	6.848.903	281.958	-	-	-	-	-	-	-	-
Guacolda SO ₂	SM1	6.845.292	279.366	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SM2	6.849.342	286.430	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SM3	6.848.599	286.764	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SM4	6.847.571	287.841	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información SO ₂							
		Norte	Este	2003 - 2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	SM5	6.847.258	289.917	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SM6	6.845.164	291.874	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SM7	6.845.843	294.837	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SM8	6.844.810	296.289	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Nota: A la fecha del presente informe, no se cuenta con información de las estaciones de la red Guacolda Huasco ni para el año calendario 2014 en el caso de la red Guacolda SO₂. Dicha información fue solicitada vía Ley de transparencia a la Superintendencia del Medio Ambiente y no fue facilitada por esta última debido a que los datos formaban parte de un proceso de investigación en curso (Resolución Exenta N°49/2015).

Tabla 2-15: Estaciones de monitoreo y disponibilidad de información de NO₂

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información NO ₂						
		Norte	Este	2003 - 2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PLL-CAP Huasco	Población Huasco II	6.849.068	281.593	-	-	-	-	-	-	✓
Guacolda Huasco	EME-M	6.848.697	282.774	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EME-F	6.849.122	282.520	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	21 de Mayo	6.848.903	281.958	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2-16: Estaciones de monitoreo y disponibilidad de información de CO y O₃

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Disponibilidad de información NO ₂						
		Norte	Este	2001 - 2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PLL-CAP Huasco	Población Huasco II	6.849.068	281.593	-	-	-	-	-	-	✓

2.3. Registro de mediciones de calidad del aire en las redes oficiales de Huasco y alrededores

2.3.1 Material particulado respirable

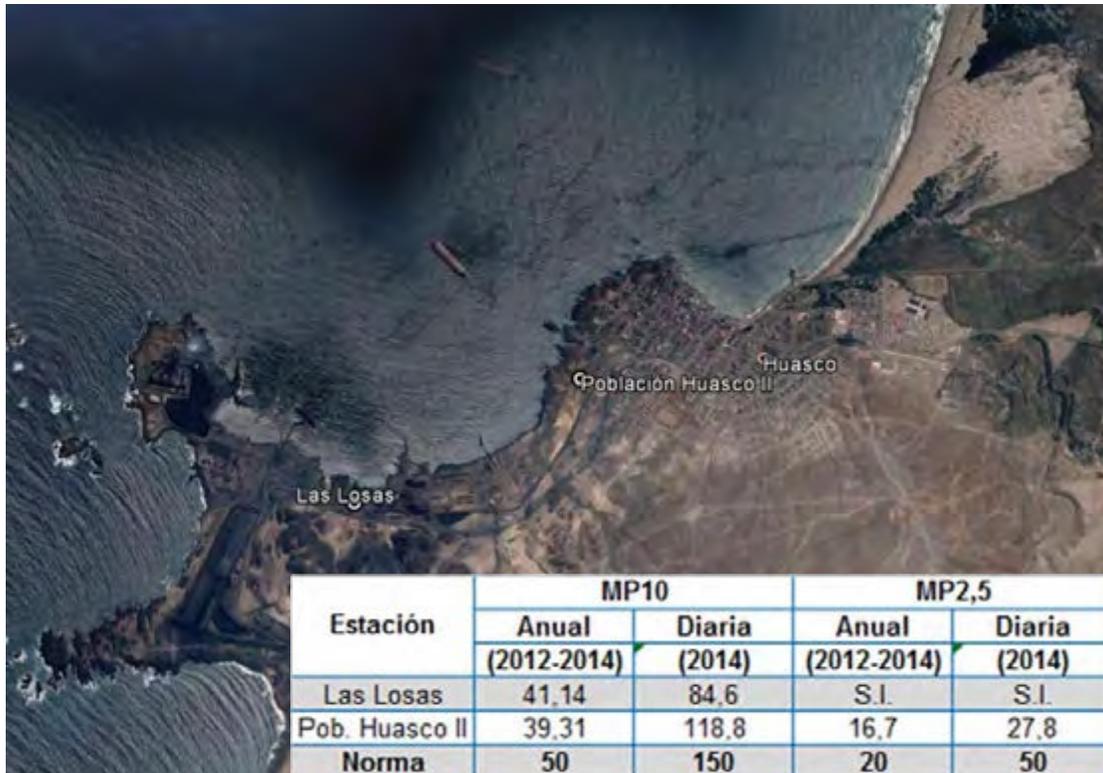
2.3.1.1 Red PLL-CAP Huasco

La información actualizada al año 2014 en las estaciones de la red PLL-CAP Huasco muestra que la localidad de Huasco registra concentraciones de MP10 por debajo del 80% tanto de la norma anual

como de la norma diaria en la estación Población Huasco II. Condición similar se registra con relación a la concentración anual de MP2,5.

En el caso de la estación Las Losas, para la cual sólo se cuenta con información de MP10, la norma anual presenta una concentración equivalente al 82,3%, reflejo de una condición de latencia, en tanto que la norma diaria presenta una concentración muy por debajo del 80% del nivel de la norma.

Figura 2-6: Concentraciones actuales de material particulado en red PLL-CAP Huasco



Dada la ubicación de ambas estaciones, resulta esperable que la concentración promedio en la estación Puerto Las Losas sea mayor a la estación Población Huasco II toda vez que la primera se encuentra mucho más cercana a las actividades industriales. La situación anterior efectivamente se verifica en los datos medidos.

Si bien lo mismo pudiese esperarse en el caso del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas, los datos registrados muestran la situación inversa, lo cual puede ser reflejo de condiciones meteorológicas o bien de la influencia de fuentes distintas en ambas estaciones, lo cual habrá de ser analizado más adelante.

Considerando ahora la concentración natural o background de acuerdo a la información recopilada en estaciones ubicadas en zonas costeras con escasa o nula actividad antrópica de la tercera y

cuarta región (ver sección 2.1), se tiene que al menos el 50% de la concentración promedio medida se explicaría por fuentes naturales tanto en el MP10 como en el MP2,5.

2.3.1.2 Red SIVICA MMA

La estación de monitoreo de la red SIVICA registra material particulado fino (MP2,5) de forma continua. Inició sus mediciones en junio de 2014, por lo que a mayo del año 2015 cuenta con 12 meses de registro.

Figura 2-7: Concentraciones actuales de material particulado en red SIVICA MMA



Considerando ahora la concentración natural o background de acuerdo a la información recopilada en estaciones ubicadas en zonas costeras con escasa o nula actividad antrópica de la tercera y cuarta región (ver sección 2.1), se tiene que en torno al 80% de la concentración promedio medida se explicaría por fuentes naturales.

2.3.1.3 Red Guacolda

La información disponible correspondiente a esta red no difiere de aquella entregada en el primer informe, y por ello no se incluye, debido a que no fue posible acceder a datos del año 2014.

2.3.2 Material particulado sedimentable

A continuación se presentan tablas y gráficos con la tasa mensual y anual de material particulado sedimentable, MPS, para cada una de las seis estaciones que componen la Red de Monitoreo de MPS de Planta de Pellets en Huasco, desde enero de 2008 hasta diciembre de 2014, incluyendo la línea de tendencia histórica para una mejor interpretación de la información. La ubicación de estas estaciones se presentó en la Figura 2-4 y Tabla 2-13.

Gráfico 2-1: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°1

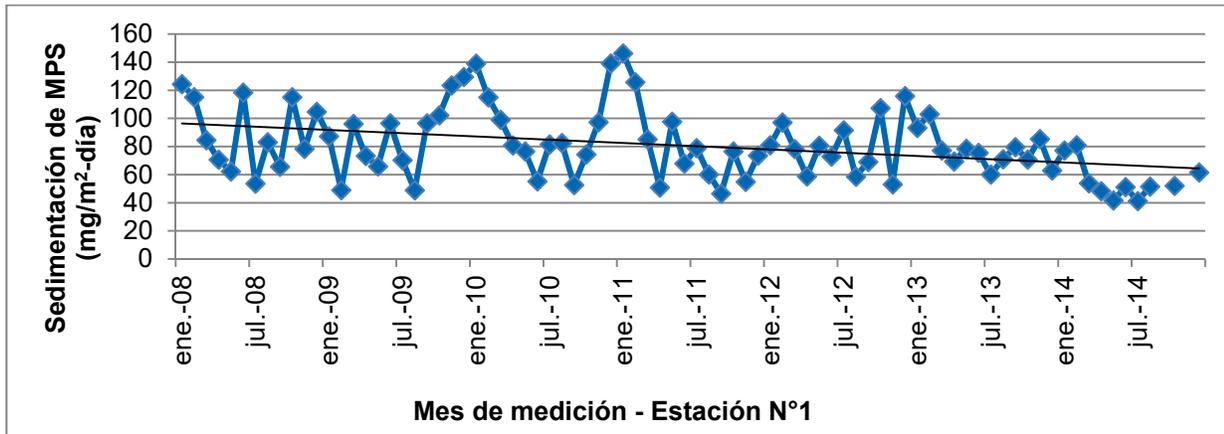


Tabla 2-17: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°1 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	124,4	115,2	84,6	70,7	62,3	118,4	53,7	83,1	65,7	115,2	78,4	104,8	89,7	100
2009	87,3	49,1	96,2	73,4	65,9	96,6	70,3	48,9	96,6	102,3	123,6	129,6	86,7	
2010	139,0	115,0	99,1	80,9	76,6	55,3	81,6	82,6	52,7	74,4	97,4	139,2	91,2	
2011	146,3	125,8	85,2	50,9	97,7	68,0	78,9	60,2	46,6	76,6	54,9	73,6	80,4	
2012	81,0	97,2	78,3	58,8	80,6	72,9	91,6	58,6	69,1	107,4	53,1	116,0	80,4	
2013	93,3	103,0	77,2	69,4	78,5	75,6	60,1	71,0	79,6	70,8	85,4	63,0	77,2	
2014	77,3	81,0	53,9	48,3	41,7	51,2	41,2	51,6		52,1		61,6	56,0	
Norma mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		

Gráfico 2-2: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°2

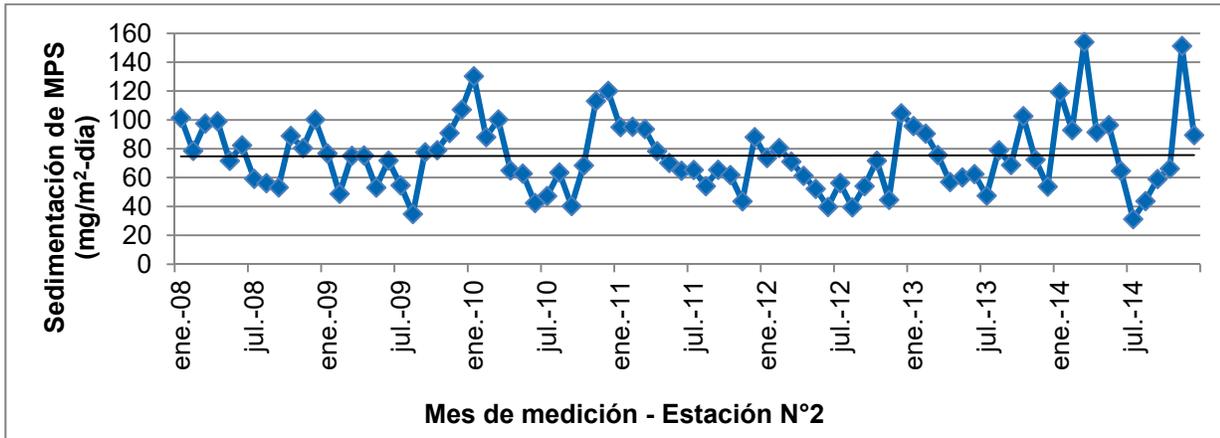


Tabla 2–18: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°2 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	101,5	78,6	97,6	99,1	71,7	82,5	59,2	56,2	53,3	89,0	80,5	100,3	80,8	100
2009	76,9	48,8	75,2	75,4	53,2	71,9	54,7	34,8	77,6	79,1	91,0	107,2	70,5	
2010	130,3	88,1	100,3	65,1	62,9	42,5	47,3	63,6	40,4	68,5	113,2	120,2	78,5	
2011	95,1	95,3	93,7	78,4	70,2	64,9	65,4	54,2	65,5	61,9	43,7	88,1	73,0	
2012	73,7	80,6	71,1	61,3	52,3	39,7	56,3	39,5	54,1	71,8	44,7	104,7	62,5	
2013	95,8	90,5	75,8	57,0	60,2	62,5	47,5	79,1	68,8	102,7	72,4	53,9	72,2	
2014	119,3	93,0	154,1	91,5	96,5	64,7	31,3	43,8	59,1	66,3	151,3	89,5	88,4	
Norma mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		

Los gráficos y tablas anteriores despliegan la información de las estaciones de MPS N°1 y N°2, las cuales son las más cercanas a la ciudad de Huasco, ubicadas al sur del río del mismo nombre. Estación N° 1 está a 188 m al Sur de la línea de ferrocarril y a 4500 m de Planta de Pellets; Estación N° 2 se encuentra a 690 m al Sur de la línea de ferrocarril y a 5210 m de Planta de Pellets. Mientras que la estación N°1 muestra una clara tendencia a la baja, la estación N°2 presenta una fluctuación tal que no puede identificarse una tendencia al alza o a la baja. La cercanía entre ambas estaciones y la diferencia entre sus comportamientos sugiere que ellas no se encuentran siempre afectas a una misma fuente emisora de MPS y, más aún, el comportamiento estable de la estación N°2 sugiere que la fuente que la afecta es local, esto es, de su entorno inmediato, toda vez que es sabido que los actores industriales del entorno de la localidad de Huasco han disminuido sus emisiones en los últimos años.

Gráfico 2-3: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°3

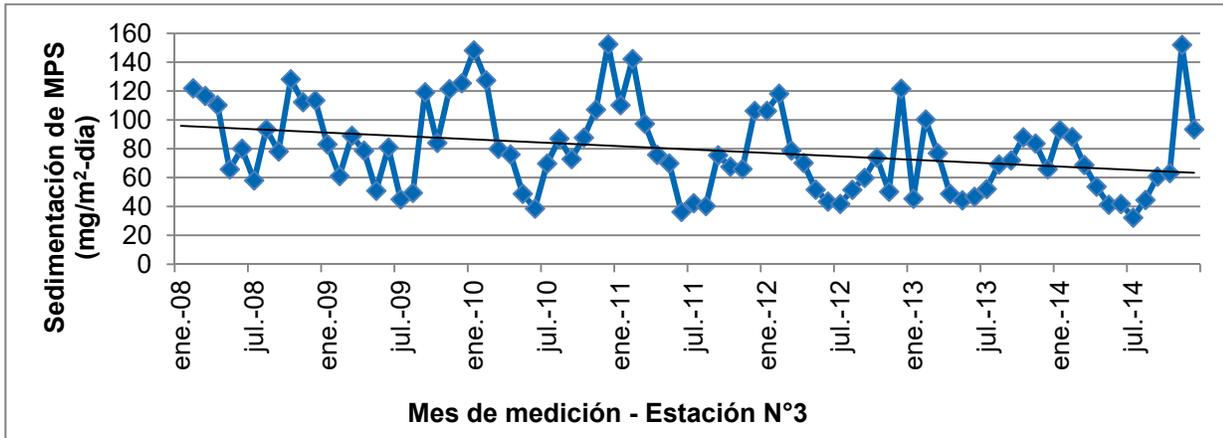


Tabla 2-19: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°3 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008		122,0	116,7	110,3	65,8	80,1	58,1	93,6	78,2	128,3	112,4	113,6	98,1	100
2009	83,1	61,1	89,1	78,7	51,0	80,9	45,0	49,5	119,2	84,1	121,4	125,5	82,4	
2010	148,2	127,5	80,0	76,1	48,8	38,6	69,8	87,1	72,9	87,8	107,2	152,5	91,4	
2011	110,3	142,3	97,4	75,9	69,9	36,3	42,4	40,4	75,5	67,6	66,1	106,3	77,5	
2012	106,3	118,2	78,8	70,2	51,7	43,4	41,8	51,6	59,9	74,0	50,3	121,6	72,3	
2013	45,4	100,3	77,0	48,9	44,3	46,8	52,2	69,1	72,0	88,0	83,7	65,9	66,1	
2014	93,1	88,2	68,8	53,8	41,2	41,8	32,3	44,5	60,8	63,2	152,1	93,5	69,4	
Norma mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		

Gráfico 2-4: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°4

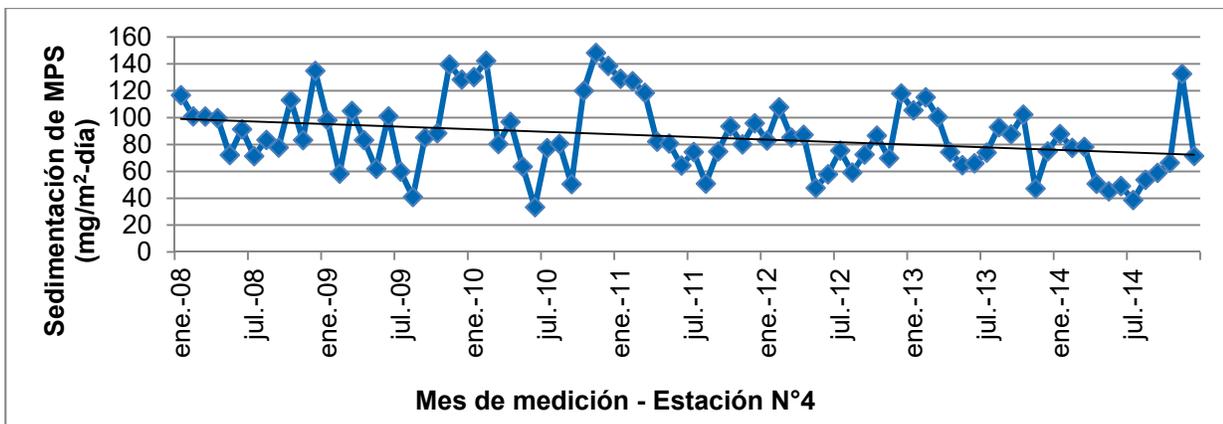


Tabla 2–20: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°4 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	116,8	101,0	100,9	99,7	72,2	91,4	71,4	83,5	77,8	113,1	83,4	134,9	95,5	100
2009	98,2	58,4	105,0	83,4	61,9	101,0	59,9	40,9	85,2	88,5	139,6	128,4	87,5	
2010	130,2	142,3	80,4	96,8	63,6	33,4	77,3	80,5	50,6	120,1	148,3	138,5	96,8	
2011	128,9	127,2	118,5	82,2	80,8	64,4	74,5	50,9	74,8	93,5	80,2	95,9	89,3	
2012	83,0	107,7	85,3	87,3	47,7	57,9	75,5	59,2	72,6	86,7	69,8	118,1	79,2	
2013	105,5	115,2	100,5	74,4	64,6	66,1	74,0	92,9	87,6	102,3	47,2	75,0	83,8	
2014	87,9	77,5	78,2	50,8	45,2	49,1	38,7	53,7	59,0	66,4	132,6	71,5	67,6	
Norma mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		

Gráfico 2-5: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°5

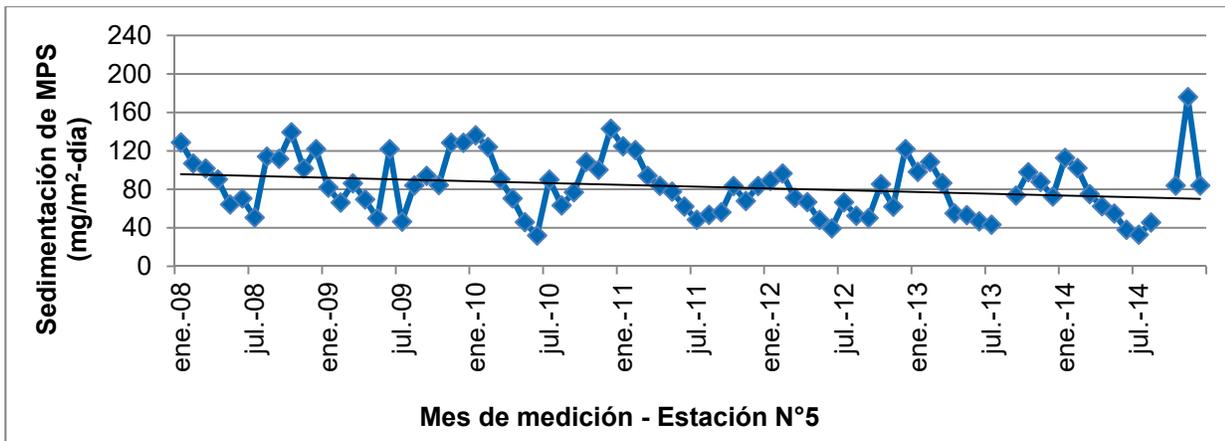


Tabla 2–21: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°5 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	128,8	107,0	101,6	90,4	64,3	70,6	50,8	114,1	111,7	139,4	101,7	121,8	100,2	100
2009	81,8	66,3	86,3	69,5	49,9	121,8	46,4	84,2	94,1	84,5	128,5	128,4	86,8	
2010	136,2	124,0	90,5	70,5	45,9	32,0	90,1	63,3	77,0	108,6	100,4	143,1	90,1	
2011	124,9	120,8	94,0	83,7	77,6	62,2	48,4	53,6	56,1	83,5	67,9	83,5	79,7	
2012	88,8	96,5	71,2	66,8	48,2	39,4	66,6	52,6	50,2	85,4	62,0	121,9	70,8	
2013	98,2	108,5	86,6	55,0	53,2	46,8	43,3		73,5	97,8	87,7	72,6	74,8	
2014	112,7	102,1	75,1	62,4	54,9	38,0	32,8	45,6		84,0	175,9	84,0	78,9	

Norma mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--	--

Los gráficos y tablas anteriores muestran el comportamiento de la tasa de sedimentación en las estaciones N°3, 4 y 5, ubicadas al este de las estaciones N°1 y 2, en el caso de la estación N°4 al sur del río y en el caso de las dos restantes al norte del mismo. En los tres casos se observa una tendencia a la baja en la tasa de sedimentación durante los últimos 7 años.

Complementariamente, el siguiente gráfico y tabla muestran la variación en la tasa de sedimentación de MPS en la estación N°6, las más oriental y alejada de la ciudad de Huasco. Esta estación muestra una ligera tendencia a la baja

Gráfico 2-6: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°6

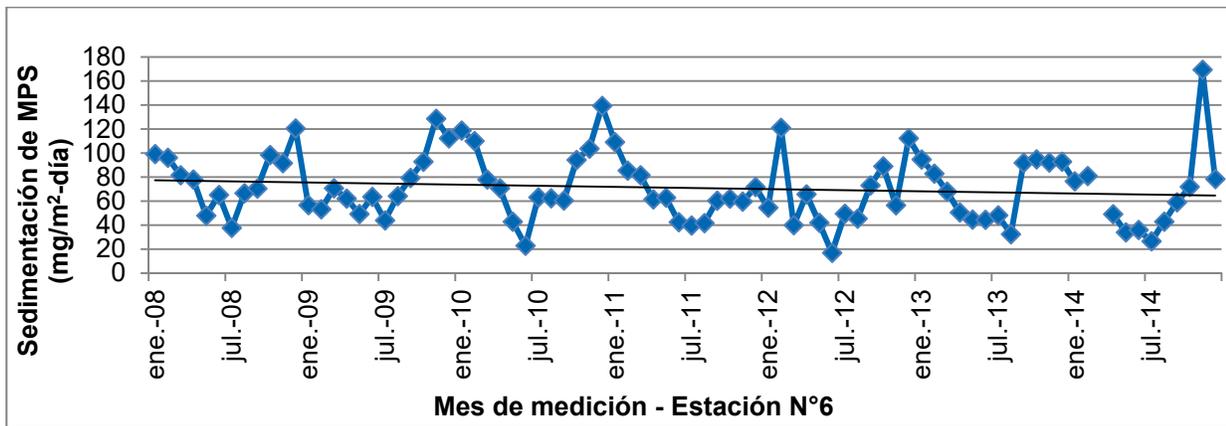


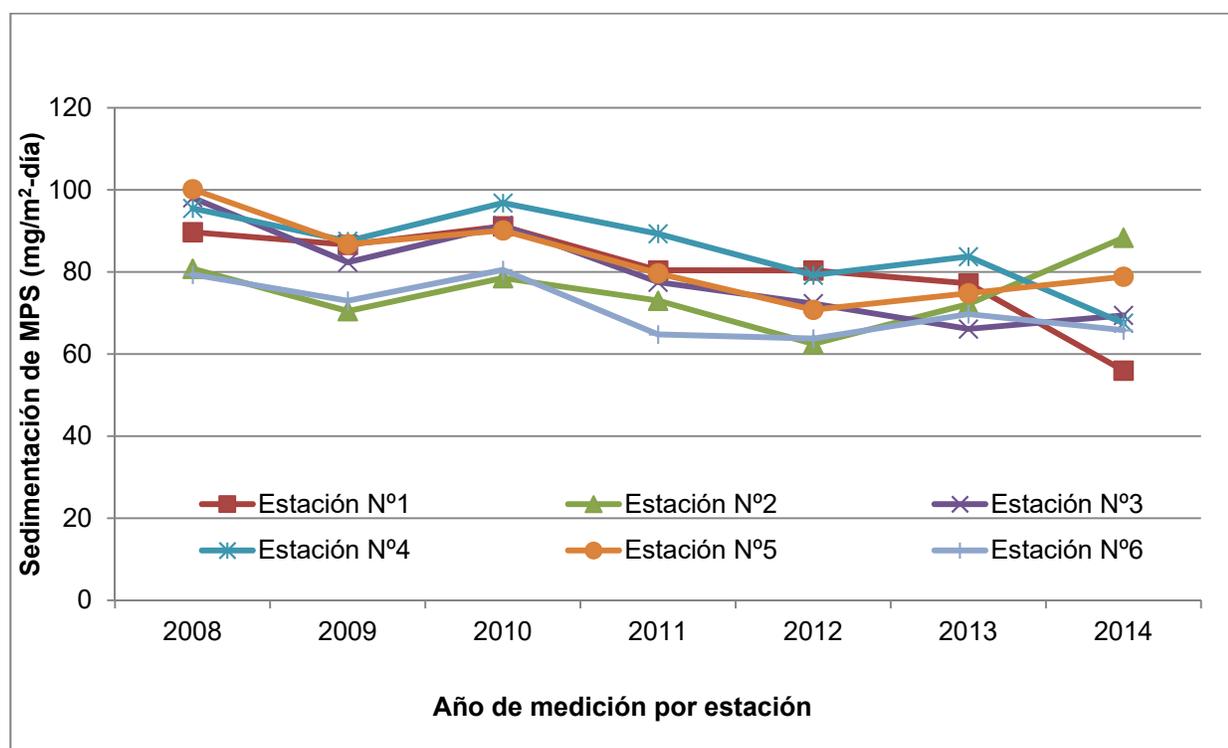
Tabla 2-22: Sedimentación mensual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°6 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	99,1	96,1	81,5	78,0	47,9	65,1	37,7	66,6	70,4	98,3	91,6	120,4	79,4	100
2009	56,6	53,2	70,6	62,1	49,2	63,5	43,9	64,2	79,3	92,8	128,5	112,2	73,0	
2010	118,7	110,0	78,0	70,6	42,8	22,9	63,1	62,3	60,5	94,2	103,7	139,3	80,5	
2011	109,1	85,4	81,5	61,4	62,8	42,5	39,7	41,7	60,3	62,0	59,5	71,7	64,8	
2012	54,5	121,0	39,9	65,6	41,9	16,9	49,4	45,4	73,0	89,0	56,5	112,2	63,8	
2013	94,6	82,9	67,9	50,5	44,5	44,4	48,2	32,4	91,9	94,8	92,1	92,8	69,7	
2014	76,5	80,8		49,0	33,9	36,0	26,5	42,9	59,0	71,8	169,3	78,4	65,8	
Norma mensual	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		

El siguiente gráfico muestra la evolución de la tasa de sedimentación anual de MPS en las seis estaciones, y permite inferir que la tendencia en general es a la baja, salvo un aumento puntual en el año 2014 en las estaciones N°2, 3 y 5. Considerando que estas estaciones se encuentran separadas entre sí y en vista de lo que indican las estaciones N°1 y N°4, cercanas a las anteriores, dicho aumento podría obedecer a fuentes del entorno de las estaciones más que a actividad en la localidad de Huasco.

Cabe destacar que las estaciones N° 3 y 5 se encuentran entre sí a una distancia de 100 metros. Por tanto, lo que afecta con sus emisiones a una de ellas también lo hace con la otra. Ambas estaciones están aproximadamente 1 km al norte de la línea de ferrocarril, casi en los faldeos del cerro Centinela, al igual que la estación N°6.

Gráfico 2-7: sedimentación anual de MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Todas las estaciones



Finalmente, al comparar las tasas de sedimentación anteriores con aquellas registradas en estaciones ubicadas en zonas con escasa actividad antrópica (Tabla 2-3), mientras que en el caso del valle del Huasco las tasas anuales han sido consistentemente inferiores a 100 mg/m²-día, en zonas costeras de la cuarta región los valores se han empujado muy por sobre de dicha tasa, alcanzando hasta 145 mg/m²-día. Esto sugiere que fuentes de MPS de origen natural pueden llegar a ser tanto o más relevantes que una o más fuentes industriales.

2.3.3 Contenido de Hierro en MPS

En el presente acápite se entrega la tasa de sedimentación de hierro en el MPS registrado en las estaciones de monitoreo. El registro de esta fracción responde a lo establecido en la norma secundaria de calidad del aire (MPS) para la cuenca del río Huasco.

Gráfico 2-8: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°1

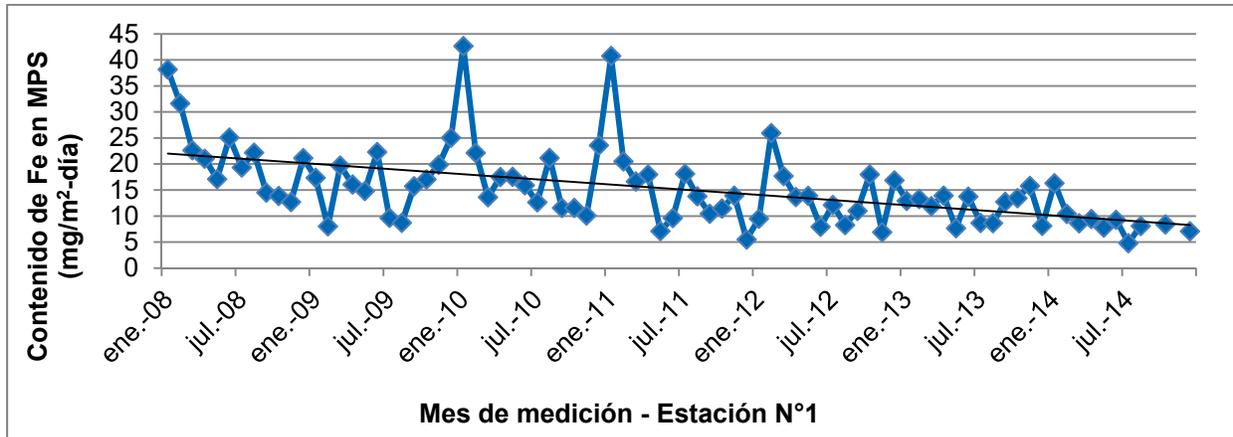


Tabla 2-23: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°1 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	38,2	31,6	22,7	21,1	17,1	25,1	19,4	22,2	14,5	13,9	12,7	21,2	21,6	30
2009	17,4	8,0	19,7	16,1	14,8	22,3	9,7	8,7	15,8	17,1	19,9	25,1	16,2	
2010	42,7	22,2	13,6	17,5	17,6	15,9	12,7	21,2	11,6	11,6	10,1	23,6	18,4	
2011	40,8	20,5	16,7	18,0	7,1	9,6	18,1	13,8	10,5	11,5	14,0	5,5	15,1	
2012	9,5	26,0	17,7	13,7	13,9	8,0	12,2	8,3	11,0	18,0	6,9	16,9	19,4	
2013	13	13	12	14	7,7	14	8,7	8,7	13	13	16	8,15	16,8	
2014	16,3	10,4	8,6	9,4	7,8	9,3	4,8	8,1		8,4		7,1	13,3	
Norma mensual	60	60	60	60	60	60	60	60	30	30	30	30/60		

Gráfico 2-9: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°2

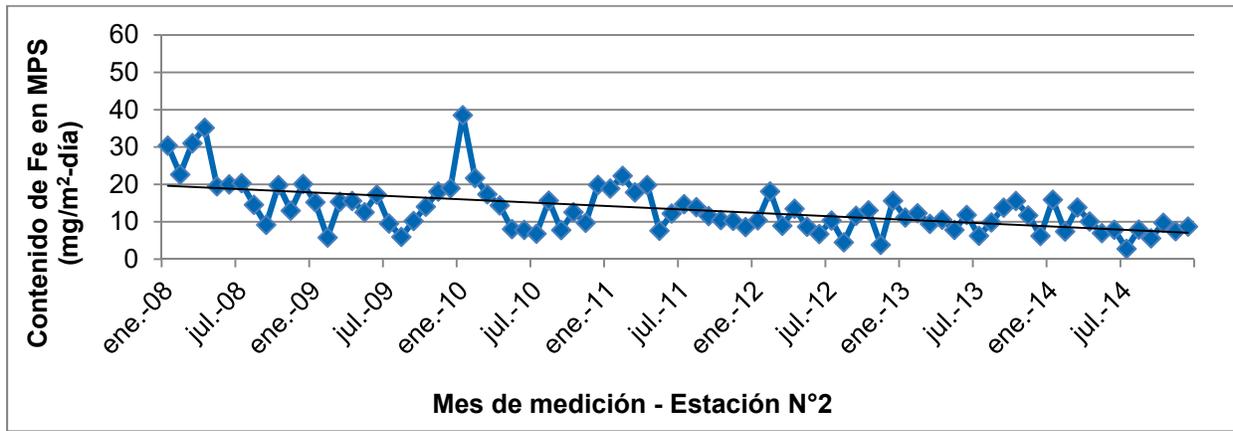


Tabla 2-24: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°2 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	30,4	22,7	31,1	35,2	19,5	20,0	20,4	14,6	9,2	19,9	13,0	20,2	21,4	30
2009	15,3	5,8	15,4	15,6	12,6	17,3	9,6	6,0	10,3	14,1	18,1	19,0	13,3	
2010	38,6	21,7	17,4	14,4	8,1	7,9	6,9	15,7	7,8	12,6	9,8	19,9	15,1	
2011	18,9	22,3	17,9	19,9	7,7	12,3	14,8	14,0	11,6	10,5	10,3	8,6	14,1	
2012	10,4	18,2	9,0	13,5	8,7	6,7	10,4	4,6	11,7	13,1	3,9	15,7	10,5	
2013	11	12	9,5	11	7,9	12	6,3	9,9	14	16	12	6,25	10,6	
2014	15,9	7,4	13,9	10,1	7,0	7,9	2,8	8,0	5,6	9,8	7,5	8,8	8,7	
Norma mensual	60	60	60	60	60	60	60	60	30	30	30	30/60		

Los gráficos y tablas anteriores muestran la evolución de la tasa de sedimentación de hierro como parte del MPS en las estaciones N°1 y N°2, observándose en ambas una tendencia a la baja durante los últimos siete años. Destaca la diferencia en el comportamiento de la tasa de sedimentación de MPS, analizada en el acápite anterior, con la de hierro en el MPS en la estación N°2, toda vez que mientras la primera no presenta una tendencia clara ya sea al alza o a la baja, en el caso de la segunda la tendencia es clara a la baja, lo cual sugiere el hecho que las fuentes emisoras de MPS que afectan esta estación son distintas a las de hierro.

Gráfico 2-10: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°3

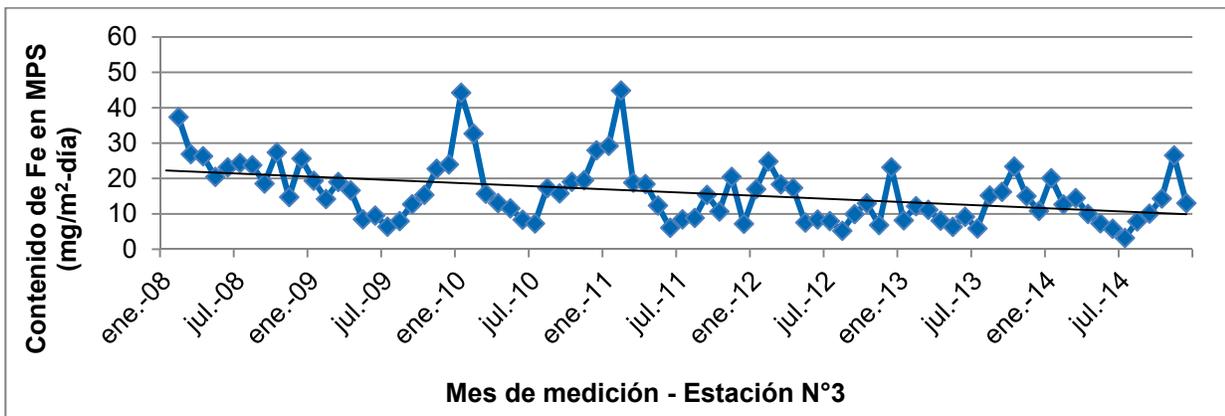


Tabla 2-25: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°3 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008		37,4	26,9	26,4	20,5	23,2	24,4	23,8	18,6	27,4	14,8	25,6	24,5	30
2009	19,4	14,3	19,1	16,7	8,5	9,6	6,4	8,0	12,8	15,4	22,8	24,0	14,7	
2010	44,3	32,7	15,7	13,1	11,6	8,4	7,3	17,3	15,8	19,1	19,6	28,0	19,4	
2011	29,3	44,9	18,9	18,5	12,4	6,1	8,5	8,9	15,4	10,7	20,5	7,3	16,8	
2012	17,0	24,9	18,4	17,4	7,6	8,5	8,0	5,3	10,0	13,1	6,9	23,2	13,3	
2013	8,2	12	11	8,1	6,4	9,2	5,9	15	16	23	15	10,9	11,8	
2014	20,1	12,7	14,5	10,0	7,4	5,9	3,2	7,9	10,1	14,4	26,6	13,1	12,2	
Norma mensual	60	60	60	60	60	60	60	60	30	30	30	30/60		

Gráfico 2-11: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°4

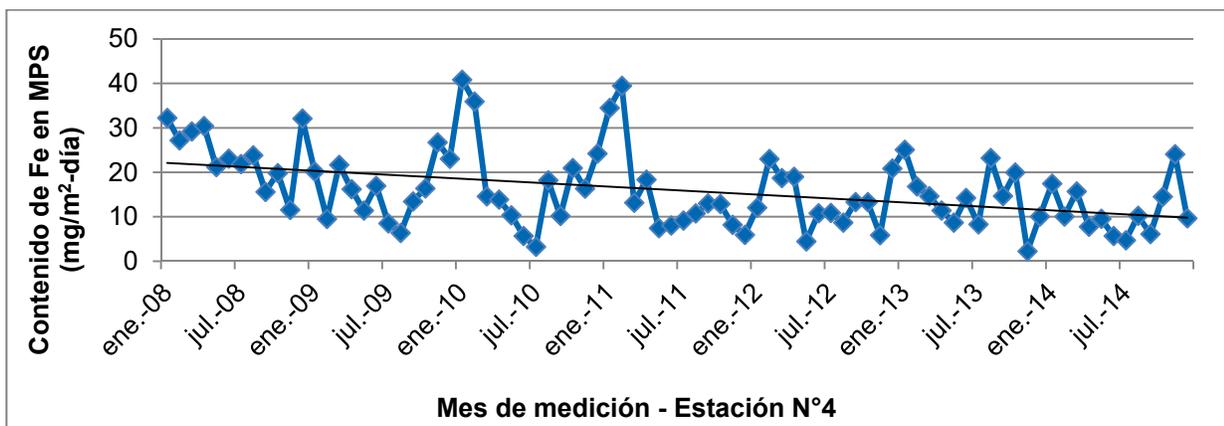


Tabla 2-26: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°4 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	32,2	27,2	29,2	30,4	21,2	23,1	21,9	23,9	15,6	19,8	11,6	32,1	23,3	30
2009	20,2	9,5	21,7	16,2	11,4	17,0	8,5	6,4	13,5	16,4	26,7	23,1	26,7	
2010	40,8	35,9	14,6	13,9	10,4	5,7	3,3	18,2	10,2	21,0	16,4	24,2	20,6	
2011	34,5	39,5	13,2	18,4	7,5	8,1	9,2	10,8	13,0	12,9	8,2	6,0	14,6	
2012	12,1	23,0	18,7	19,0	4,5	10,8	10,9	8,7	13,3	13,3	5,9	20,9	16,7	
2013	25	17	15	11	8,7	14	8,3	23	15	20	2,3	10,1	11,4	
2014	17,5	10,1	15,7	7,8	9,6	5,7	4,8	10,2	6,1	14,5	24,1	9,7	10,1	
Norma mensual	60	60	60	60	60	60	60	60	30	30	30	30/60		

Gráfico 2-12: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°5

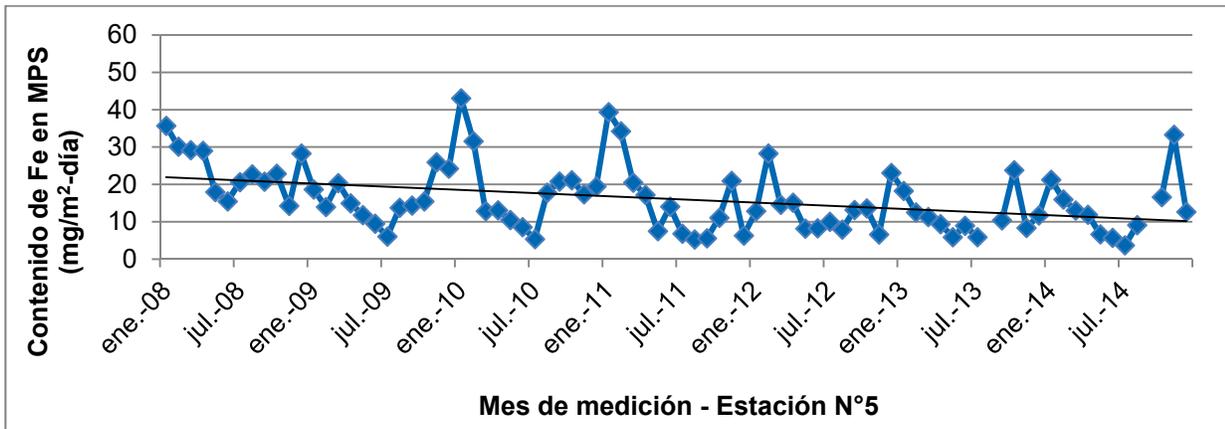


Tabla 2-27: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°5 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	35,7	30,1	29,2	29,0	18,0	15,5	20,6	22,7	20,8	22,9	14,3	28,3	23,9	30
2009	18,7	14,0	20,4	15,0	11,8	9,5	6,1	13,8	14,4	15,5	26,0	24,3	15,8	
2010	43,1	31,6	12,9	13,1	10,5	8,6	5,4	17,8	20,8	21,2	17,4	19,5	18,5	
2011	39,4	34,2	20,5	17,2	7,5	14,1	6,8	5,3	5,6	11,1	21,0	6,3	15,8	
2012	12,9	28,3	14,6	15,1	8,2	8,3	10,0	8,0	13,2	13,6	6,6	23,1	13,5	
2013	18	13	11	9,4	5,9	9	5,9		10	24	8,4	11,7	11,5	
2014	21,3	16,0	13,1	11,9	6,7	5,7	3,7	9,1		16,6	33,3	12,7	13,7	
Norma mensual	60	60	60	60	60	60	60	60	30	30	30	30/60		

Las tablas y gráficos anteriores muestran el comportamiento de la tasa de sedimentación de hierro en el MPS en las estaciones N°3, 4 y 5, las cuales muestran una tendencia a la baja durante los últimos 7 años, al igual que en la estación N°6 cuyos datos se presentan a continuación.

Gráfico 2-13: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Estación N°6

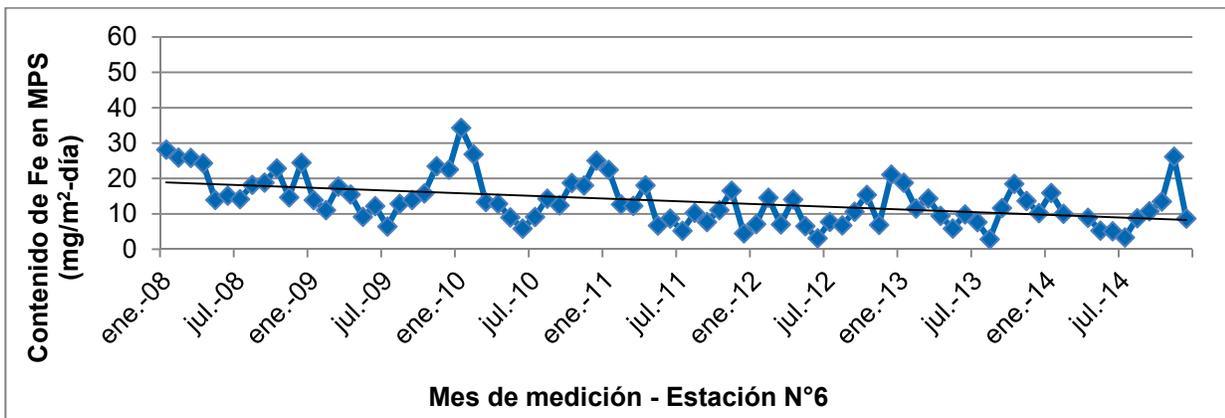
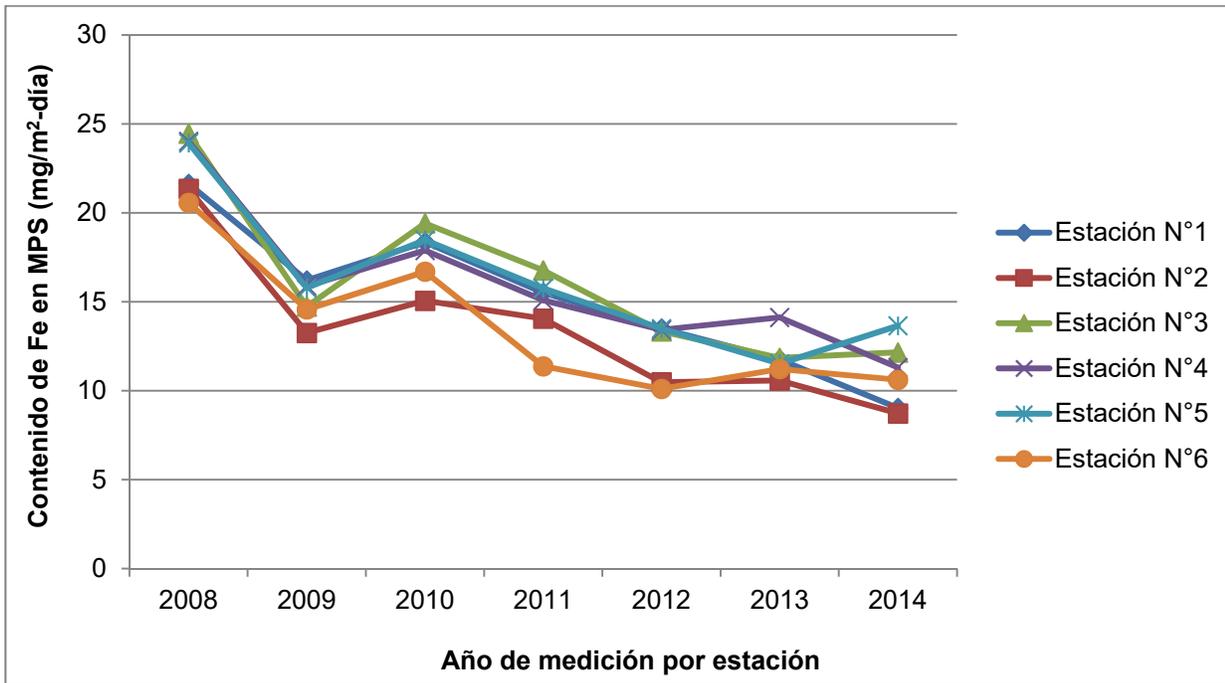


Tabla 2-28: Sedimentación mensual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 Estación N°6 (mg/m²-día)

Año	Mes												Prom. anual	Norma anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2008	28,2	25,9	25,8	24,3	14,0	15,2	14,2	18,3	18,9	22,9	14,7	24,5	20,6	30
2009	13,9	11,1	17,8	15,5	9,2	12,2	6,5	12,9	14,0	15,8	23,5	22,5	14,6	
2010	34,4	26,9	13,4	12,9	9,0	5,9	9,2	14,4	12,5	18,8	18,1	25,1	16,7	
2011	22,5	12,7	12,3	18,1	6,7	8,7	5,2	10,3	7,7	11,1	16,6	4,5	11,4	
2012	7,1	14,6	7,0	14,1	6,6	3,1	7,8	6,8	10,7	15,4	6,9	21,1	10,1	
2013	19	12	14	9,5	5,9	9,9	7,7	2,9	12	19	14	10,3	11,2	
2014	16,0	10,1		8,9	5,3	5,1	3,4	8,8	10,8	13,5	26,2	8,7	10,6	
Norma mensual	60	60	60	60	60	60	60	60	30	30	30	30/60		

El siguiente gráfico muestra la tasa de sedimentación promedio anual de hierro como parte del MPS desde el año 2008 hasta el año 2014, observándose una clara tendencia a la baja en todas las estaciones, salvo un incremento puntual en el año 2014 en las estaciones N°3 y N°5. Considerando el comportamiento de las restantes estaciones, en particular de la estación N°6 ubicada con respecto a la línea férrea en una posición relativamente similar a las estaciones 3 y 5, esta variación podría obedecer a fenómenos puntuales en el entorno de cada estación.

Gráfico 2-14: Sedimentación anual de hierro en MPS entre enero 2008 y diciembre 2014 – Todas las estaciones



Del gráfico anterior se observa que las estaciones monitoras de MPS N° 3 y 5 muestran un incremento en el contenido de hierro en el año 2014, este comportamiento concuerda con lo presentado por las MPS para el mismo año.

Finalmente, al comparar las tasas de sedimentación anteriores con aquellas registradas en estaciones ubicadas en zonas con escasa actividad antrópica (Tabla 2-4), mientras que en el caso del valle del Huasco las tasas anuales se encuentran entre 10 y 15 mg/m²-día, en zonas costeras de la cuarta región los valores se encuentran entre 5 y 15 mg/m²-día. Esto sugiere que fuentes de origen industrial pueden implicar un aporte entre 0 y 5 mg/m²-día.

2.3.4 Gases

Con respecto a los gases (CO, NO_x, SO₂, O₃), se da cumplimiento a la legislación vigente, estando los valores muy por debajo de los niveles de latencia como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 2–29: Concentraciones de SO₂ en Huasco

Red	Estación	SO ₂ (µg/m ³ N)			
		Anual (2014)	P99 24 h (2014)	P99,7 24 h (2014)	P99,73 1 h (2014)
PLL-CAP Huasco	Las Losas	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
	Población Huasco II ^(a)	7,3	39	44	141
Red	Estación	SO ₂ (µg/m ³ N)			
		Anual (2010-2012)	P99 24 h (2010-2012)	P99,7 24 h (2010-2012)	P99,73 1 h (2010-2012)
Guacolda Huasco	EME-M ^(b)	18	60	S.I.	S.I.
	EME-F ^(b)	17	55	S.I.	S.I.
	21 de Mayo	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Norma primaria		80	250	-	-
Norma secundaria ^(c)		-	-	365	1.000

(a): En la estación Población Huasco II las mediciones se iniciaron en Agosto 2013.

(b): Para las estaciones EME-F y EME-M se cuenta con información sólo hasta el año 2012, por lo que se considera el trienio 2010-2012.

(c) Si bien las estaciones están en zona urbana, se presenta de forma referencial el análisis de norma secundaria.

Tal como se desprende de la tabla anterior, las concentraciones de SO₂ en Huasco son bajas, muy por debajo de los límites de cada una de las normas vigentes. Considerando ahora la concentración natural o background de acuerdo a la información recopilada en estaciones ubicadas en zonas costeras con escasa o nula actividad antrópica de la tercera y cuarta región (ver sección 2.1), se tiene prácticamente la totalidad del SO₂ es de origen antrópico.

Tabla 2–30: Concentraciones de NO₂ en Huasco

Red	Estación	NO ₂ (µg/m ³ N)	
		Anual (2014)	P99 Máximo 1h (2014)
PLL-CAP Huasco	Las Losas	S.I.	S.I.
	Población Huasco II ^(a)	7,4	41
Red	Estación	SO ₂ (µg/m ³ N)	
		Anual (2010-2012)	P99 Máx. 1h (2010-2012)
Guacolda Huasco	EME-M ^(b)	8	53
	EME-F ^(b)	9	47
	21 de Mayo	S.I.	S.I.
Norma primaria		100	400

(a): En la estación Población Huasco II las mediciones se iniciaron en Agosto 2013.

(b): Para las estaciones EME-F y EME-M se cuenta con información sólo hasta el año 2012, por lo que se considera el trienio 2010-2012.

Tal como se desprende de la tabla anterior, las concentraciones de NO₂ en Huasco son bajas, muy por debajo de los límites de cada una de las normas vigentes. Considerando la información disponible, en torno al 90% del NO₂ sería de origen antrópico.

En el caso del CO, las concentraciones que se presentan a continuación muestran niveles muy bajos, no mucho mayores a aquellos recogidos en estaciones ubicadas en zonas con escasa o nula actividad antrópica.

Tabla 2–31: Concentraciones de CO en Huasco

Red	Estación	CO (mg/m ³ N)	
		P99 Máximo 1 h (2010-2012)	P99 8 h (2010-2012)
PLL-CAP Huasco	Las Losas	S.I.	S.I.
	Población Huasco II ^(a)	S.I.	S.I.
Red	Estación	CO (mg/m ³ N)	
		P99 Máximo 1 h (2010-2012)	P99 8 h (2010-2012)
Guacolda Huasco	EME-M ^(b)	0,96	0,57
	EME-F ^(b)	0,96	0,57
	21 de Mayo	S.I.	S.I.
Norma primaria		30	10

(a): Las estaciones de la red PLL-CAP Huasco no cuentan con medición de monóxido de carbono.

(b): Para las estaciones EME-F y EME-M se cuenta con información sólo hasta el año 2012, por lo que se considera el trienio 2010-2012.

3. MONITOREO COMPLEMENTARIO DE CALIDAD DEL AIRE

En paralelo a los registros oficiales y de manera temporal, para fines del presente estudio, CAP Minería instaló estaciones de monitoreo complementarias en la zona de Huasco cuyas características y resultados se presentan en este capítulo.

3.1. Descripción de la red de monitoreo complementario

Como ya se señaló, en forma complementaria a las estaciones de monitoreo previamente indicadas, CAP Minería instaló y operó una red de monitoreo de calidad del aire y meteorología conformada por las estaciones Playa Brava, Ferrocarril y Olivos de Bellavista, la primera de las cuales se emplaza al sur de la localidad de Huasco en tanto que la segunda y la tercera se ubican en la parcela del mismo nombre, propiedad de CAP Minería. En paralelo, se ha complementado las mediciones en la estación Población Huasco II, incorporando la medición de MP2,5. Se considera la caracterización química de tres muestras mensuales simultáneas de MP10 y MP2,5 en las estaciones Playa Brava, Población Huasco II y Olivos de Bellavista.

El objetivo de las estaciones y de la complementación en las estaciones existentes, es conformar una red de calidad del aire tanto en la ciudad de Huasco como en la parte baja del valle, para recabar información que permita analizar la participación de las distintas fuentes industriales y naturales en la concentración del material particulado y en la composición química de este último.

Con el mismo propósito, se ha instalado una estación de medición de MP10, MP2,5 y meteorología al sur de las instalaciones industriales de Huasco, en el sector Playa Brava, con el fin de identificar la concentración natural o background en el área.

La red complementaria se encuentra conformada de la siguiente manera:

Tabla 3–1: Ubicación y equipamiento de las estaciones de monitoreo complementarias

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Período de registro	Principio y/o equipo de medición			
		Norte	Este		MP10	MP2,5	MPS	Caracterización química
Complementaria CAP Minería	Playa Brava	6.845.032	278.526	Jun14- Abr15	Low-Vol Monitoreo discreto c/3 días Nefelómetro Topas Monitoreo continuo	Low-Vol Monitoreo discreto c/3 días. Nefelómetro Topas Monitoreo continuo	–	3 filtros mensuales de MP10 y MP2,5 mediante fluorescencia de rayos X-

Red	Estación de Monitoreo	Ubicación (UTM, WGS84)		Período de registro	Principio y/o equipo de medición			
		Norte	Este		MP10	MP2,5	MPS	Caracterización química
	Población Huasco II	6.849.068	281.593	Jun14-May15	Low-Vol Monitoreo discreto c/3 días	Low-Vol Monitoreo discreto c/3 días	Sedimentador	3 filtros mensuales de MP10 y MP2,5 mediante fluorescencia de rayos X -
	Olivos de Bellavista	6.848.809	285.923	Jul14-May15	Low-Vol Monitoreo discreto c/3 días	Low-Vol Monitoreo discreto c/3 días	–	3 filtros mensuales de MP10 y MP2,5 mediante fluorescencia de rayos X -
	Ferrocarril	6.848.979	286.014	Sep14-Abr15	Nefelómetro Topas Monitoreo continuo.	Nefelómetro Topas Monitoreo continuo	–	–

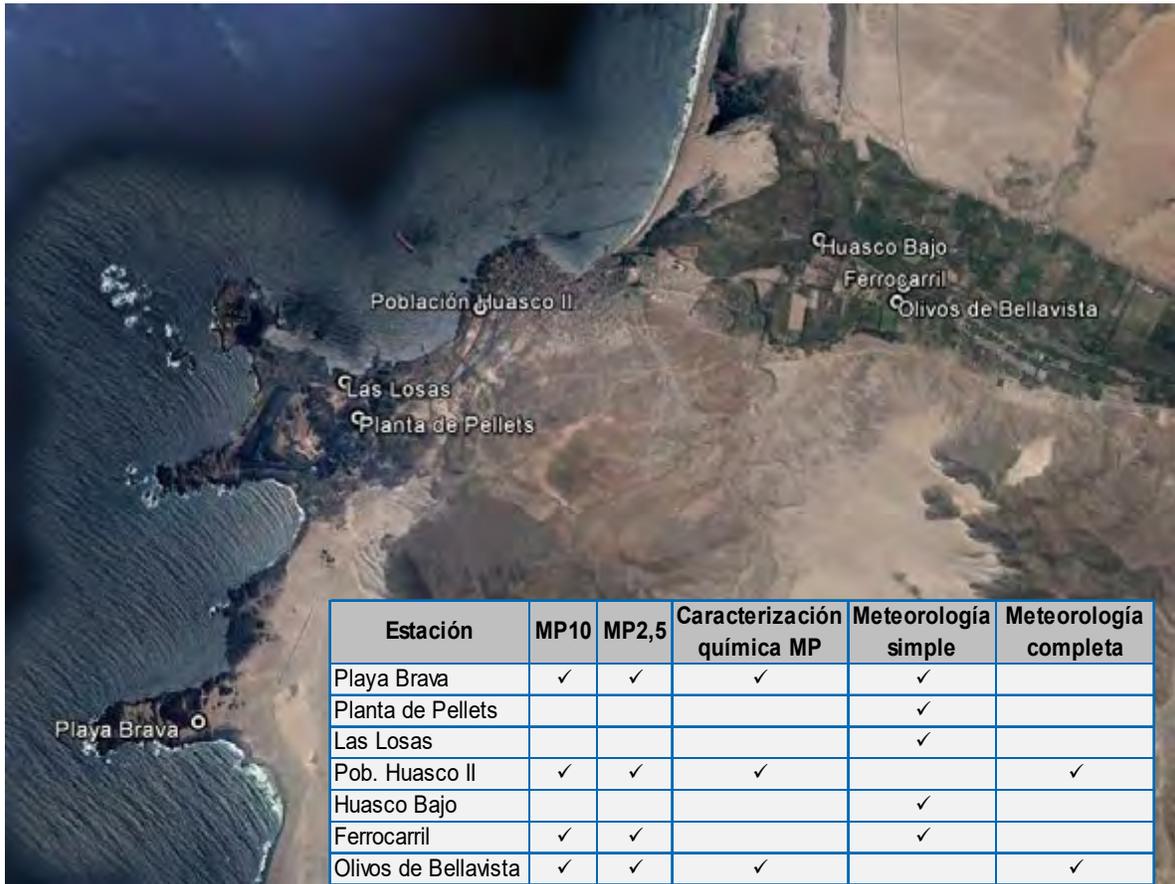
Simultáneamente, en cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire se instaló una estación meteorológica, la que en el caso de estaciones Población Huasco II y Olivos de Bellavista mide meteorología completa (dirección y velocidad del viento, máxima ráfaga horaria de velocidad, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, radiación solar y temperatura ambiente), mientras que la estación Playa Brava registra meteorología simple (dirección, velocidad y máxima ráfaga horaria de la velocidad del viento).

Finalmente, para complementar la información meteorológica, se instalaron cuatro estaciones meteorológicas simples, denominadas Planta de Pellets, Las Losas, Huasco Bajo y Ferrocarril, cuyas coordenadas UTM con Datum WGS84 se entregan en la siguiente tabla.

Tabla 3–2: Coordenadas UTM de estaciones meteorológicas adicionales

Estación	Coordenada UTM, WGS84		Período de registro
	Norte	Este	
Planta de Pellets	6.847.964	280.311	Jun14-May15
Las Losas	6.848.379	280.159	Jun14-Abr15
Huasco Bajo	6.849.546	285.188	Jun14-May15
Ferrocarril	6.848.979	286.014	Sep14-Abr15

Figura 3-1: Red complementaria CAP Minería



3.2. Resultados Red Complementaria

3.2.1 Meteorología

Previo a la presentación de los datos de material particulado y con el fin de efectuar un adecuado análisis de los mismos, es necesario comprender el comportamiento de los vientos en el área de estudio. Para fines de análisis, la información se presenta de forma trimestral, buscando representar las distintas estaciones del año.

La siguiente tabla muestra las velocidades promedio por trimestre y promedio del período. Destaca a simple vista el hecho que es la estación Planta de Pellets la que presenta siempre la mayor velocidad, lo cual obedece a que se encuentra a mayor cota que las restantes ya que se ubica en el cerro que separa la planta de la ciudad de Huasco.

Tabla 3–3: Velocidad del viento en estaciones de monitoreo red complementaria

Período	Velocidad del viento (m/s)				
	Playa Brava	Planta Pellets	Población Huasco II	Huasco Bajo	Olivos de Bellavista
Jun-Ago 14	2,99	3,29	2,19	2,16	1,35
Sep-Nov 14	3,78	4,26	2,82	2,45	1,54
Dic 14 - Feb 15	3,65	4,42	2,99	2,64	1,62
Mar15 - May15	3,15	3,58	2,37	2,15	1,29
Promedio	3,42	3,88	2,59	2,35	1,46
Cota (msnm)	26	49	19	22	30

Nota: Los datos de estaciones Las Losas y Ferrocarril no se presentan por tratarse de estaciones cercanas a Población Huasco II y Olivos de Bellavista, respectivamente. Por su parte, estación Playa Brava no operó en mayo de 2015.

Las velocidades máximas se alcanzan en la época estival y las mínimas en invierno, siendo mayores en las estaciones fuera del valle. Ya en este último, a medida que se remonta, la velocidad disminuye.

Por otra parte, destaca el hecho que la velocidad del viento en el área urbana de Huasco sea casi un 25% menor que en la zona costera al sur. Esto sin duda refleja la influencia del valle en esta última localidad, pero igualmente sugiere que los cerros que se ubican inmediatamente al sur, separándola de Planta de Pellets, interfieren a nivel de superficie con el viento proveniente del suroeste que, tal como da cuenta la siguiente tabla y posteriores figuras, es el que se presenta con mayor frecuencia.

Tabla 3–4: Direcciones de viento predominantes a lo largo de 24 horas en la red de monitoreo complementaria

Período	Estación de monitoreo				
	Playa Brava ^(a)	Planta Pellets	Población Huasco II	Huasco Bajo	Olivos de Bellavista ^(b)
Jun - Ago 14	SO (16,9%)	NE (16,1%)	E (18,4%)	ESE (23,4%)	ESE (20,8%)
	NNE (13,9%)	SO (15%)	ESE (12,1%)	SE (16,8%)	NO (18,4%)
	NE (11,1%)	NNE (12,3%)	SO (9,6%)	NO (15,9%)	SE (12,8%)
	Calmas (0,9%)	Calmas (0,5%)	Calmas (0,8%)	Calmas (2,8%)	Calmas (7,5%)
Sep - Nov 14	SO (34,4%)	SO (27,9%)	SO (17,8%)	ONO (21,4%)	NO (25,1%)
	NNE (11,7%)	NE (15,6%)	OSO (14,3%)	NO (18,2%)	NNO (12,7%)
	NE (9,7%)	NNE (12,6%)	O (7,7%)	O (12,4%)	N (7,8%)
	Calmas (0,5%)	Calmas (0,2%)	Calmas (1,3%)	Calmas (2,1%)	Calmas (10,7%)
Dic 14 - Feb 15	SO (41,1%)	SO (32,3%)	OSO (22,1%)	ONO (24,7%)	NO (28,4%)
	NNE (10,3%)	OSO (17%)	SO (20,2%)	O (18,9%)	ONO (14,6%)
	NE (8,7%)	NE (15,5%)	O (9,1%)	NO (15,8%)	NNO (11,3%)
	Calmas (1,2%)	Calmas (0,5%)	Calmas (1,7%)	Calmas (2,7%)	Calmas (11,5%)
Mar-May 15	SO (32,9%)	SO (21,1%)	SO (16,7%)	ONO (18,3%)	NO (19,4%)

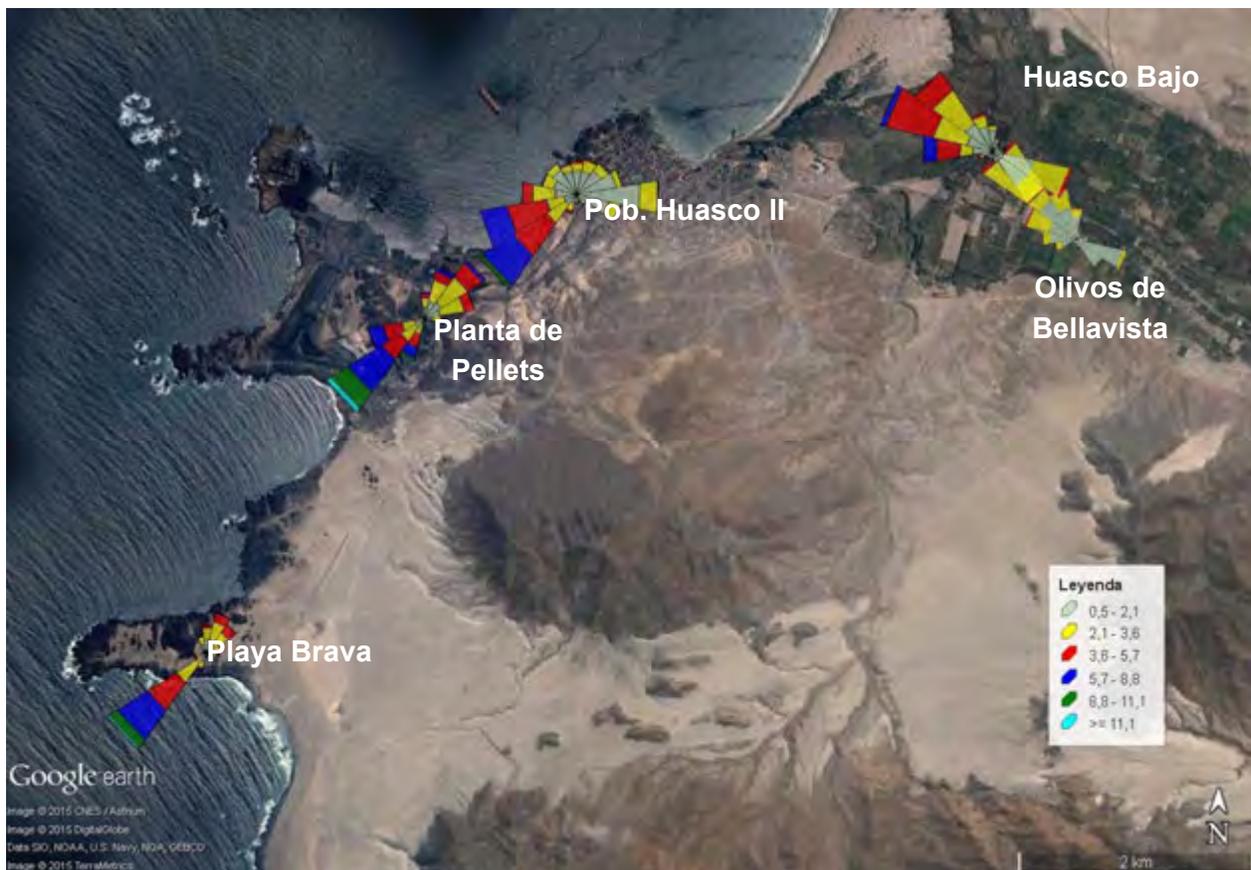
Período	Estación de monitoreo				
	Playa Brava ^(a)	Planta Pellets	Población Huasco II	Huasco Bajo	Olivos de Bellavista ^(b)
	NNE (9,6%)	OSO (13,4%)	E (14,4%)	ESE (17,3%)	ESE (15,1%)
	NE (8,7%)	NE, ENE (12,7%)	OSO (11,8%)	NO (13,2%)	NNO (9,1%)
	Calmas (1,3%)	Calmas (0,6%)	Calmas (1,7%)	Calmas (4,3%)	Calmas (13,4%)
Promedio	SO (34%)	SO (24%)	SO (16%)	OSO (19%)	NO (23,2%)
	NNE (12,4%)	NE (15%)	OSO (13,6%)	NO (15,8%)	ONO (10,6%)
	NE(10,3%)	OSO (12,1%)	E (11,6%)	ESE (13,5)	NNO (10,6%)
	Calmas (1%)	Calmas (0,6%)	Calmas (1,4%)	Calmas (3%)	Calmas (11,1%)

(a) Mediciones en estación Playa Brava se efectuaron sólo hasta abril de 2015.

(b) Mediciones en estación Olivos de Bellavista comenzaron en Julio 2014.

A continuación se presentan las rosas de viento, tanto para el periodo completo como por trimestre.

Figura 3-2: Rosas de viento Junio 2014 – Mayo 2015



La figura anterior muestra las rosas de viento desde junio de 2014 a mayo 2015³. De ella se desprende que en la zona costera al sur del valle los vientos predominantemente vienen desde el suroeste, siendo igualmente los de mayor intensidad, aumentando la frecuencia desde las restantes direcciones conforme nos acercamos al valle. En la estación Población Huasco II se observa una distribución más homogénea no obstante destaca igualmente la componente suroeste.

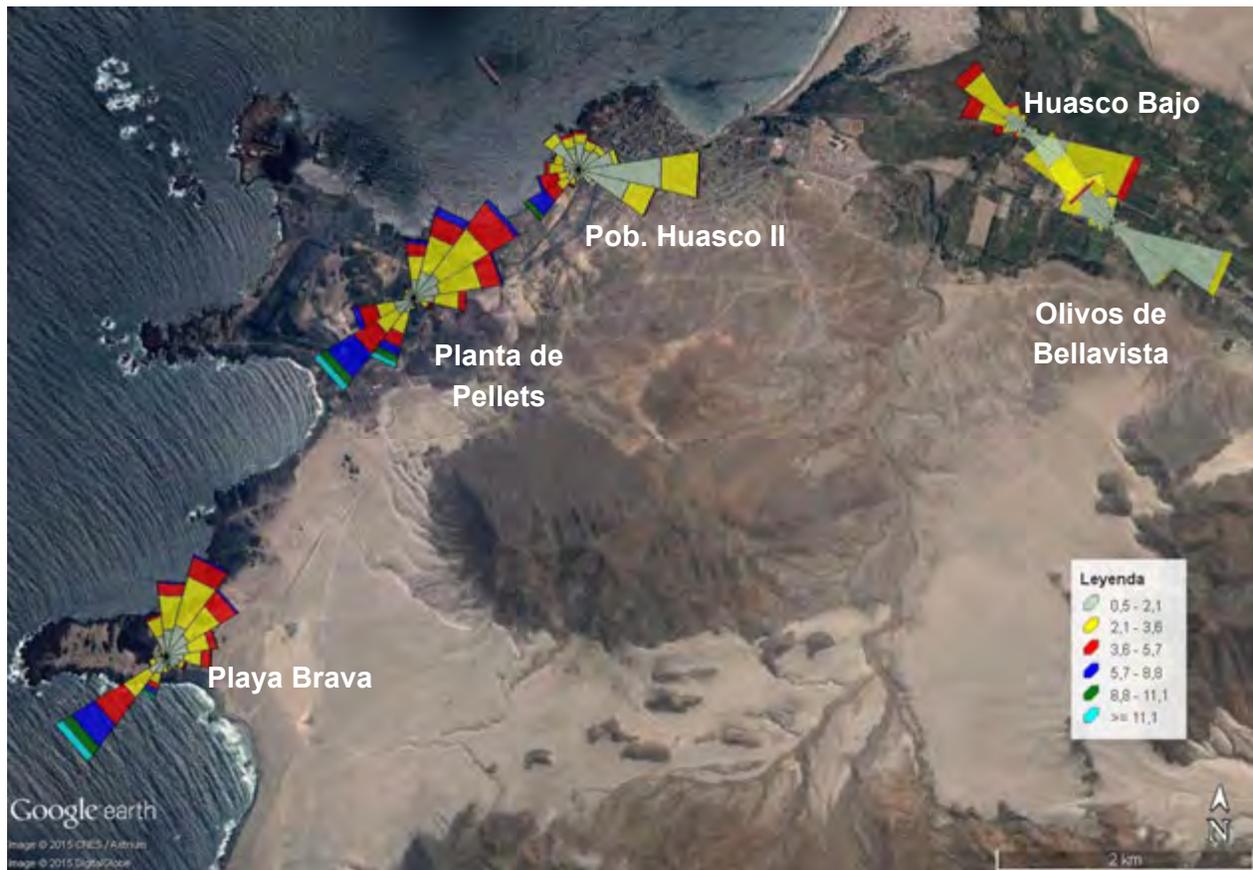
Ya en el valle, ambas estaciones muestran direcciones acordes al sentido del mismo. Resalta el hecho que la estación Huasco Bajo, ubicada a 1 km de distancia de la estación Olivos de Bellavista, presenta intensidades de viento significativamente mayores que esta última.

Revisando ahora la situación en el trimestre junio-agosto, representativo de invierno, en las estaciones Playa Brava y Planta de Pellets, si bien no cambia la dirección predominante (suroeste), sí aumenta la participación de otras direcciones, en particular la noreste, mientras que en la estación Población Huasco II la dirección predominante resulta ser la este, representativa de vientos que bajan desde el valle. Lo anterior, si bien implica que los vientos provienen con menor frecuencia desde el área industrial, es decir, desde el suroeste, no quita el hecho que es precisamente desde la dirección suroeste que se registran las mayores intensidades de viento.

Ya en el valle, consistente con lo que muestra la estación Población Huasco II, la dirección predominante es la este-sureste, bajando por el valle, siendo los vientos de una intensidad menor que el promedio anual.

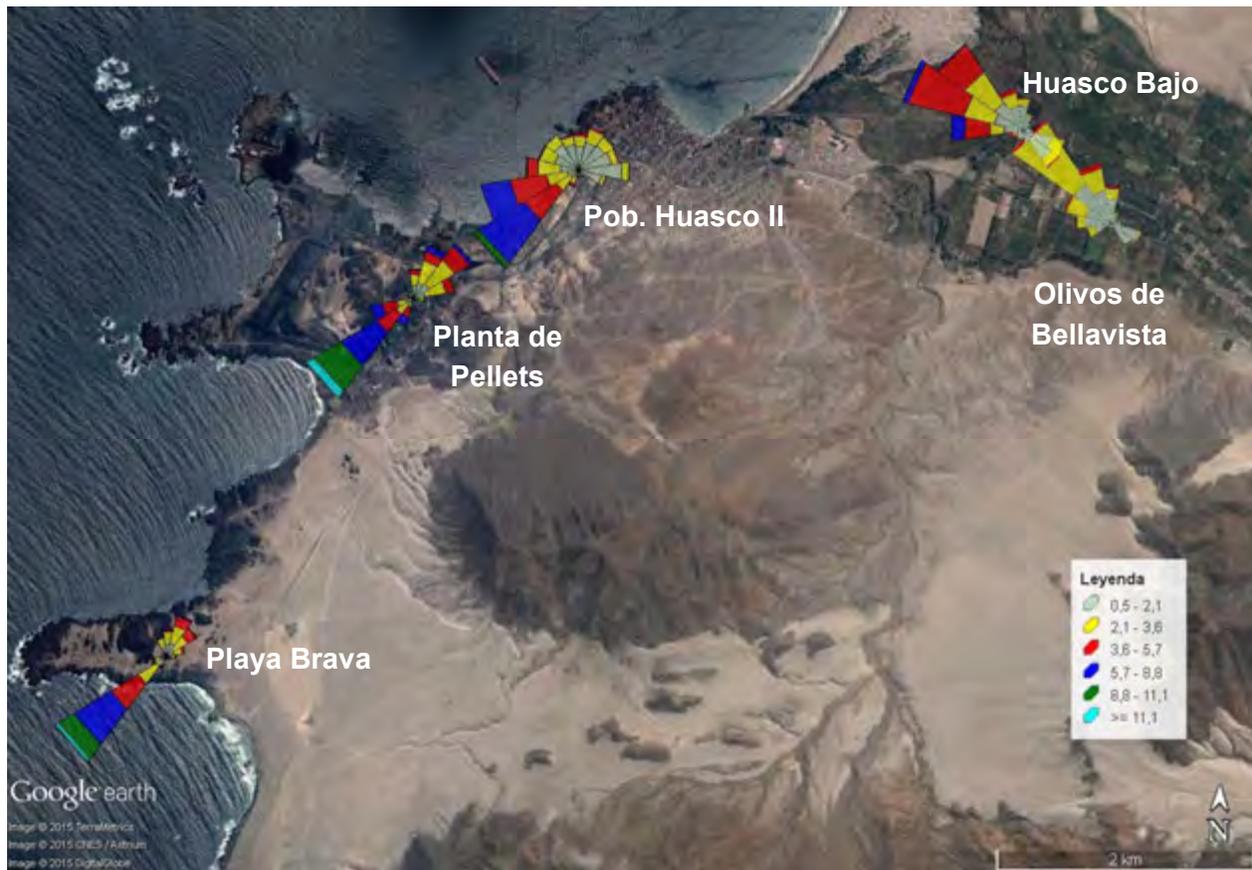
³ Salvo en el caso de las estaciones Playa Brava que operó solo hasta abril del año 2015 y Olivos de Bellavista que operó desde julio del año 2014.

Figura 3-3: Rosas de viento Junio-Agosto 2014 (m/s)



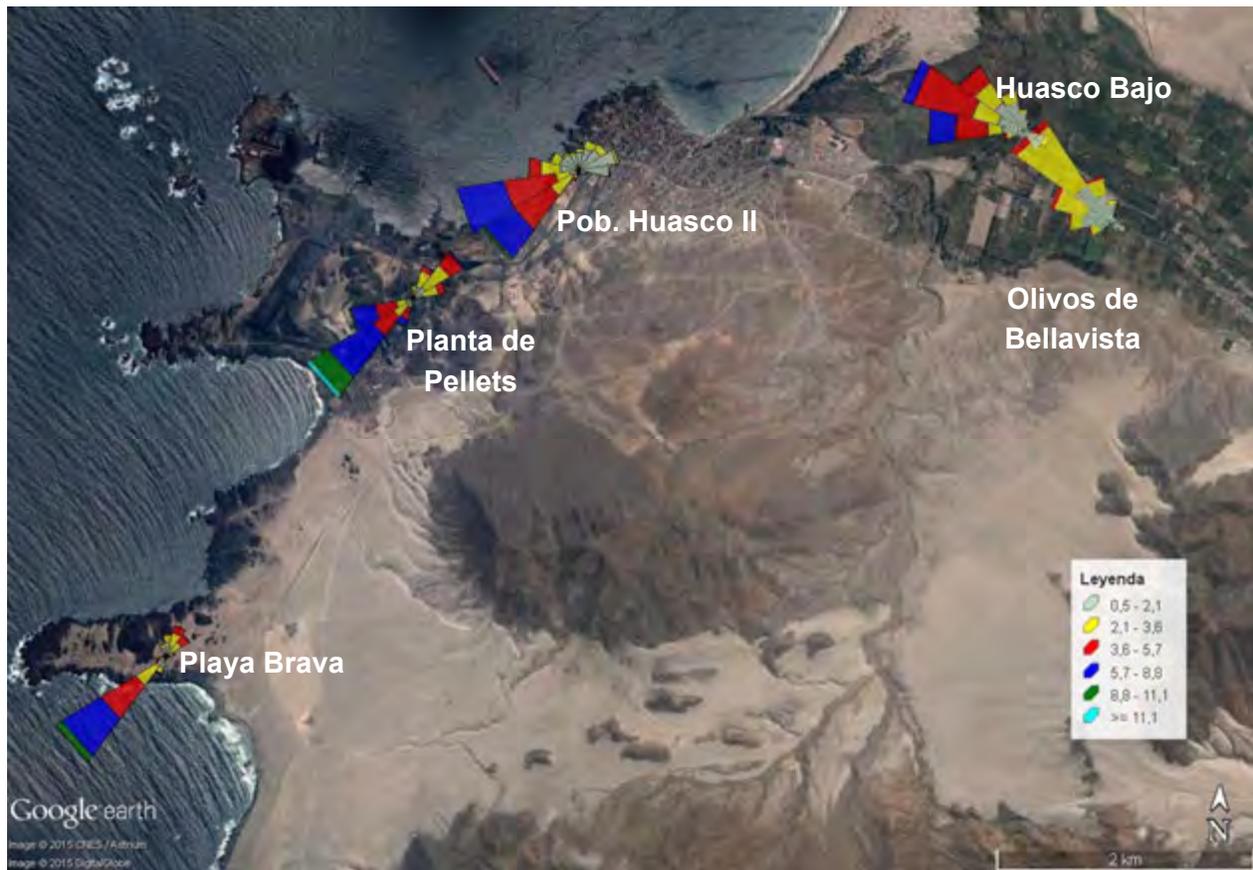
Durante la primavera, representada por el trimestre septiembre-noviembre, se observan condiciones muy similares a aquellas promedio anuales, tal como se desprende de la siguiente figura.

Figura 3-4: Rosas de viento Septiembre-Noviembre 2014 (m/s)



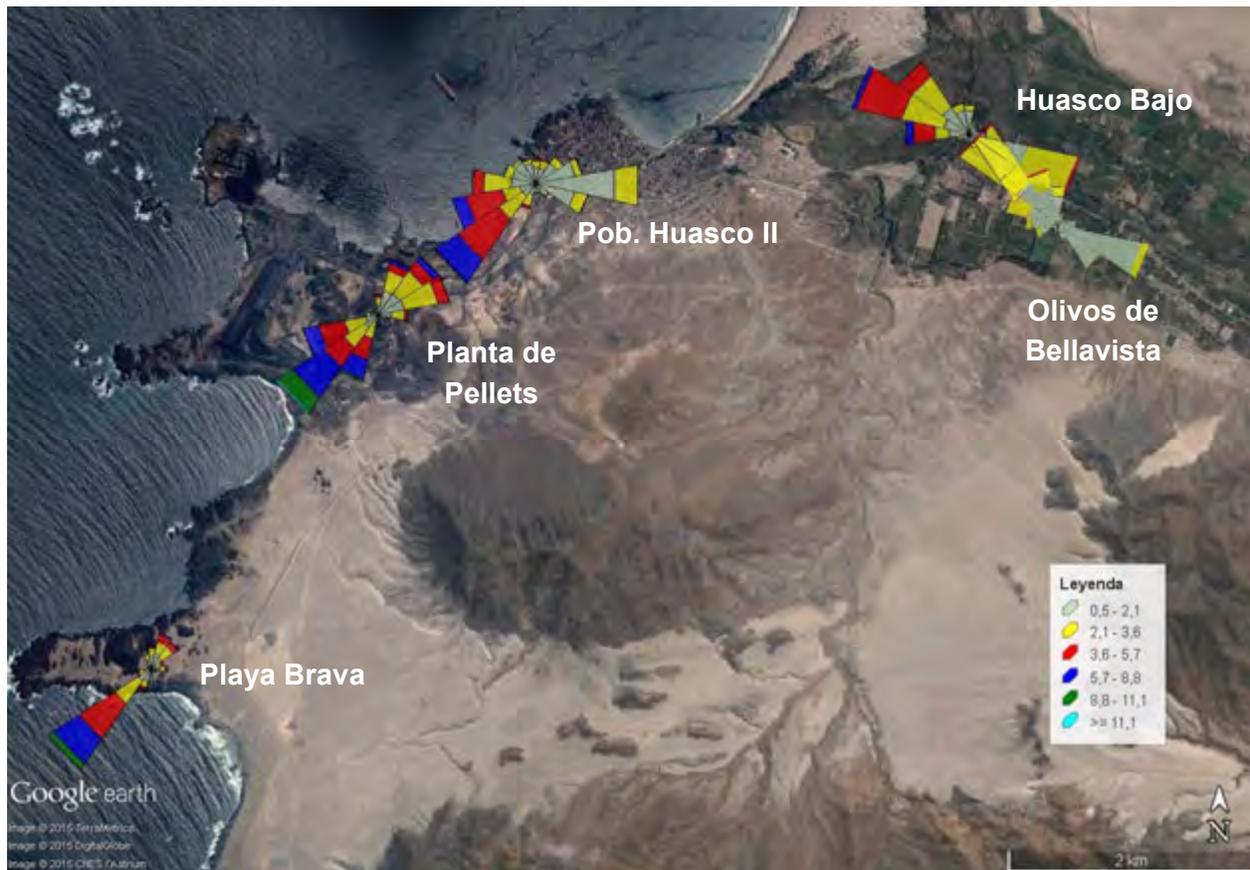
Por su parte, en el trimestre diciembre-febrero, representativo de la época estival, la dirección suroeste se acentúa en las estaciones costeras al sur del valle, al igual que los vientos que desde la costa remontan el valle. Destaca la significativa disminución de la frecuencia de vientos provenientes desde el este.

Figura 3-5: Rosas de viento Diciembre 2014 – Febrero 2015 (m/s)



Finalmente, en el trimestre marzo-mayo, correspondiente a otoño, reaparecen los vientos desde el este en el valle y en la estación Población Huasco II, en este último caso en desmedro de los vientos desde el suroeste, aunque esta última dirección sigue siendo la predominante.

Figura 3-6: Rosas de viento Marzo – Mayo 2015 (m/s)



3.2.2 Material particulado

El monitoreo de Material Particulado, MP, se realizó de forma discreta con una frecuencia de una vez cada tres días. Los equipos usados cumplen con las exigencias indicadas en D.S. N° 61/2008 del MINSAL para el monitoreo de contaminantes atmosféricos y las indicadas en los respectivos decretos de las normas chilenas de calidad del aire de MP10 (D.S. 59/1998 y 45/2001 MINSEGPRES) y MP2.5 (D.S. 12/2011 MMA).

Cada estación monitorea cuenta con una estación meteorológica que opera en forma continua y mide dirección y velocidad del viento y ráfaga máxima horaria. Salvo estación Población Huasco II que incluye igualmente los parámetros humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, radiación solar y temperatura ambiente. Un resumen de los resultados de las mediciones de la red de monitoreo complementaria, desde su inicio hasta la información más reciente disponible, se entrega en la tabla siguiente.

Tabla 3–5: Resumen de concentraciones de MP10 y MP2,5 medidas en red complementaria – Año 2014 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Mes	Estadístico	Estación monitora					
		Playa Brava		Población Huasco II		Olivos de Bellavista	
		MP10	MP2.5	MP10	MP2.5	MP10	MP2.5
Junio 2014	Promedio	38	18	40	15	34	12
	Máximo	84 ₍₁₃₎	35 ₍₁₃₎	58 ₍₁₄₎	21 ₍₁₅₎	57 ₍₁₄₎	23 ₍₀₁₎
	Mínimo	10	6	19	4	16	4
	n	13	13	13	13	13	13
Julio 2014	Promedio	30	18	43	18	22	13
	Máximo	66 ₍₂₅₎	27 ₍₂₅₎	113 ₍₂₂₎	24 ₍₁₀₎	33 ₍₁₀₎	18 ₍₁₀₎
	Mínimo	12	8	23	12	17	10
	n	9	11	11	11	11	11
Agosto 2014	Promedio	44	18	42	15	36	14
	Máximo	67 ₍₃₀₎	26 ₍₁₂₎	107 ₍₂₄₎	21 ₍₁₂₎	57 ₍₁₅₎	20 ₍₁₅₎
	Mínimo	28	6	24	9	8	8
	n	10	10	10	10	10	10
Septiembre 2014	Promedio	38	15	35	13	30	10
	Máximo	75 ₍₂₀₎	25 ₍₀₈₎	61 ₍₂₃₎	22 ₍₂₃₎	41 ₍₂₃₎	15 ₍₀₂₎
	Mínimo	18	7	20	4	19	6
	n	13	13	13	13	13	13
Octubre 2014	Promedio	30	13	41	14	42	8
	Máximo	41 ₍₀₉₎	21 ₍₁₇₎	89 ₍₂₉₎	17 ₍₁₁₎	109 ₍₁₁₎	12 ₍₂₉₎
	Mínimo	20	10	23	10	22	5
	n	10	10	10	10	10	10
Noviembre 2014	Promedio	41	16	42	14	40	13
	Máximo	60 ₍₀₇₎	40 ₍₀₁₎	73 ₍₀₄₎	18 ₍₂₅₎	56 ₍₀₄₎	18 ₍₀₇₎
	Mínimo	25	8	24	8	27	8
	n	10	10	12	12	10	10
Diciembre 2014	Promedio	37	12	41	13	39	13
	Máximo	83 ₍₀₁₎	27 ₍₀₁₎	86 ₍₁₆₎	22 ₍₀₁₎	72 ₍₀₁₎	26 ₍₀₁₎
	Mínimo	14	6	19	5	19	9
	n	11	11	11	11	11	11
Enero 2015	Promedio	26	10	31	14	36	15
	Máximo	42 ₍₃₁₎	14 ₍₀₄₎	46 ₍₂₈₎	26 ₍₂₂₎	44 ₍₃₁₎	36 ₍₂₈₎
	Mínimo	17	5	22	9	19	7
	n	11	11	11	11	10	10
Febrero 2015	Promedio	52	13	47	17	48	16
	Máximo	90 ₍₂₁₎	23 ₍₂₁₎	58 ₍₀₃₎	22 ₍₁₂₎	63 ₍₂₄₎	21 ₍₀₃₎
	Mínimo	16	7	36	13	36	12
	n	10	10	9	9	10	10
Marzo 2015	Promedio	28	12	41	15	40	12
	Máximo	40 ₍₀₅₎	16 ₍₂₀₎	69 ₍₀₂₎	23 ₍₃₁₎	54 ₍₁₄₎	20 ₍₃₁₎
	Mínimo	14	6	15	5	28	8
	n	9	9	9	9	9	9
Abril 2015	Promedio	31	15	38	17	35	13
	Máximo	55 ₍₁₆₎	29 ₍₂₈₎	57 ₍₁₆₎	34 ₍₂₈₎	56 ₍₂₈₎	26 ₍₂₈₎
	Mínimo	16	8	32	8	23	8
	n	10	11	10	10	10	10
Mayo 2015	Promedio	---	---	46	24	---	---
	Máximo	---	---	66 ₍₀₁₎	34 ₍₀₁₎	---	---

Mes	Estadístico	Estación monitora					
		Playa Brava		Población Huasco II		Olivos de Bellavista	
		MP10	MP2.5	MP10	MP2.5	MP10	MP2.5
	Mínimo	---	---	24	16	---	---
	n	---	---	11	11	---	---
Promedio del periodo		35,9	14,5	40,6	15,8	36,5	12,6

Nota 1: (xy) = Día del mes en que ocurre el máximo de concentración diaria.

Nota 2: N = Número de mediciones por mes. Cuando hubo más de 11 indica desarrollo de campaña intensiva de monitoreo.

Nota 3: El calendario de muestreo es el mismo para todas las estaciones.

Llama la atención que los máximos de concentración de MP10 y MP2.5 no sucedan en un mismo día para cada estación, ni tampoco para todas en la misma fecha. Ello indicaría que las fuentes emisoras no actúan de la misma forma sobre todas ellas, o que hay presencia de fuentes locales que afectan a alguna de ellas. En las siguientes figuras se presenta el comportamiento de las concentraciones diarias y mensuales de MP10 y MP2.5 por estación monitora.

Gráfico 3-1: Concentración diaria de MP10 y MP2,5 en estación Playa Brava – Junio 2014 a Abril 2015

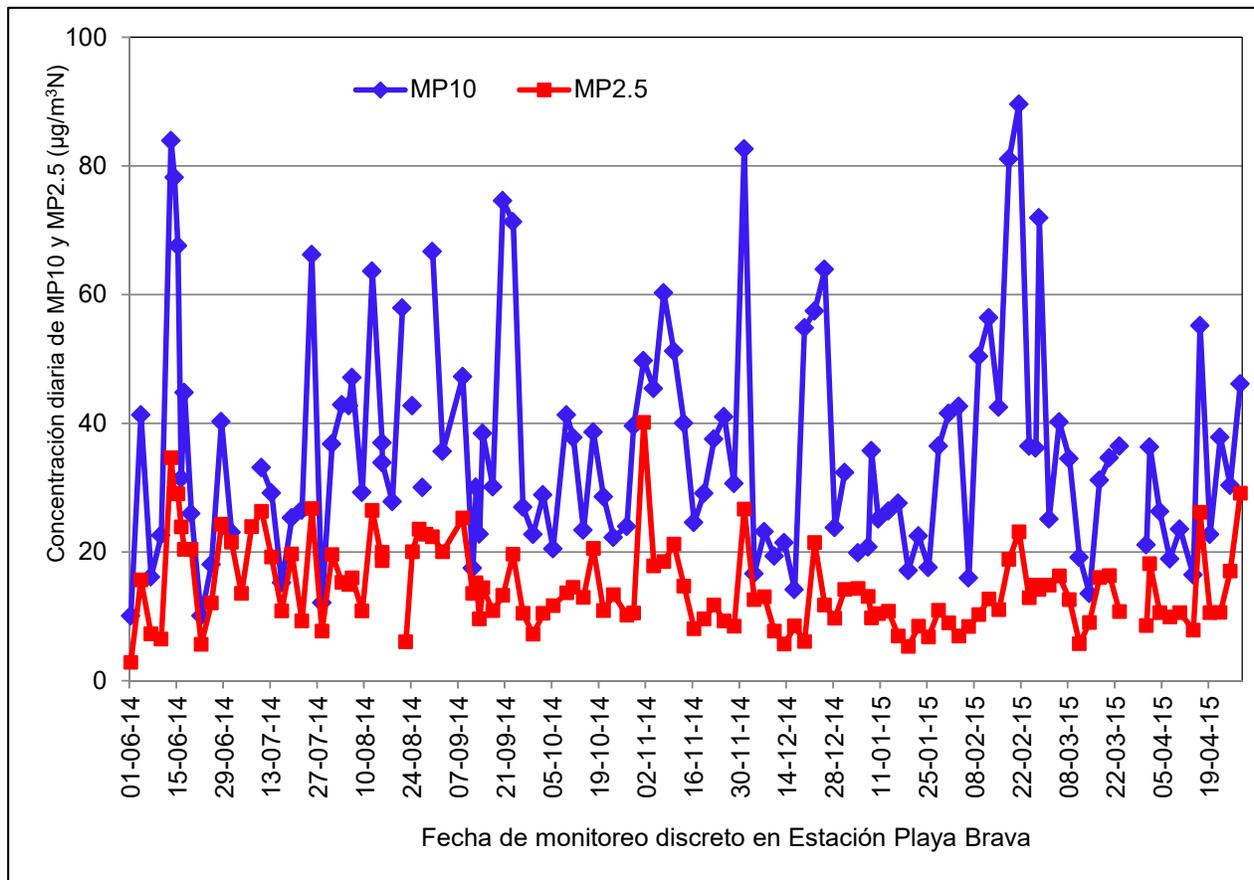
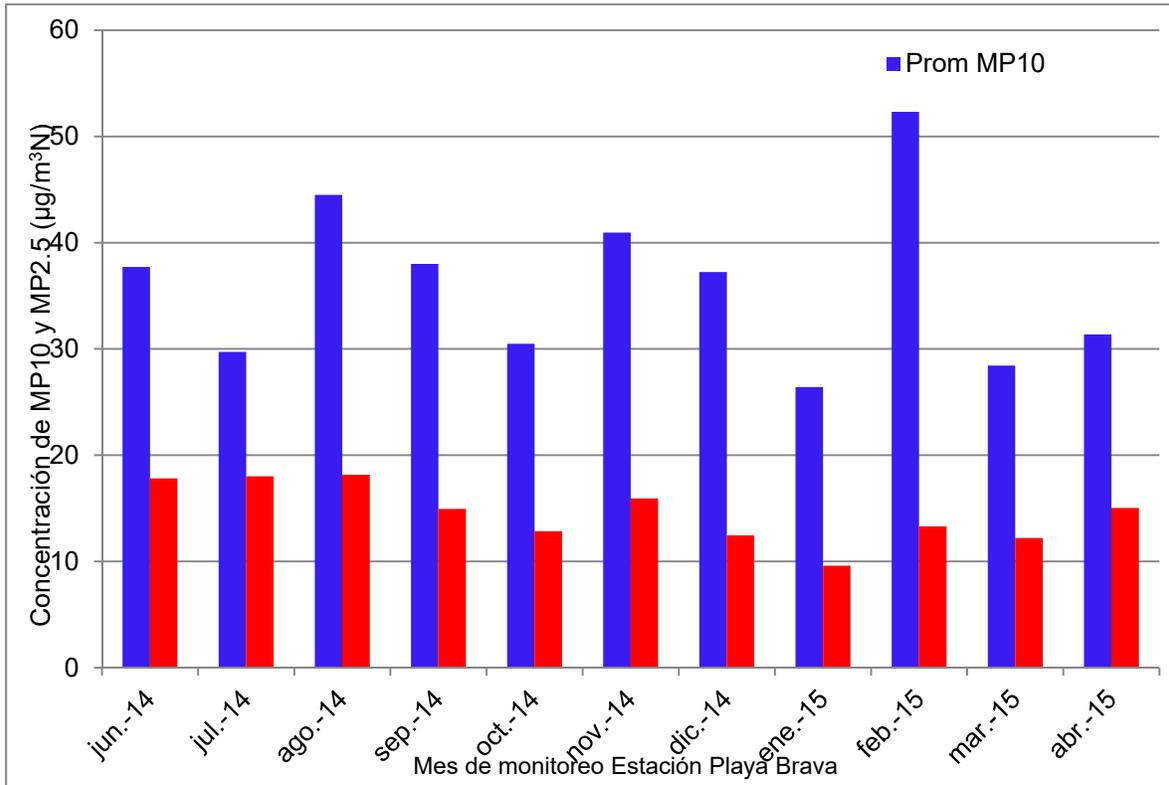


Gráfico 3-2: Promedios mensuales de MP10 y MP2,5 en estación Playa Brava – Junio 2014 a Abril 2015



De los gráficos anteriores se desprende que la concentración de MP10 en la estación Playa Brava, ubicada al sur del área urbana e industrial de Huasco, no presenta una estacionalidad marcada, con un máximo mensual en el mes de febrero que podría estar influenciado por el mayor movimiento de personas en la playa asociado a la época estival, en circunstancias que el siguiente mayor promedio se registró en invierno, concretamente en el mes de agosto. Por otra parte, en el caso del MP2.5, se observa que las mayores concentraciones se presentan en invierno, descendiendo luego en primavera y verano.

Gráfico 3-3: Concentración diaria de MP10 y MP2,5 en estación Población Huasco II – Junio 2014 a Mayo 2015

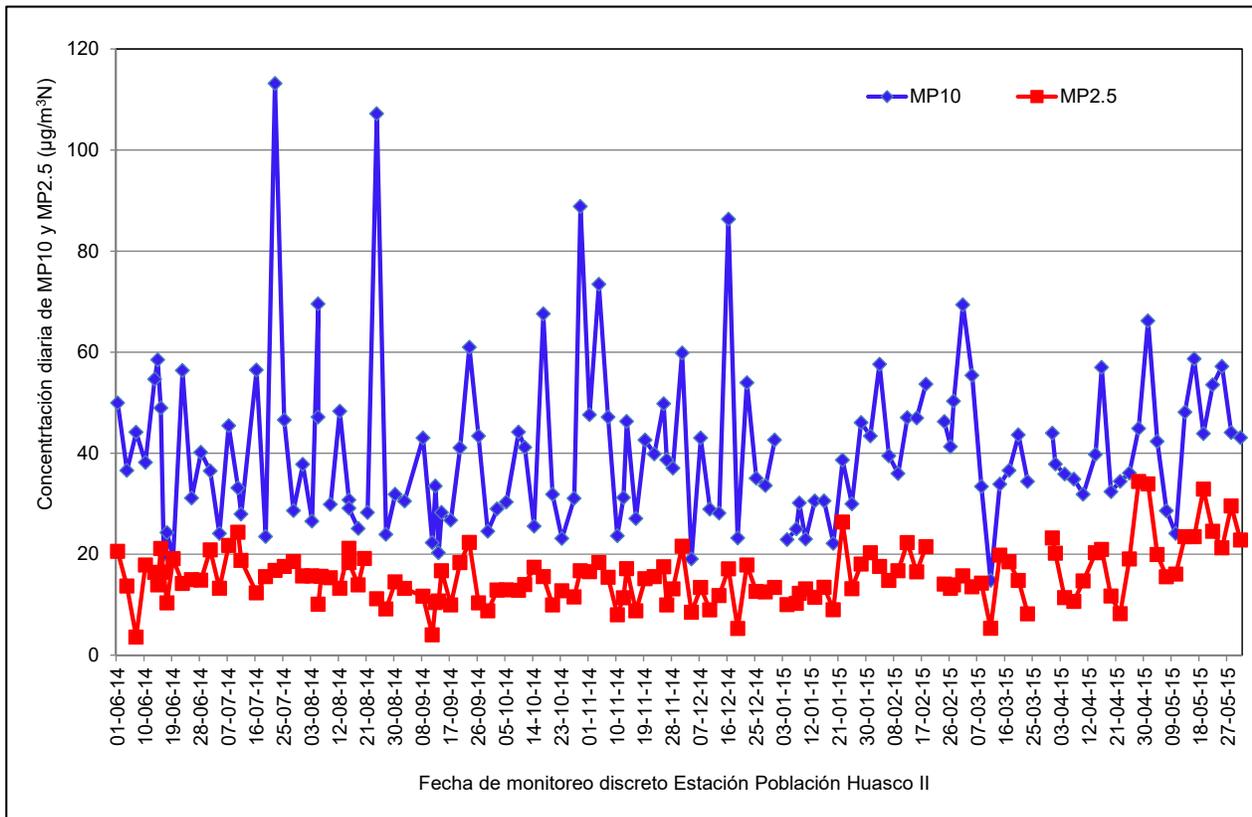
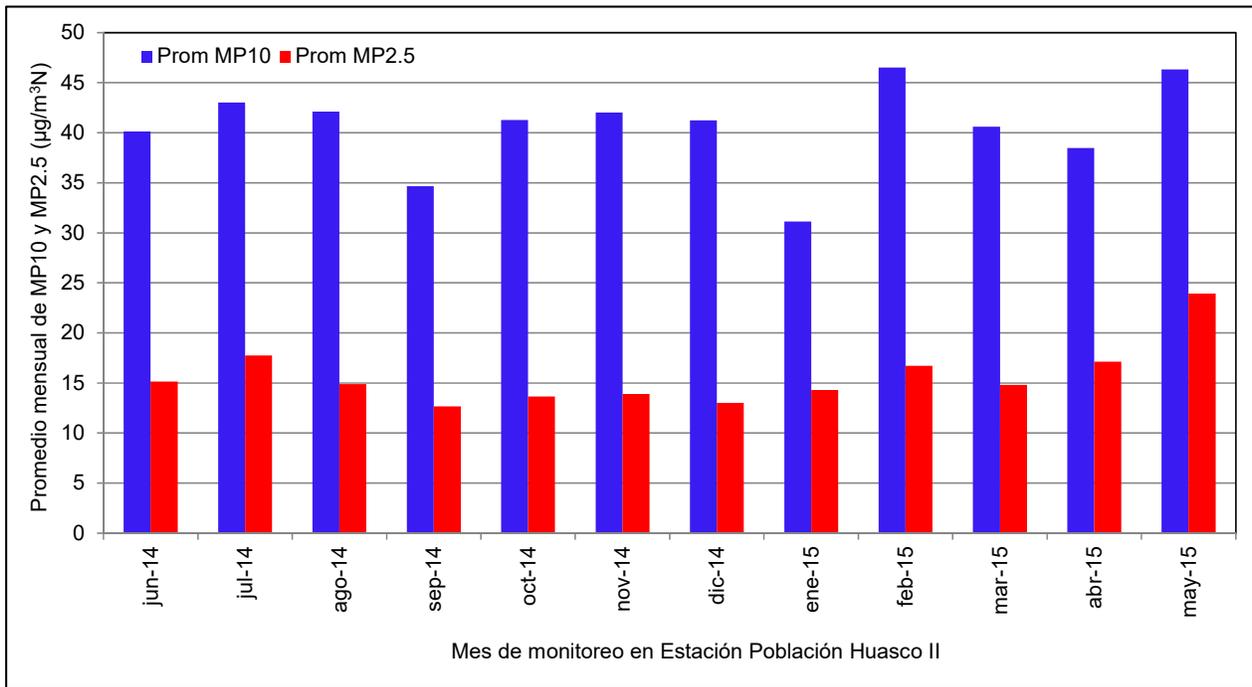


Gráfico 3-4: Promedios mensuales de MP10 y MP2,5 en estación Población Huasco II – Junio 2014 a Mayo 2015



En el caso de la estación Población Huasco II, ubicada en el área urbana de la localidad de Huasco, al igual que en el caso de la estación Playa Brava, no se observa una estacionalidad en la concentración de MP10, repitiéndose el mes de febrero como uno de los dos meses de mayor concentración promedio. Si bien se podría sugerir que el máximo en febrero obedece al hecho que las mayores intensidades de viento que se registran precisamente en verano, favoreciendo la resuspensión de material particulado natural o bien del polvo fino del mineral acopiado en área industrial, resulta ser que precisamente en el mes de enero, igualmente en época estival, se registra el mínimo promedio mensual de MP10 lo cual no permite aseverar la hipótesis anterior.

Con respecto al MP2.5, no se observa una diferencia invierno-verano tan marcada como en Playa Brava, con máximos en mayo, julio y febrero. A partir de la información meteorológica se desprende que las condiciones para la dispersión de emisiones son más favorables en verano, dada la mayor velocidad de viento, pero es precisamente en ese período que se conjugan diversas variables: movimiento de veraneantes, mayor frecuencia de viento desde el suroeste (SO) desde la Planta de Pellets y Playa Brava y mayor frecuencia de vientos desde el oeste (O), coincidente con la localización de la península de Guacolda. Mientras tanto, en invierno, las condiciones para la dispersión son menores debido a una menor velocidad del viento, en circunstancias que el viento proviene principalmente desde el este (E) y este sureste (ESE), es decir del interior del valle. Esto último, si bien no permite descartar una influencia de actividades industriales, sugiere que otras actividades urbanas o en el área rural del valle, como podría ser la calefacción, podrían tener un rol

que no es posible descartar. También podría tener una influencia significativa el Botadero de Desechos Urbanos ubicado al Sur Este de Huasco, en el que se observó la combustión de residuos en visita realizada al sector. Esto se respalda con foto adjunta.

Considerar que la dirección del viento durante el día es aguas arriba en el valle y en la noche es agua abajo.

Figura 3-7: Quema de desechos urbanos en Huasco



Finalmente, en el caso de la estación Olivos de Bellavista, ubicada ya en pleno valle del río Huasco, las concentraciones de MP10 resultan ser mayores en los meses de primavera y verano que en los meses de invierno, igualmente con un máximo en el mes de febrero. Aunque no de forma tan marcada, el mismo comportamiento se observa con MP2.5. En este caso, resalta el gran porcentaje de calmas (velocidad del viento menor a 0,5 m/s) en la zona, el cual asciende a 11,5% del tiempo y la baja velocidad del viento independiente de la época del año, lo que dificulta la resuspensión de polvo, así como la dispersión del material particulado en el aire. Igualmente es posible destacar que en primavera y verano, donde se presentan las mayores concentraciones, los vientos provienen principalmente desde el noroeste (NO) y el oeste noroeste (ONO), direcciones hacia las cuales se

desarrollan actividades agrícolas y movimiento de veraneantes hacia las playas ubicadas al norte de Huasco.

Gráfico 3-5: Concentraciones diarias de MP10 y MP2,5 en estación Olivos de Bellavista – Junio 2014 a Marzo 2015

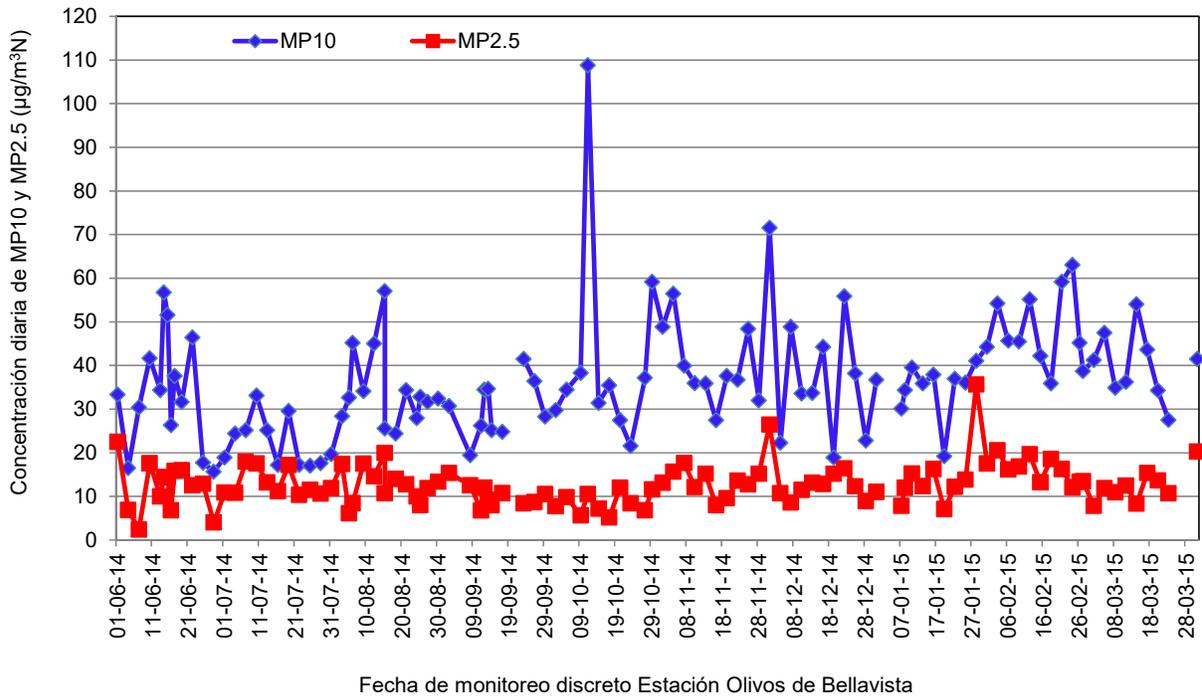
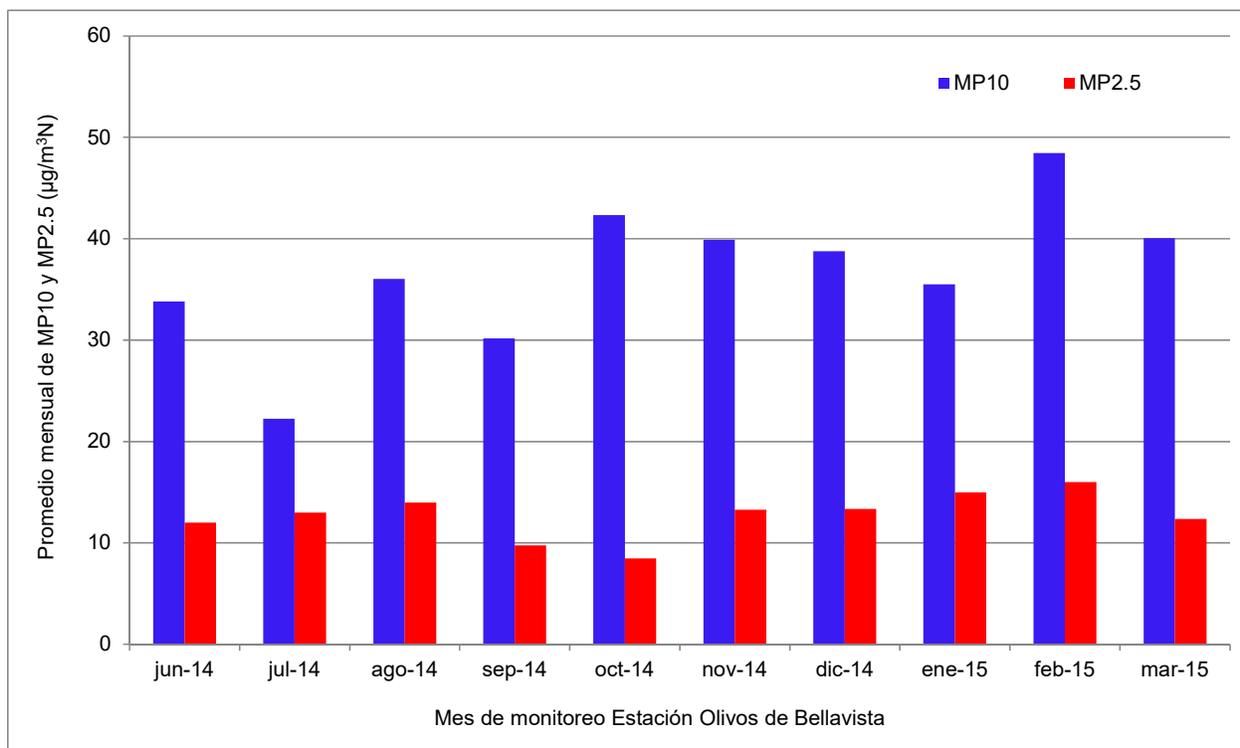


Gráfico 3-6: Promedios mensuales de MP10 y MP2,5 en estación Olivos de Bellavista – Junio 2014 a Marzo 2015



3.2.3 Caracterización química del material particulado

La caracterización química se compone de dos partes, la primera de las cuales considera la determinación de los 51 elementos que permite efectuar la técnica de fluorescencia de rayos X, FRX. A fin de contar con un número de muestras representativo, se efectuó el análisis mensual de tres membranas por estación y tamaño de partícula. El análisis fue desarrollado en el Desert Research Institute, DRI, en Nevada, USA.

Como segunda caracterización está la determinación por cromatografía iónica (CI) de los iones amonio, cloruro, nitrato, potasio, sodio y sulfato. El análisis cuantitativo de iones también fue realizado en el DRI a las mismas muestras caracterizadas por FRX.

Los resultados de la caracterización química del material particulado suspendido en el aire MP10 y MP2,5 se presentan de forma trimestral, buscando discernir entre las distintas estaciones del año.

Previo a la presentación y posterior análisis de resultados es necesario señalar:

- En el caso en que la suma de iones detectados por CI resultó ser mayor a la concentración de material particulado, la totalidad de la muestra fue anulada. Tal es el caso de las muestras del 28 de julio y 12 de agosto de 2014 para MP10 en la estación Playa Brava, del 28 de julio

de 2014 para MP10 en la estación Olivos de Bellavista y del 07 y 16 de junio de 2014 para MP2.5 igualmente en la estación Olivos de Bellavista.

- En el caso que la muestra de un ion o elemento presente en el MP2,5 resulte ser mayor que su símil en el MP10 el dato es igualmente anulado en ambas fracciones.
- Los promedios trimestrales corresponden a los promedios mensuales del período.

3.2.3.1 Trimestre Junio – Agosto 2014

Durante este trimestre se caracterizaron los filtros de las siguientes fechas, siempre buscando tomar un máximo, un mínimo y un valor promedio en la estación Población Huasco II. Las membranas fueron seleccionadas en las mismas fechas en cada una de las estaciones tanto para MP10 como para MP2.5.

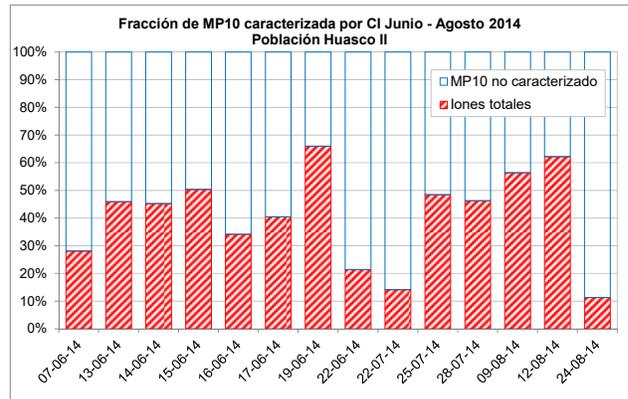
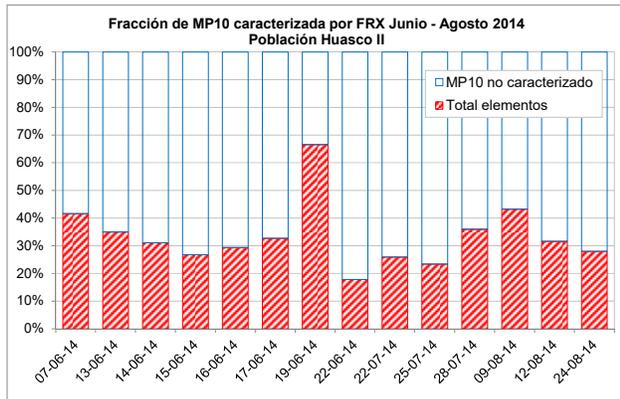
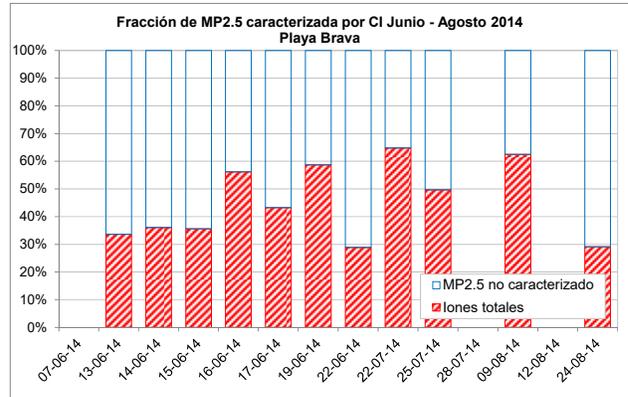
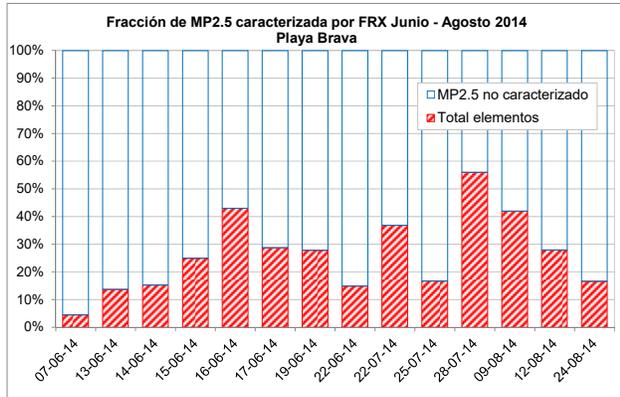
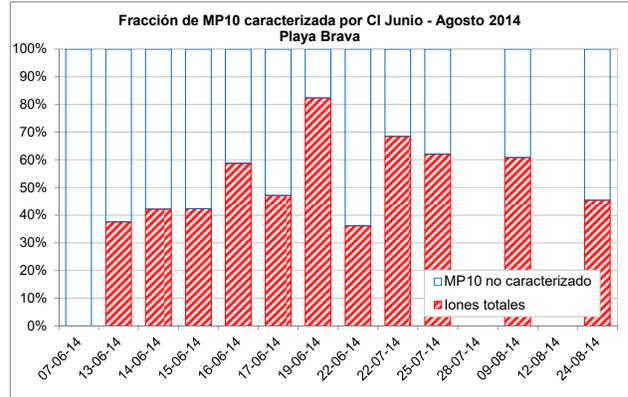
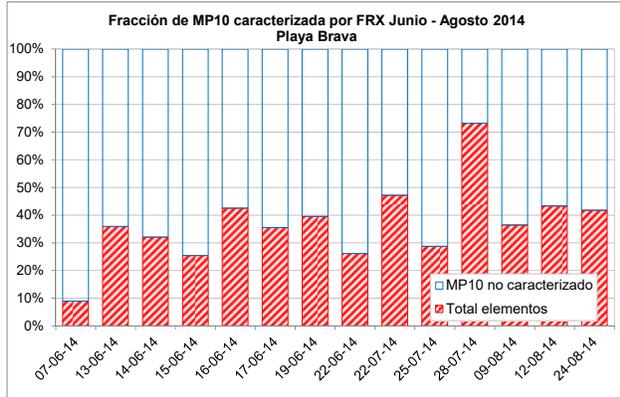
Tabla 3–6: Fechas para las cuales fueron caracterizadas las membranas entre junio y agosto de 2014

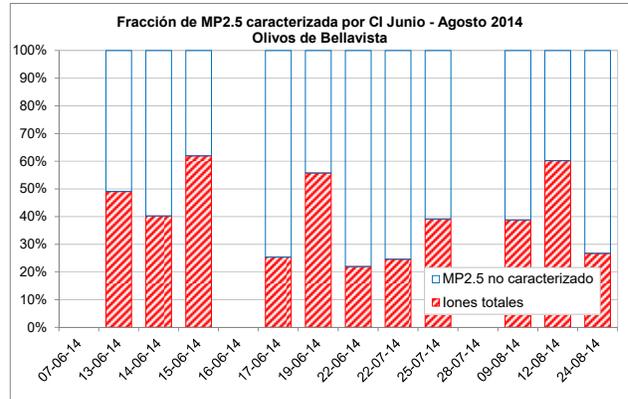
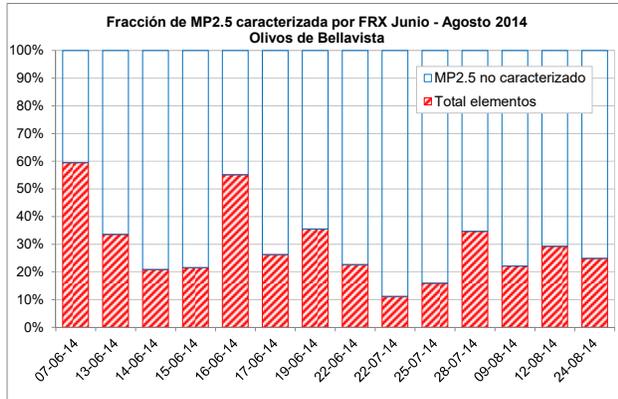
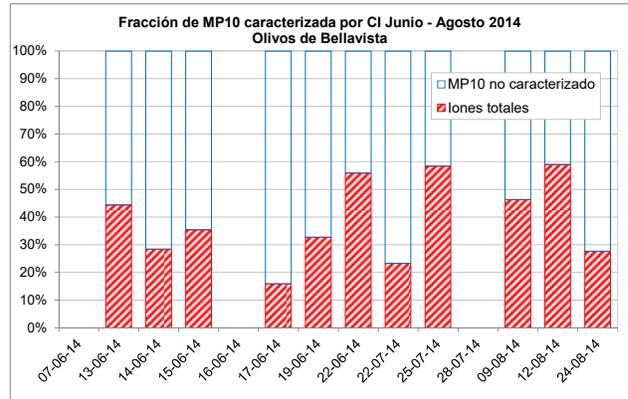
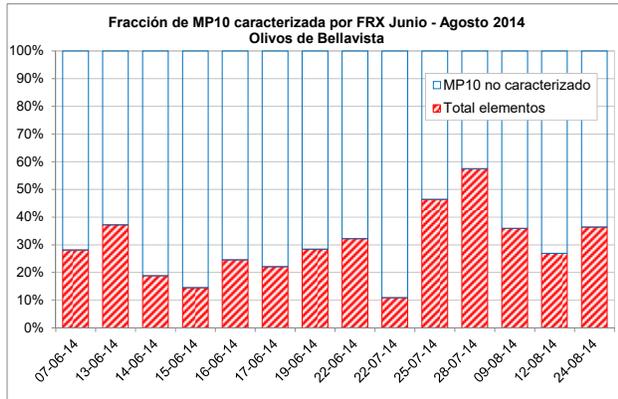
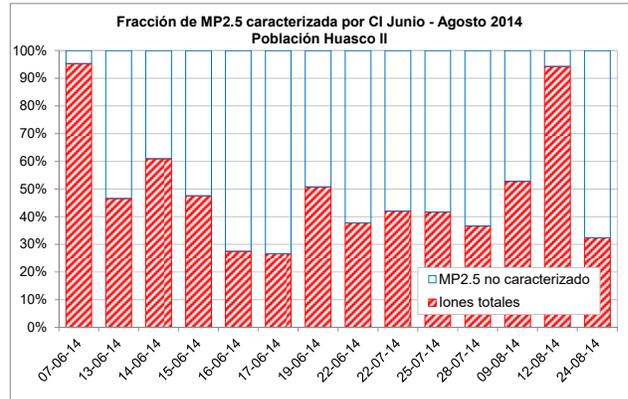
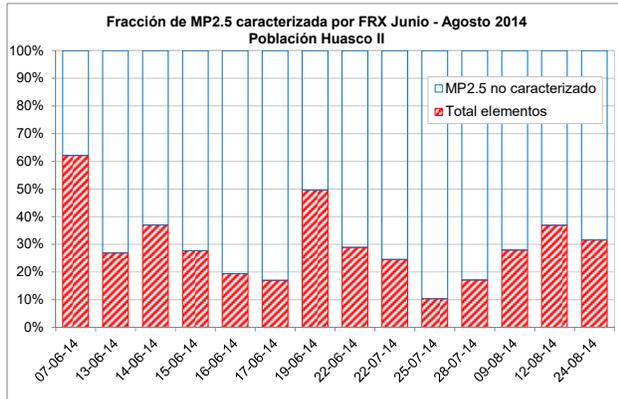
Mes	Fecha
Junio	07-06-14
	13-06-14
	14-06-14
	15-06-14
	16-06-14
	17-06-14
	19-06-14
	22-06-14
Julio	22-07-14
	25-07-14
	28-07-14
Agosto	09-08-14
	12-08-14
	24-08-14

i. Trimestre Junio-Agosto

La fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI se presenta en el Gráfico 3-7 para cada una de las estaciones, tanto para MP10 como para MP2.5.

Gráfico 3-7: Fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI – Junio - Agosto 2014





De lo anterior se desprende que en el caso del MP10, salvo excepciones, no se logra caracterizar más de un 40% del contenido de las membranas, mientras que en el caso del MP2.5 el porcentaje caracterizado es similar.

Por otra parte, en la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2,5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en

la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5). Los valores se presentan en nanogramos⁴ (ng) por metro cúbico normal, facilitando de esta manera la lectura en el caso de elementos presentes en muy baja concentración. Se presentan en primer lugar los iones y luego los 26 elementos más relevantes ya sea por su cantidad o bien por su importancia en análisis de efecto a la salud de las personas.

Tabla 3–7: Caracterización química de material particulado período Jun-Ago 2014

Ión/Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	9259,74	1622,19	7637,55	5274,21	729,83	4544,39	2409,53	234,80	2174,73
NO ₃ ⁻	2228,56	820,76	1407,80	2083,07	699,97	1383,10	1594,44	451,71	1142,73
SO ₄ ²⁻	5787,87	3908,06	1879,82	5217,64	3868,53	1349,11	5473,46	3271,53	2201,93
NH ₄ ⁺	644,83	392,40	252,43	954,52	746,68	207,84	1319,55	626,01	693,54
Na ⁺	5730,49	1693,86	4036,63	3977,45	1006,67	2970,78	2328,52	596,37	1732,15
K ⁺	454,69	265,45	189,24	359,05	231,08	127,97	244,91	142,91	102,00
Cloro	5764,06	1041,12	4722,94	3553,28	633,52	2919,77	1949,13	327,06	1622,07
Sodio	3831,73	1943,47	1888,26	2671,39	1528,19	1143,20	2344,70	1244,06	1100,65
Hierro	1294,15	94,58	1199,57	4304,11	173,15	4130,96	813,02	94,84	718,18
Azufre	2326,25	1617,58	708,67	1770,17	1405,85	364,31	1858,36	1191,44	666,93
Silicio	335,20	26,17	309,03	1029,29	78,20	951,09	686,46	51,18	635,28
Calcio	563,29	121,95	441,34	1500,75	215,46	1285,28	533,19	103,64	429,55
Magnesio	1004,84	390,08	614,76	681,67	190,76	490,91	406,54	127,50	279,04
Aluminio	500,33	170,78	329,56	575,26	158,02	417,25	403,24	108,47	294,77
Potasio	467,28	278,14	189,14	430,54	243,05	187,49	294,87	146,01	148,86
Titanio	23,03	3,12	19,91	58,53	6,96	51,57	30,34	4,04	26,30
Vanadio	6,31	0,97	5,34	18,07	2,01	16,06	2,83	0,08	2,75
Cromo	2,31	1,36	0,96	3,02	1,92	1,09	3,17	2,05	1,12
Manganeso	9,59	1,61	7,98	20,43	2,53	17,90	10,62	1,43	9,19
Níquel	1,18	0,59	0,59	1,48	0,59	0,89	0,91	0,24	0,67
Cobre	14,66	9,09	5,58	15,96	7,76	8,20	11,43	5,99	5,44
Zinc	13,46	8,25	5,22	14,97	10,07	4,89	16,06	7,91	8,14
Arsénico	10,57	6,02	4,56	7,57	6,22	1,35	7,80	4,95	2,86
Selenio	4,09	2,32	1,77	2,57	1,76	0,82	2,77	1,24	1,54
Bromo	32,58	7,14	25,44	14,48	5,27	9,22	9,37	3,29	6,08
Rubidio	2,99	2,16	0,83	3,14	2,09	1,04	1,80	1,01	0,79
Estroncio	8,57	2,73	5,84	10,49	2,27	8,22	5,22	1,45	3,77
Molibdeno	0,53	0,25	0,28	0,77	0,51	0,26	0,37	0,13	0,24
Wolframio	2,72	1,65	1,06	3,19	2,54	0,66	3,70	2,51	1,20
Plomo	7,61	4,01	3,60	5,67	4,46	1,21	4,14	2,77	1,37

⁴ 1 microgramo equivale a 1000 nanogramos.

Ión/Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Mercurio	0,02	0,00	0,02	0,16	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,25	0,11	0,14	0,14	0,06	0,08	0,14	0,00	0,14
25 elementos restantes	23,70	2,62	21,09	28,94	11,00	17,94	16,73	2,55	14,18

Con respecto a los elementos con mayor presencia, en el caso de la estación Playa Brava el 88% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 92% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, K, Mg y S).

Siempre con relación a la estación Playa Brava, en el caso de los lones con mayor presencia, el 86% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 83% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones. Cabe mencionar que los datos de la concentración de lones para los días 28 de Julio y 12 de Agosto fueron borrados ya que la suma total de lones era mayor a la concentración en condiciones normales.

Por otra parte, en la estación Población Huasco II, el 83% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Ca, Cl, Fe, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 86% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Ca, Na y S).

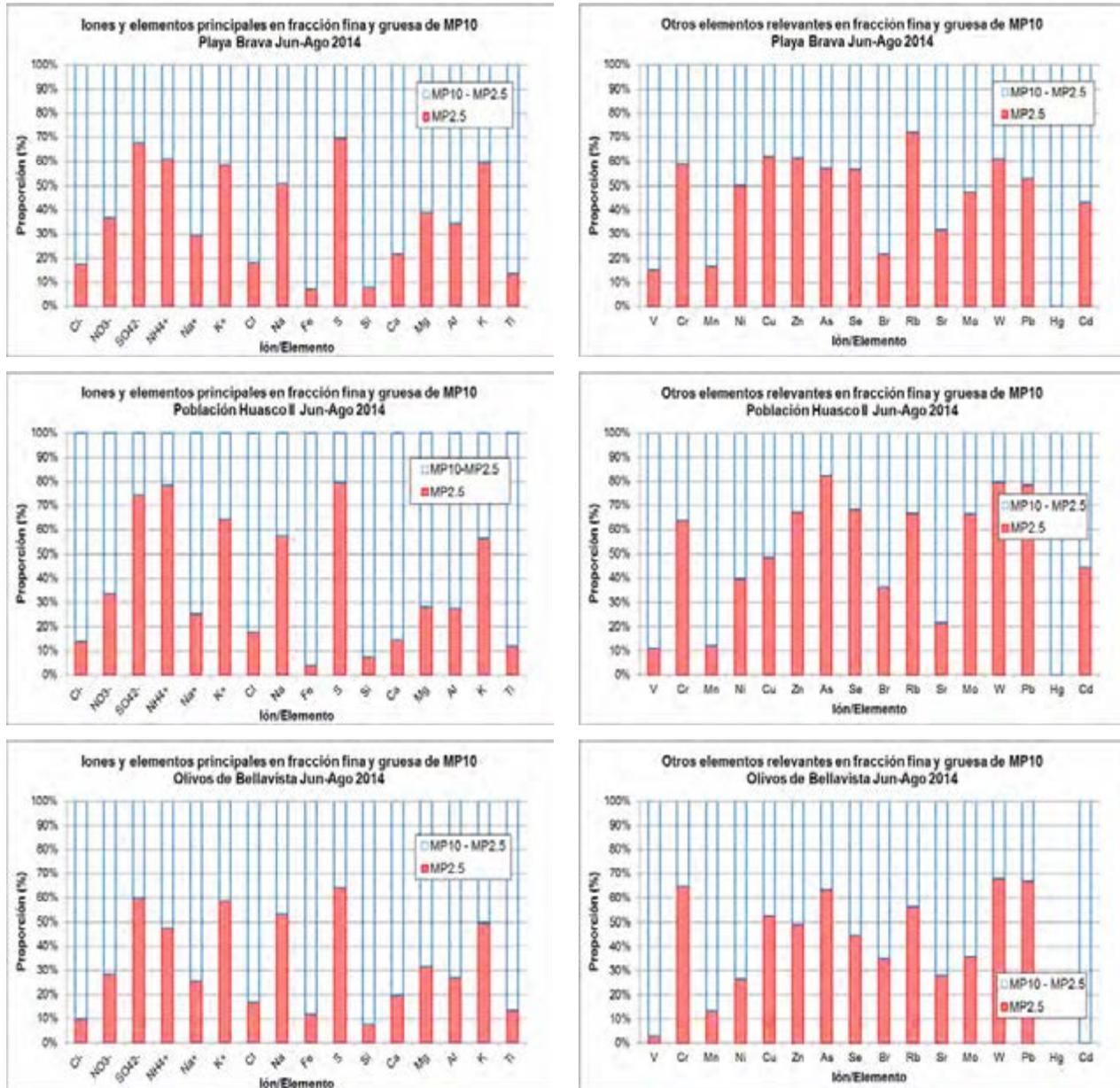
Siempre con respecto a la estación Población Huasco II, el 93% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de cuatro iones (Cloruros, Nitratos, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 77% de la muestra se explica por la presencia de tres iones (Cloruro, Sodio y Sulfato).

Por su parte, en la estación Olivos de Bellavista, el 81% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 88% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

Siempre en el caso de la estación Olivos de Bellavista, el 76% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 84% de la muestra se explica por la presencia de cuatro iones (Amonio, Sodio y Sulfato). Cabe mencionar que los datos de la concentración de lones para el día 28 de Julio fueron borrados ya que la suma total de lones era mayor a la concentración en condiciones normales.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-8: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP entre junio y agosto de 2014



ii. Junio 2014

Durante el mes de Junio de 2014, debido a condiciones meteorológicas poco habituales en la zona que provocaron una intensa lluvia en Huasco (14 mm entre las 00.30 y 07:00 horas del 13 de junio), se efectuó una campaña de monitoreo intensivo, razón por la cual se caracterizaron ocho membranas

para cada una de las fracciones (MP10, MP2.5), cuyos resultados se presentan a continuación para cada una de las estaciones.

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–8: Caracterización química de material particulado Junio 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m³N)	MP2.5 (ng/m³N)	MP10- MP2.5 (ng/m³N)	MP10 (ng/m³N)	MP2.5 (ng/m³N)	MP10- MP2.5 (ng/m³N)	MP10 (ng/m³N)	MP2.5 (ng/m³N)	MP10- MP2.5 (ng/m³N)
Cl ⁻	5895,94	1236,74	4659,20	4699,77	715,01	3984,76	2301,29	216,08	2085,21
NO ₃ ⁻	2125,20	743,80	1381,40	2143,92	757,01	1386,91	1819,26	681,06	1138,20
SO ₄ ²⁻	6728,97	5321,36	1407,61	4967,26	3597,65	1369,61	7153,54	3774,83	3378,71
NH ₄ ⁺	932,22	782,31	149,91	983,04	550,98	432,06	2126,88	628,79	1498,09
Na ⁺	3921,49	1428,08	2493,41	3486,06	809,87	2676,19	2309,08	585,32	1723,75
K ⁺	608,07	466,46	141,61	440,21	329,56	110,64	310,59	198,83	111,77
Cloro	5009,12	1104,78	3904,34	3439,35	751,98	2687,38	1974,34	321,50	1652,84
Sodio	3404,59	1952,39	1452,20	2884,70	1912,86	971,84	2938,47	1521,03	1417,44
Hierro	1109,71	108,43	1001,28	2013,67	126,05	1887,62	705,85	80,99	624,86
Azufre	2197,92	1689,93	507,99	1845,44	1429,15	416,30	2327,96	1306,57	1021,39
Silicio	196,33	21,22	175,11	669,21	70,63	598,59	566,26	37,57	528,69
Calcio	474,48	117,99	356,49	655,36	139,89	515,47	400,24	102,84	297,41
Magnesio	1053,28	381,67	671,61	584,70	284,35	300,35	436,72	183,05	253,67
Aluminio	419,03	191,09	227,94	480,08	174,52	305,56	355,88	106,39	249,49
Potasio	491,63	413,00	78,63	439,42	321,54	117,88	305,37	190,53	114,84
Titanio	14,83	3,14	11,69	34,36	7,72	26,64	24,66	4,77	19,89
Vanadio	5,06	1,38	3,69	8,09	1,49	6,60	2,31	0,11	2,21
Cromo	2,19	1,28	0,91	1,85	1,36	0,49	2,87	2,09	0,79
Manganeso	8,11	1,99	6,11	13,95	2,22	11,73	9,30	2,50	6,80
Níquel	0,78	0,19	0,59	1,05	0,21	0,84	0,82	0,33	0,50
Cobre	13,32	10,00	3,32	14,94	8,14	6,79	12,60	6,73	5,86
Zinc	12,75	10,13	2,62	15,34	11,63	3,71	19,00	9,91	9,09
Arsénico	10,50	8,52	1,98	9,62	7,87	1,75	10,96	7,26	3,70
Selenio	3,62	2,70	0,92	3,26	2,25	1,01	4,03	2,25	1,78
Bromo	25,91	5,26	20,66	14,34	4,16	10,18	9,03	3,26	5,77
Rubidio	4,23	3,31	0,92	3,54	2,74	0,80	2,28	1,64	0,64
Estroncio	6,97	2,07	4,90	6,90	2,56	4,34	4,73	1,42	3,30
Molibdeno	0,11	0,00	0,11	0,28	0,12	0,16	0,06	0,00	0,06
Wolframio	2,08	1,26	0,81	2,97	2,45	0,52	2,06	1,06	1,00
Plomo	4,60	3,95	0,65	5,15	5,02	0,13	4,97	3,32	1,65
Mercurio	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,74	0,32	0,42	0,32	0,19	0,13	0,11	0,00	0,11

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
25 elementos restantes	15,48	1,96	13,52	13,71	1,04	12,68	5,45	1,20	4,25

Con respecto a los elementos con mayor abundancia, en el caso de la estación Playa Brava, el 88% del total de los elementos captados por FRX en MP10 esta explicado por cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos mayoritarios en MP2.5, el 92% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

Con respecto a los iones medidos en la estación Playa Brava, el 82% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfatos). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 80% de la muestra se explica por la presencia de los mismos tres iones.

En el caso de la estación Población Huasco II, el 82% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por FRX en MP2.5, el 89% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

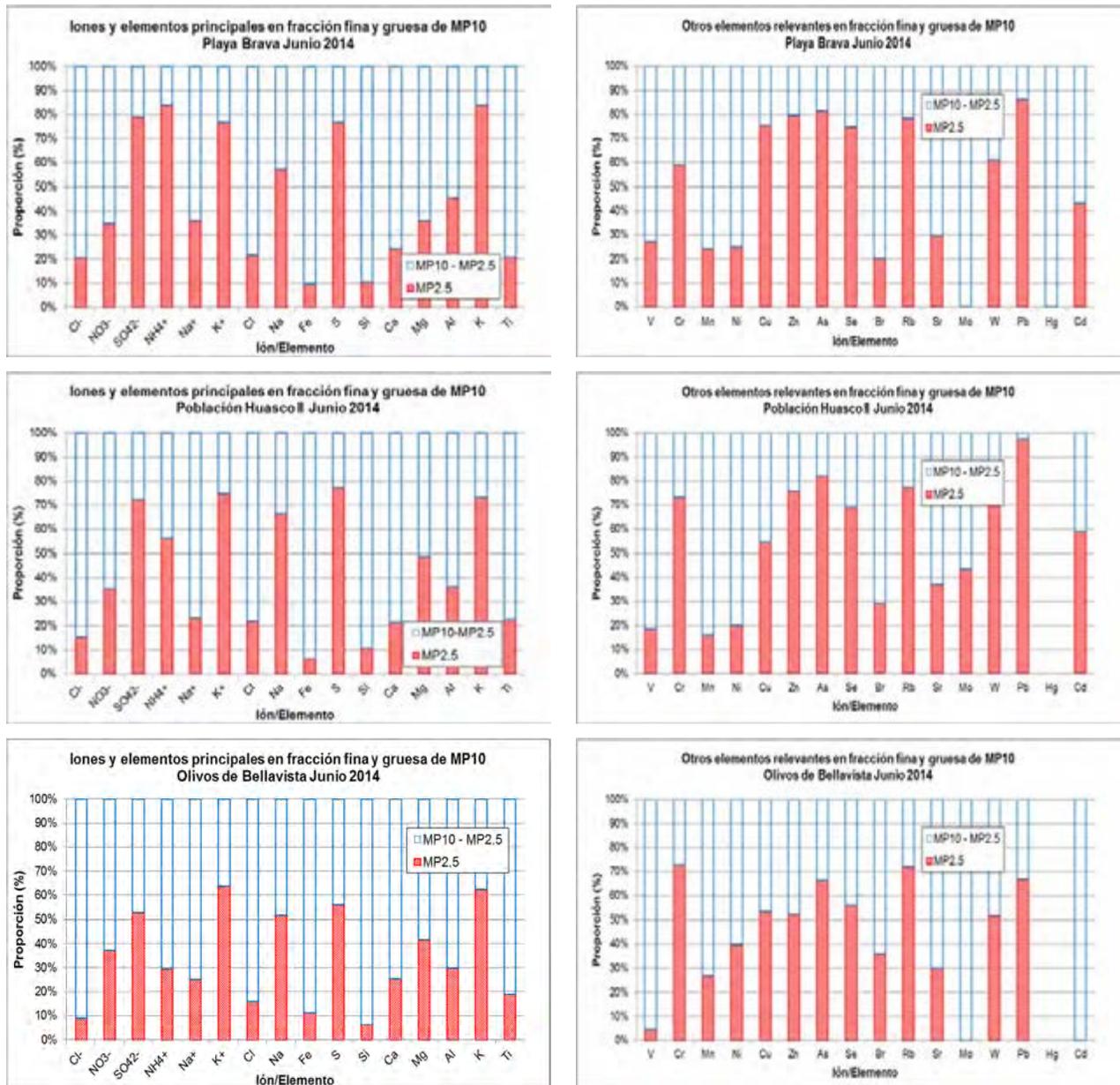
En el caso de los iones, siempre con respecto a la estación Población Huasco II, el 91% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de cuatro iones (Cloruros, Nitratos, Sodio y Sulfatos). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 76% de la muestra se explica por la presencia de tres iones (Nitrato, Sodio y Sulfatos).

Con respecto a la estación Olivos de Bellavista, el 84% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

En el caso de los iones con mayor presencia en la estación Olivos de Bellavista, el 73% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfatos). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 84% de la muestra se explica por la presencia de tres iones (Amonio, Nitratos y Sulfatos).

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-9: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en junio de 2014



iii. **Julio 2014**

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–9: Caracterización química de material particulado Julio 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	12402,03	2253,24	10148,79	5182,80	593,02	4589,78	1334,98	125,65	1209,32
NO ₃ ⁻	3100,80	1210,12	1890,68	2129,38	771,04	1358,34	875,52	197,65	677,87
SO ₄ ²⁻	6075,79	3535,37	2540,42	4807,62	3729,87	1077,76	2968,29	2481,79	486,50
NH ₄ ⁺	879,82	340,51	539,32	881,62	778,90	102,72	878,25	590,21	288,04
Na ⁺	7214,42	2345,18	4869,24	4038,58	1083,84	2954,74	1271,69	352,95	918,74
K ⁺	342,96	109,89	233,08	204,50	92,51	111,99	78,08	64,28	13,80
Cloro	5127,68	1207,23	3920,46	3254,44	470,28	2784,17	1545,66	171,73	1373,93
Sodio	3291,18	1533,26	1757,92	2493,93	1232,04	1261,88	1737,83	774,41	963,42
Hierro	603,67	63,36	540,31	5579,15	174,69	5404,46	382,91	48,52	334,39
Azufre	2038,39	1523,29	515,11	1526,42	1322,94	203,48	1397,39	1084,69	312,69
Silicio	268,30	34,56	233,74	1150,12	56,08	1094,05	340,15	17,68	322,47
Calcio	422,61	135,10	287,51	1906,13	216,86	1689,27	318,14	55,59	262,54
Magnesio	892,00	453,18	438,81	583,16	149,64	433,53	389,81	84,31	305,50
Aluminio	432,81	160,37	272,44	596,98	117,10	479,88	275,00	74,42	200,58
Potasio	253,02	102,81	150,21	319,30	98,95	220,35	147,48	54,44	93,04
Titanio	18,24	3,54	14,70	70,75	6,18	64,57	19,29	1,34	17,95
Vanadio	2,21	0,17	2,04	23,56	1,87	21,69	0,70	0,00	0,70
Cromo	1,55	1,20	0,35	4,06	2,09	1,97	2,97	2,05	0,91
Manganeso	6,87	1,64	5,23	21,62	2,69	18,94	5,73	0,04	5,69
Níquel	0,93	0,25	0,68	1,29	0,54	0,75	0,63	0,19	0,44
Cobre	13,82	10,53	3,29	20,03	7,66	12,37	7,25	4,83	2,43
Zinc	10,91	6,90	4,01	14,51	9,05	5,46	11,27	5,11	6,16
Arsénico	9,02	5,87	3,15	7,58	6,83	0,76	3,12	2,47	0,65
Selenio	3,44	2,36	1,08	2,55	2,06	0,49	2,04	0,67	1,37
Bromo	27,96	8,57	19,39	14,03	6,22	7,81	5,75	1,50	4,25
Rubidio	0,51	0,33	0,18	1,78	0,44	1,34	0,86	0,33	0,52
Estroncio	7,50	3,08	4,42	11,84	1,67	10,17	3,33	0,75	2,57
Molibdeno	0,11	0,00	0,11	0,98	0,66	0,33	0,24	0,16	0,08
Wolframio	4,58	3,70	0,88	4,65	4,40	0,25	3,39	1,72	1,67
Plomo	5,20	3,67	1,53	5,75	3,42	2,33	2,95	1,25	1,69
Mercurio	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	21,45	2,73	18,72	50,62	17,49	33,13	19,11	2,37	16,73

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Playa Brava, el 89% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 93% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S).

Siempre con relación a la estación Playa Brava, el 86% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 83% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones. Cabe mencionar que los datos de la concentración de Iones para el día 28 de Julio fueron borrados ya que la suma total de Iones era mayor a la concentración de MP10 en condiciones normales.

Con respecto a la estación Población Huasco II, el 90% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de seis elementos (Ca, Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 87% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Ca, Cl, Fe, Na y S).

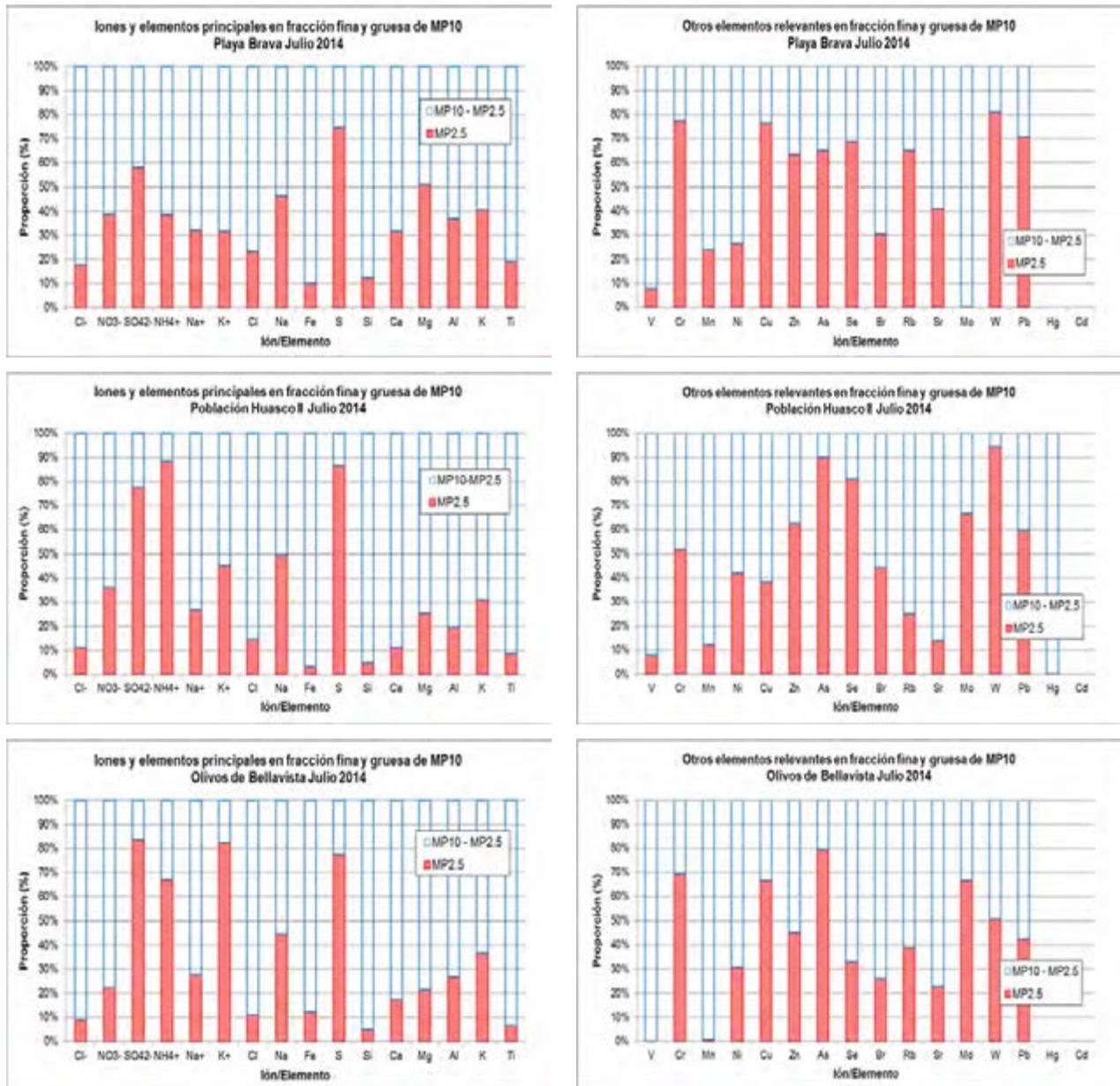
Siempre en la estación Población Huasco II, el 81% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cuatro iones (Amonio, Nitrato, Sodio y Sulfatos).

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Olivos de Bellavista, el 82% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Si, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 85% de la muestra se explica por la presencia de tres elementos (Cl, Na y S).

Siempre en el caso de la estación Olivos de Bellavista, el 75% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfato y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de tres iones (Amonio, Sodio y Sulfatos).

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-10: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en julio de 2014



iv. **Agosto 2014**

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–10: Caracterización química de material particulado Agosto 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	9481,23	1376,58	8104,65	5940,07	881,44	5058,63	3592,34	362,68	3229,66
NO ₃ ⁻	1459,69	508,35	951,34	1975,92	571,87	1404,05	2088,53	476,41	1612,11
SO ₄ ²⁻	4558,86	2867,44	1691,42	5878,05	4278,08	1599,97	6298,56	3557,97	2740,59
NH ₄ ⁺	122,44	54,38	68,06	998,90	910,16	88,74	953,52	659,03	294,50
Na ⁺	6055,57	1308,33	4747,24	4407,72	1126,29	3281,43	3404,79	850,84	2553,95
K ⁺	413,03	220,00	193,03	432,43	271,17	161,27	346,06	165,63	180,43
Cloro	7155,39	811,36	6344,03	3966,05	678,30	3287,75	2327,38	487,95	1839,43
Sodio	4799,42	2344,75	2454,67	2635,54	1439,65	1195,89	2357,81	1436,73	921,08
Hierro	2169,08	111,97	2057,11	5319,51	218,70	5100,81	1350,30	155,01	1195,29
Azufre	2742,44	1639,54	1102,91	1938,63	1465,48	473,16	1849,75	1183,05	666,70
Silicio	540,98	22,73	518,25	1268,52	107,89	1160,63	1152,98	98,29	1054,70
Calcio	792,78	112,77	680,01	1940,75	289,64	1651,11	881,18	152,48	728,70
Magnesio	1069,24	335,38	733,86	877,14	138,29	738,85	393,08	115,14	277,94
Aluminio	649,16	160,87	488,29	648,73	182,43	466,30	578,82	144,59	434,24
Potasio	657,18	318,60	338,58	532,89	308,65	224,24	431,75	193,05	238,70
Titanio	36,03	2,68	33,35	70,49	6,98	63,51	47,08	6,02	41,06
Vanadio	11,65	1,36	10,29	22,55	2,68	19,88	5,48	0,13	5,36
Cromo	3,19	1,58	1,61	3,15	2,33	0,82	3,67	2,01	1,66
Manganeso	13,79	1,20	12,60	25,73	2,69	23,04	16,84	1,75	15,09
Níquel	1,83	1,33	0,50	2,11	1,02	1,09	1,29	0,20	1,08
Cobre	16,85	6,73	10,13	12,91	7,48	5,43	14,45	6,42	8,03
Zinc	16,73	7,72	9,01	15,05	9,55	5,51	17,89	8,71	9,18
Arsénico	12,20	3,66	8,54	5,49	3,96	1,54	9,34	5,10	4,24
Selenio	5,21	1,90	3,31	1,91	0,97	0,94	2,25	0,79	1,47
Bromo	43,87	7,59	36,28	15,09	5,42	9,67	13,34	5,11	8,23
Rubidio	4,23	2,84	1,39	4,09	3,10	1,00	2,27	1,06	1,21
Estroncio	11,23	3,02	8,21	12,75	2,58	10,17	7,60	2,17	5,43
Molibdeno	1,38	0,76	0,62	1,06	0,77	0,29	0,82	0,24	0,58
Wolframio	1,50	0,00	1,50	1,94	0,75	1,19	5,66	4,74	0,92
Plomo	13,04	4,42	8,61	6,12	4,95	1,17	4,51	3,75	0,76
Mercurio	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	0,29	0,00	0,29
25 elementos restantes	34,19	3,17	31,02	22,48	14,48	8,01	25,65	4,09	21,56

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Playa Brava, el 86% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 92% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

En el caso de los iones y siempre con respecto a la estación Playa Brava, el 91% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfato y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 88% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones. Cabe mencionar que los datos de la concentración de iones para el día 12 de Agosto fueron borrados ya que la suma total de iones era mayor a la concentración en condiciones normales.

En el caso de la estación Población Huasco II, el 88% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de seis elementos (Ca, Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 85% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Ca, Cl, K, Na y S).

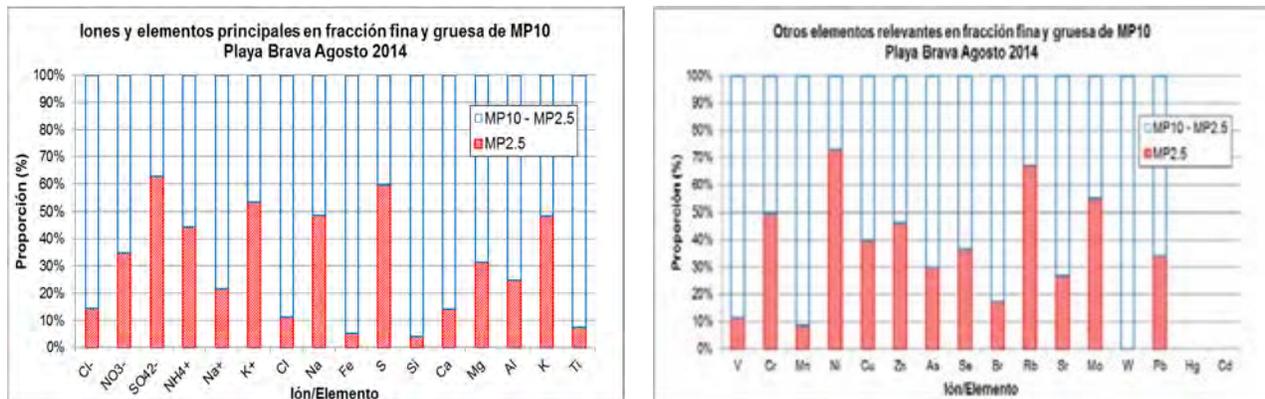
Siempre en la estación Población Huasco II, el 83% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cuatro iones (Cloruros, Amonio, Sodio y Sulfato).

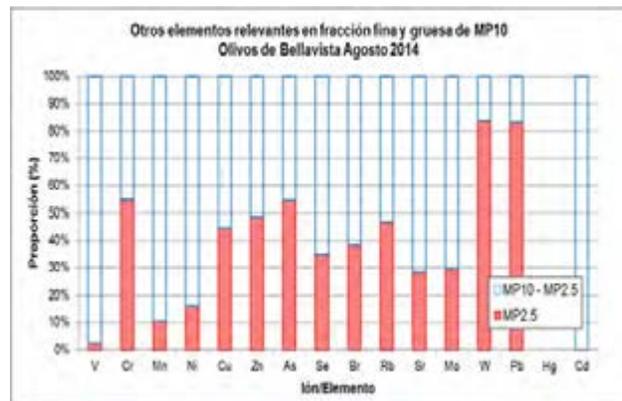
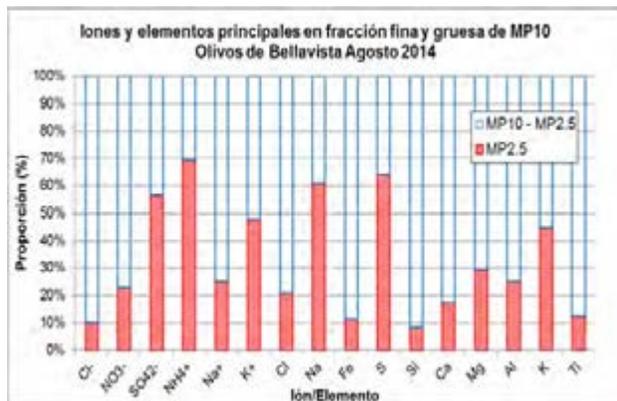
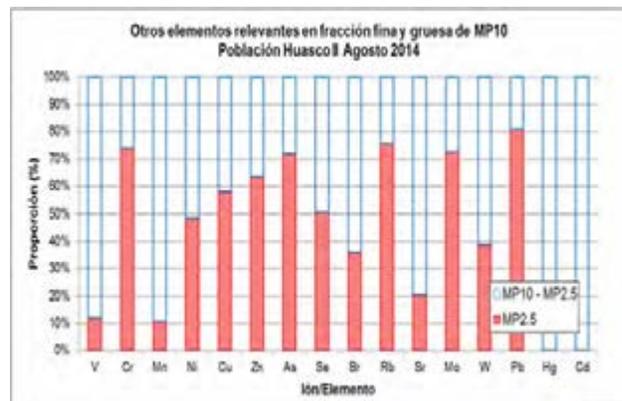
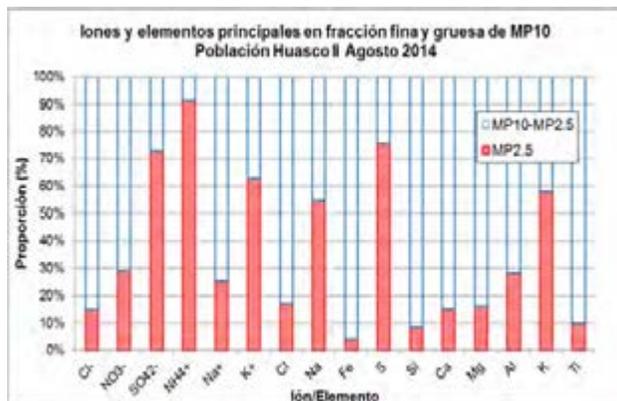
Con respecto a la estación Olivos de Bellavista, el 79% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 86% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Fe, Cl, K, Na y S).

Siempre en la estación Olivos de Bellavista, el 92% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de cuatro iones (Nitrito, Cloruros, Sulfato y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 83% de la muestra se explica por la presencia de cuatro iones (Amonio, Sodio y Sulfato).

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-11: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en agosto de 2014





3.2.3.2 Trimestre Septiembre – Noviembre 2014

Durante este trimestre se caracterizaron los filtros de las siguientes fechas, siempre buscando tomar un máximo, un mínimo y un valor promedio en la estación Población Huasco II. Las membranas fueron seleccionadas en las mismas fechas en cada una de las estaciones tanto para MP10 como para MP2.5.

Tabla 3–11: Fechas para las cuales fueron caracterizadas las membranas entre septiembre y noviembre de 2014

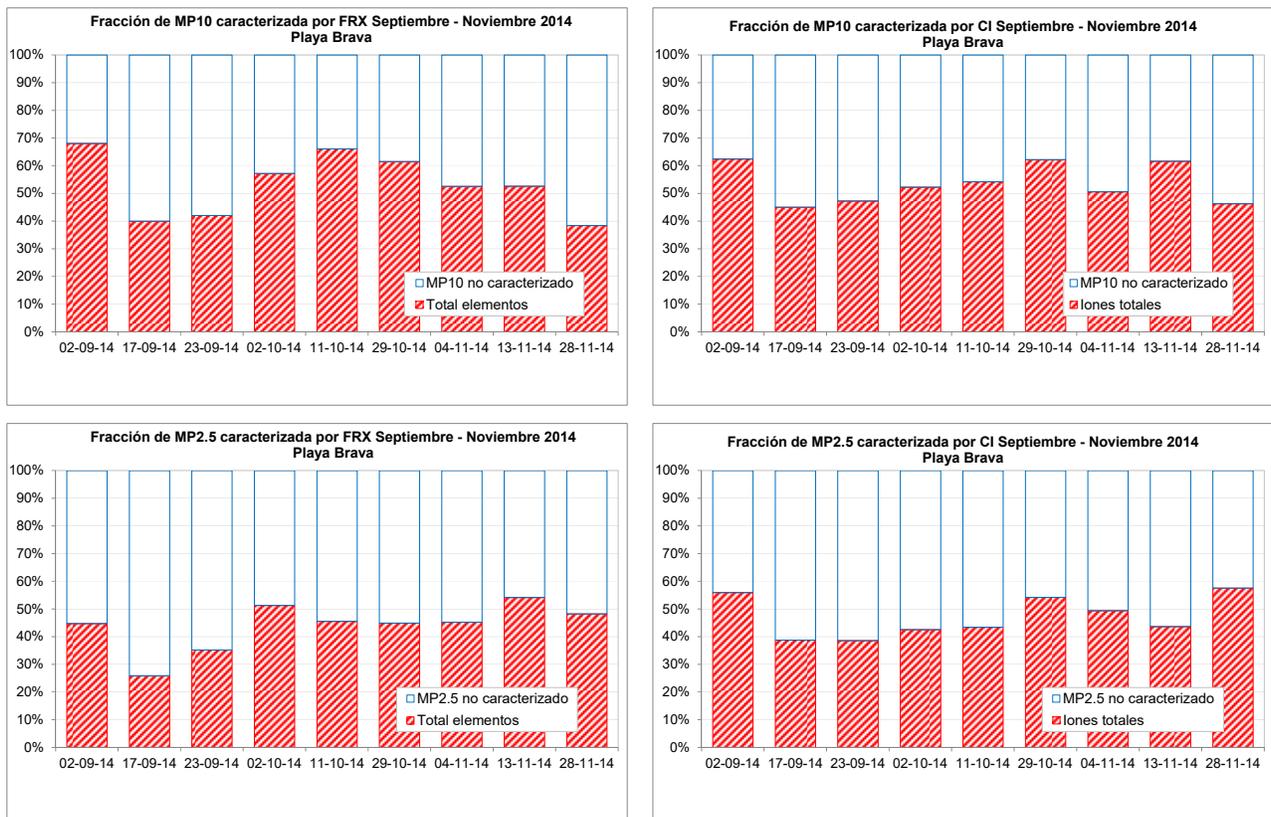
Mes	Fecha
Septiembre	02-09-14
	17-09-14
	23-09-14
Octubre	02-10-14
	11-10-14
	29-10-14
Noviembre	04-11-14
	13-11-14

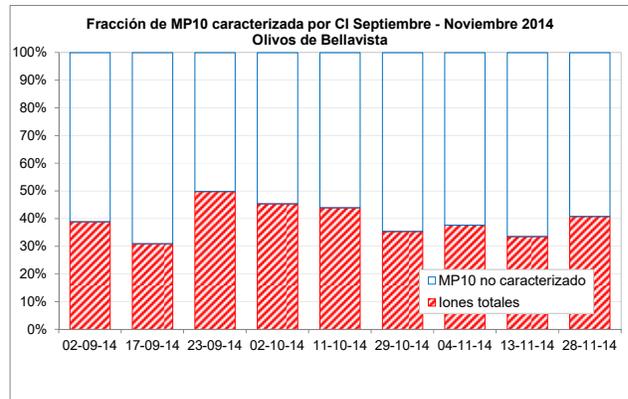
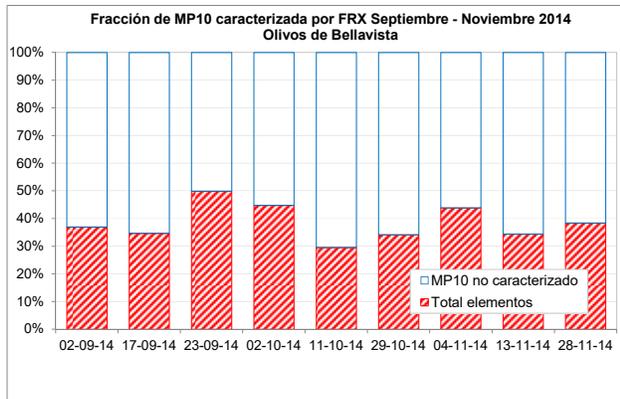
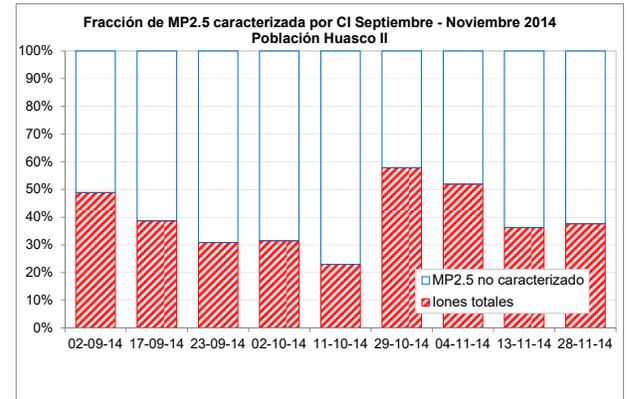
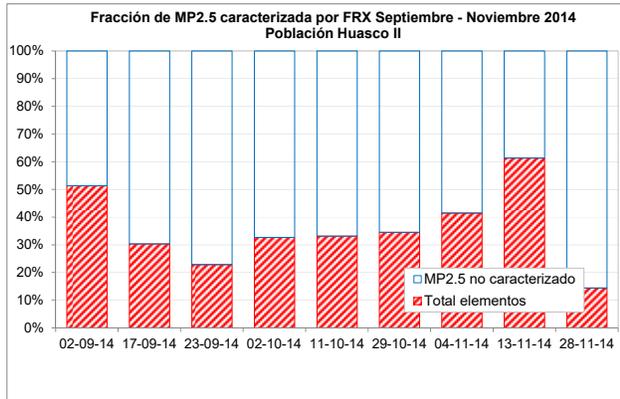
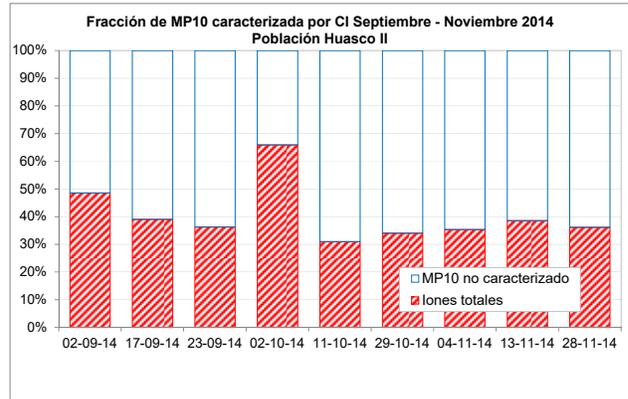
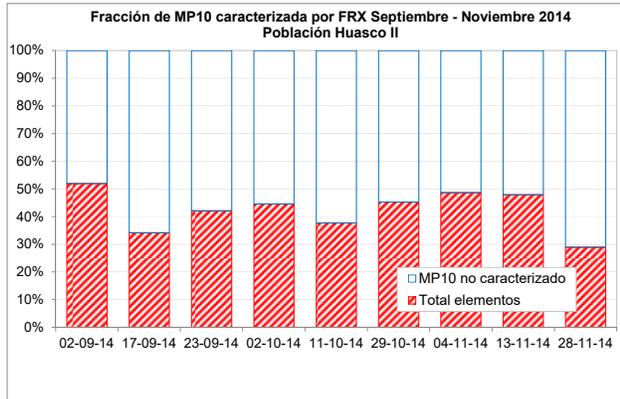
Mes	Fecha
	28-11-14

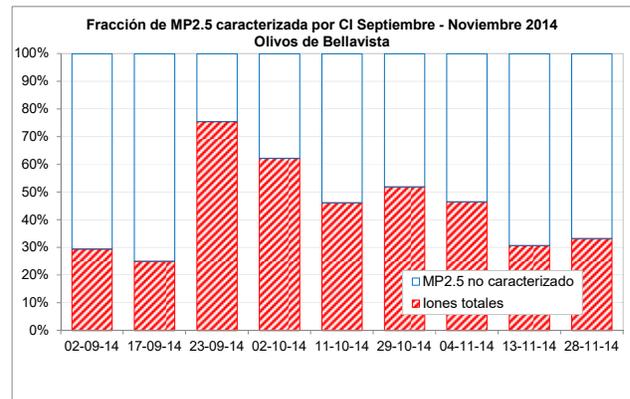
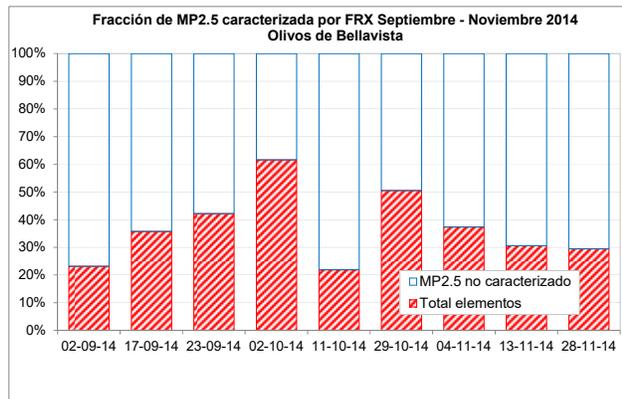
i. Trimestre Septiembre – Noviembre 2014

La fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI se presenta en el Gráfico 3-12 para cada una de las estaciones, tanto para MP10 como para MP2.5.

Gráfico 3-12: Fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI – Septiembre - Noviembre 2014







De lo anterior se desprende que en el caso del MP10, salvo excepciones, no se logra caracterizar más del 40% del contenido de las membranas, porcentaje que es similar en el caso del MP2.5. Es destacable el hecho que en este período (primavera), la fracción caracterizada en el caso del MP10 es mayor que su símil para la época invernal.

Por otra parte, en la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5). Los valores se presentan en nanogramos⁵ (ng) por metro cúbico normal, facilitando de esta manera la lectura en el caso de elementos presentes en muy baja concentración. Se presentan en primer lugar los iones y luego los 26 elementos más relevantes ya sea por su cantidad o bien por su importancia en análisis de efecto a la salud de las personas.

Tabla 3–12: Caracterización química de material particulado período Sep-Nov 2014

Ión/Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10-MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10-MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10-MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl-	8926,77	1234,71	7692,06	7813,02	1285,71	6527,31	5386,42	822,67	4563,76
NO3-	1172,00	422,89	749,10	1348,49	504,10	844,39	1633,26	421,10	1212,16
SO42-	4280,36	2907,46	1372,90	4130,93	2584,22	1546,72	6294,31	2420,84	3873,47
NH4+	456,88	351,46	105,42	366,50	319,23	47,27	786,17	399,00	387,17
Na+	6059,35	1323,74	4735,61	4855,74	1307,47	3548,28	4400,08	970,46	3429,62
K+	458,73	270,77	187,96	583,87	418,64	165,24	399,27	202,44	196,83
Cloro	7126,37	1022,03	6104,34	5482,74	1115,38	4367,35	3849,74	638,97	3210,78
Sodio	8181,48	3767,63	4413,86	6139,47	3688,92	2450,55	5987,08	2556,34	3430,73
Hierro	839,96	53,47	786,49	4317,77	156,18	4161,59	1561,51	116,64	1444,87

⁵ 1 microgramo equivale a 1000 nanogramos.

Ión/Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Azufre	1595,62	1077,76	517,86	1449,38	1082,80	366,59	2053,08	937,13	1115,95
Silicio	260,77	14,74	246,03	873,41	52,06	821,35	1191,06	88,35	1102,71
Calcio	419,65	77,35	342,29	1022,32	135,19	887,13	944,78	121,30	823,48
Magnesio	1391,21	495,27	895,94	986,33	371,07	615,27		337,81	
Aluminio	586,58	163,92	422,66	683,08	172,36	510,71	669,52	138,78	530,75
Potasio	435,75	255,77	179,98	601,09	431,39	169,71	482,17	173,66	308,52
Titanio	16,79	4,08	12,71	53,15	4,44	48,71	58,06	4,29	53,77
Vanadio	5,44	1,07	4,38	18,65	1,85	16,79	6,89	0,39	6,50
Cromo	2,67	2,05	0,62	3,96	2,31	1,65	2,85	1,70	1,15
Manganeso	6,29	0,75	5,54	22,89	2,55	20,35	17,90	2,38	15,53
Níquel	0,94	0,40	0,55	1,22	0,53	0,70	1,10	0,27	0,83
Cobre	3,93	2,58	1,35	8,19	4,24	3,95	6,53	2,29	4,24
Zinc	6,37	2,47	3,90	11,12	5,06	6,06	14,22	5,47	8,75
Arsénico	1,45	0,56	0,90	1,54	0,99	0,55	1,90	0,53	1,37
Selenio	2,07	1,11	0,96	1,89	0,79	1,10	2,79	1,32	1,47
Bromo	22,36	3,89	18,47	16,11	4,09	12,02	13,27	2,48	10,79
Rubidio	2,84	2,20	0,64	4,49	3,02	1,48	2,31	1,18	1,13
Estroncio	7,55	1,83	5,72	8,93	2,04	6,90	8,98	1,75	7,23
Molibdeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,01
Wolframio	1,83	0,85	0,98	1,95	0,01	1,94	1,96	1,45	0,51
Plomo	3,39	2,00	1,39	8,30	3,39	4,91	3,41	0,90	2,51
Mercurio	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,31	0,05	0,00	0,05
Cadmio	0,18	0,04	0,14	0,76	0,16	0,60	0,14	0,01	0,12
25 elementos restantes	36,80	16,84	19,95	28,73	6,04	22,69	20,53	2,33	18,21

Con respecto a los elementos con mayor presencia, en el caso de la estación Playa Brava el 91% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 92% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Mg, Na, S y K).

Siempre con relación a la estación Playa Brava, en el caso de los Iones con mayor presencia, el 90% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 83% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

Por otra parte, en la estación Población Huasco II, el 85% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Ca, Cl, Fe, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 92% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

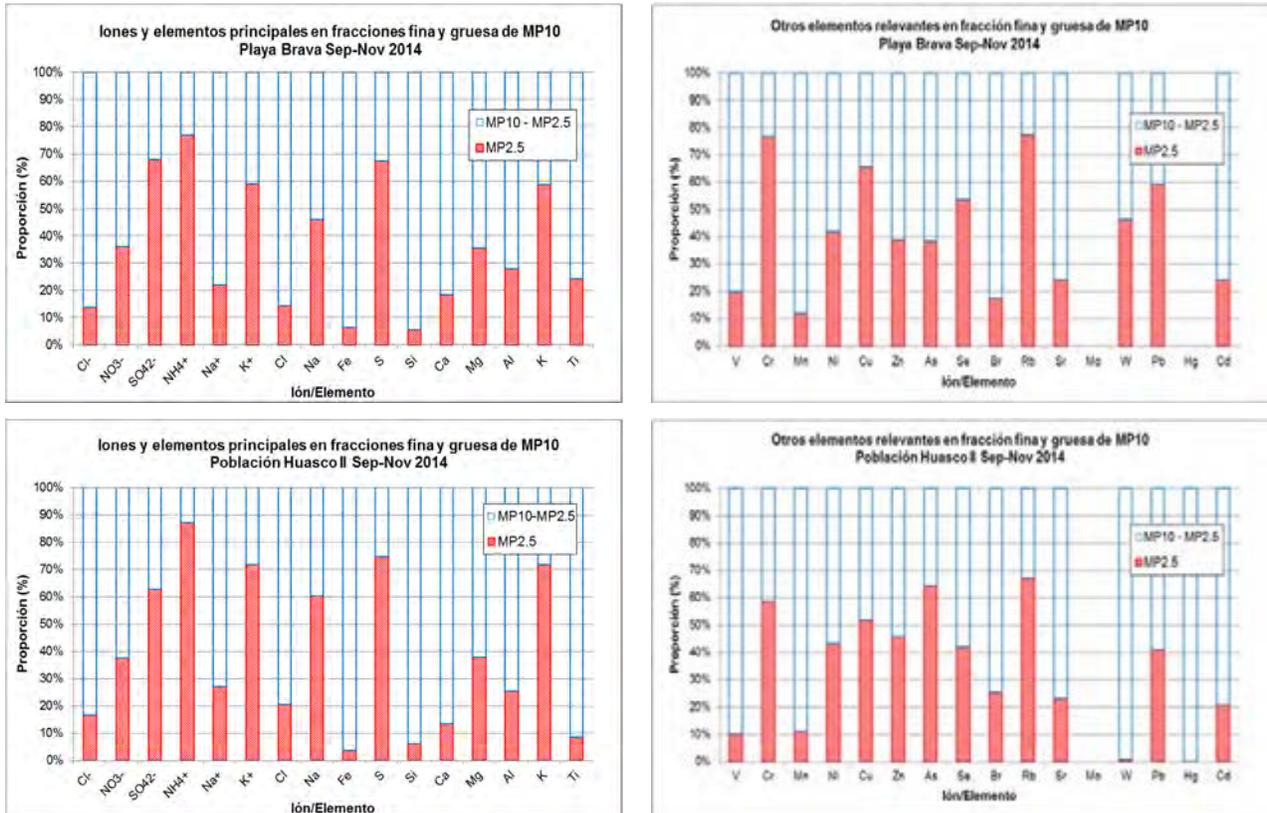
Siempre con respecto a la estación Población Huasco II, el 88% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2,5, el 81% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

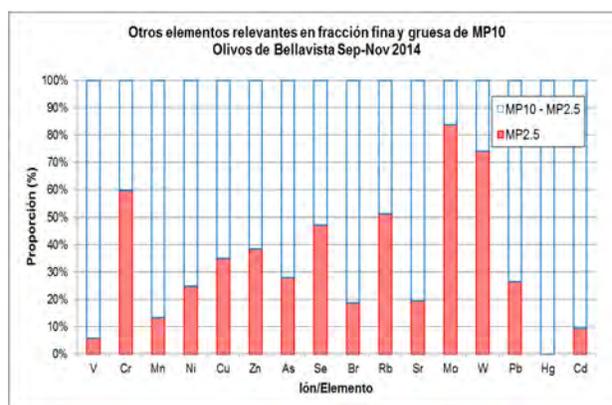
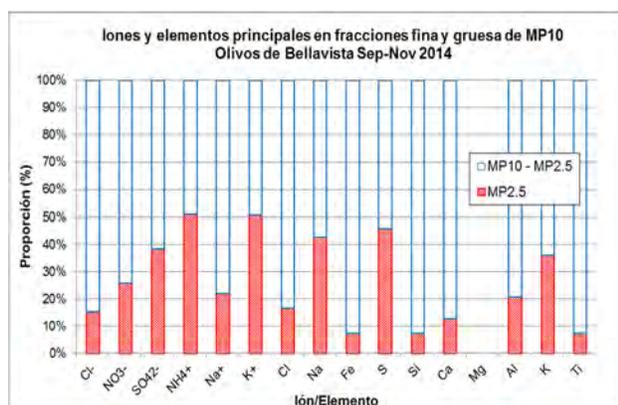
Por su parte, en la estación Olivos de Bellavista, el 87% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

Siempre en el caso de la estación Olivos de Bellavista, el 85% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2,5, el 80% de la muestra se explica por la presencia de los tres iones anteriores.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-13: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP entre septiembre y noviembre de 2014





ii. Septiembre 2014

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2,5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–13: Caracterización química de material particulado Septiembre 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	9557,78	1482,01	8075,77	5983,13	1142,01	4841,12	4516,29	859,55	3656,74
NO ₃ ⁻	1354,09	619,65	734,44	1275,35	553,81	721,54	1370,44	466,27	904,16
SO ₄ ²⁻	4774,12	3127,31	1646,80	3467,38	2259,07	1208,31	3547,96	1929,39	1618,57
NH ₄ ⁺	511,75	398,20	113,55	350,01	315,65	34,36	389,10	253,63	135,47
Na ⁺	6377,45	1599,28	4778,17	4235,46	1156,13	3079,33	3430,98	949,66	2481,31
K ⁺	572,89	420,93	151,96	452,09	304,93	147,16	299,52	135,24	164,27
Cloro	7555,87	1145,20	6410,67	4835,35	986,50	3848,85	3567,30	663,92	2903,39
Sodio	8261,99	3695,55	4566,44	5850,03	3087,81	2762,22	5690,97	2396,17	3294,79
Hierro	1103,31	67,16	1036,16	1821,15	90,04	1731,11	792,67	82,50	710,17
Azufre	1725,20	1165,04	560,16	1198,37	903,38	294,99	1296,91	724,37	572,55
Silicio	195,22	3,62	191,60	574,53	16,40	558,14	691,23	52,76	638,47
Calcio	434,21	85,32	348,89	589,79	87,47	502,32	555,69	87,44	468,25
Magnesio	1605,63	617,67	987,96	815,16	271,32	543,84			
Aluminio	564,12	185,38	378,74	561,10	141,84	419,26	451,03	112,73	338,31
Potasio	510,21	364,72	145,49	479,62	329,17	150,45	377,88	162,04	215,85
Titanio	13,62	3,98	9,64	31,22	4,72	26,50	31,91	2,66	29,25
Vanadio	7,93	2,05	5,88	7,64	1,27	6,37	4,04	0,26	3,78
Cromo	2,95	2,36	0,58	3,85	2,68	1,17	2,26	1,62	0,64
Manganeso	8,97	1,49	7,48	12,07	2,06	10,02	11,40	1,78	9,62
Níquel	1,74	1,06	0,69	0,94	0,55	0,40	0,78	0,59	0,19

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cobre	3,64	2,80	0,84	7,81	3,83	3,98	5,44	2,07	3,37
Zinc	7,65	2,72	4,92	10,72	5,42	5,29	12,64	6,34	6,31
Arsénico	2,05	0,62	1,43	0,50	0,26	0,25	1,28	0,71	0,57
Selenio	2,13	0,89	1,24	2,26	0,82	1,44	2,10	0,70	1,39
Bromo	24,42	3,11	21,31	14,03	3,97	10,06	9,79	1,99	7,81
Rubidio	4,27	3,59	0,68	3,19	1,24	1,95	1,57	1,06	0,51
Estroncio	6,90	1,88	5,02	7,74	2,14	5,60	6,28	1,62	4,66
Molibdeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,16	0,03
Wolframio	1,99	0,00	1,99	4,56	0,04	4,52	1,95	1,64	0,31
Plomo	5,89	3,64	2,25	7,48	5,03	2,45	4,79	0,71	4,08
Mercurio	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,33	0,15	0,00	0,15
Cadmio	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	25,96	1,46	24,50	41,23	8,49	32,74	12,42	1,47	10,95

Con respecto a los elementos con mayor presencia, en el caso de la estación Playa Brava el 92% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 95% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na, S).

Siempre con relación a la estación Playa Brava, en el caso de los Iones con mayor presencia, el 89% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2,5, el 81% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

Por otra parte, en la estación Población Huasco II, el 86% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 94% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na, S).

Siempre con respecto a la estación Población Huasco II, el 87% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2,5, el 80% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

Por su parte, en la estación Olivos de Bellavista, el 89% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 94% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Al, Na y S).

Siempre en el caso de la estación Olivos de Bellavista, el 85% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y

Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2,5, el 81% de la muestra se explica por la presencia de los tres iones anteriores.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-14: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en septiembre de 2014



iii. Octubre 2014

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2,5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–14: Caracterización química de material particulado Octubre 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	9130,68	1303,71	7826,97	10240,50	1647,08	8593,42	7126,92	943,71	6183,21
NO ₃ ⁻	956,18	296,74	659,44	1346,30	496,58	849,72	2103,27	411,56	1691,71
SO ₄ ²⁻	3403,85	2378,00	1025,84	4004,98	1900,74	2104,25	10251,43	2332,61	7918,82
NH ₄ ⁺	298,54	235,97	62,57	382,98	322,81	60,17	1330,45	403,40	927,05
Na ⁺	5995,65	1201,94	4793,72	5334,75	1407,28	3927,47	6001,03	967,04	5033,98
K ⁺	360,95	126,66	234,29	699,93	498,30	201,63	585,66	159,45	426,21
Cloro	7715,54	1156,44	6559,10	6038,21	1421,52	4616,69	4532,04	760,44	3771,60
Sodio	9068,52	3578,12	5490,39	5197,91	2397,41	2800,50	6591,27	2553,13	4038,15
Hierro	574,85	33,93	540,92	5544,14	189,86	5354,28	2129,94	114,09	2015,85
Azufre	1321,58	874,70	446,88	1386,84	927,70	459,14	3015,92	871,25	2144,68
Silicio	193,52	15,65	177,87	926,27	63,27	863,00	1702,89	87,62	1615,27
Calcio	428,02	72,17	355,86	1262,57	127,97	1134,60	1347,69	124,50	1223,19
Magnesio	1528,26	608,01	920,25	1021,78	414,66	607,12	787,76	172,28	615,48
Aluminio	607,48	160,92	446,56	677,60	208,12	469,48	902,15	172,95	729,20
Potasio	359,45	136,86	222,58	646,81	494,93	151,87	639,78	181,92	457,85
Titanio	14,33	3,51	10,82	59,07	4,13	54,94	85,36	3,46	81,90
Vanadio	2,98	0,12	2,85	23,11	1,02	22,09	9,07	0,38	8,70
Cromo	1,86	1,41	0,46	3,76	2,15	1,61	3,02	1,97	1,04
Manganeso	3,14	0,13	3,01	27,63	3,78	23,85	26,03	2,03	24,00
Níquel	0,31	0,03	0,28	1,33	0,20	1,13	1,69	0,06	1,63
Cobre	3,92	3,09	0,83	8,69	4,90	3,80	8,74	2,24	6,50
Zinc	3,94	1,93	2,01	10,63	4,10	6,53	16,34	3,64	12,70
Arsénico	0,67	0,33	0,35	2,75	1,57	1,18	2,65	0,33	2,33
Selenio	1,54	1,02	0,53	1,33	0,64	0,70	3,53	1,09	2,44
Bromo	22,43	3,34	19,09	19,24	3,41	15,84	20,20	2,41	17,79
Rubidio	1,86	1,04	0,82	5,05	3,58	1,47	3,78	1,56	2,22
Estroncio	8,46	1,84	6,62	10,29	1,92	8,37	12,38	1,89	10,50
Molibdeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Wolframio	3,50	2,54	0,96	1,29	0,00	1,29	1,88	0,86	1,02
Plomo	2,71	1,06	1,65	13,44	2,63	10,82	3,12	0,58	2,54
Mercurio	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
25 elementos restantes	57,19	41,07	16,13	24,98	7,53	17,45	19,23	0,69	18,54

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Playa Brava, el 92% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 95% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

En el caso de los iones y siempre con respecto a la estación Playa Brava, el 92% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 88% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

En el caso de la estación Población Huasco II, el 85% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Ca, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

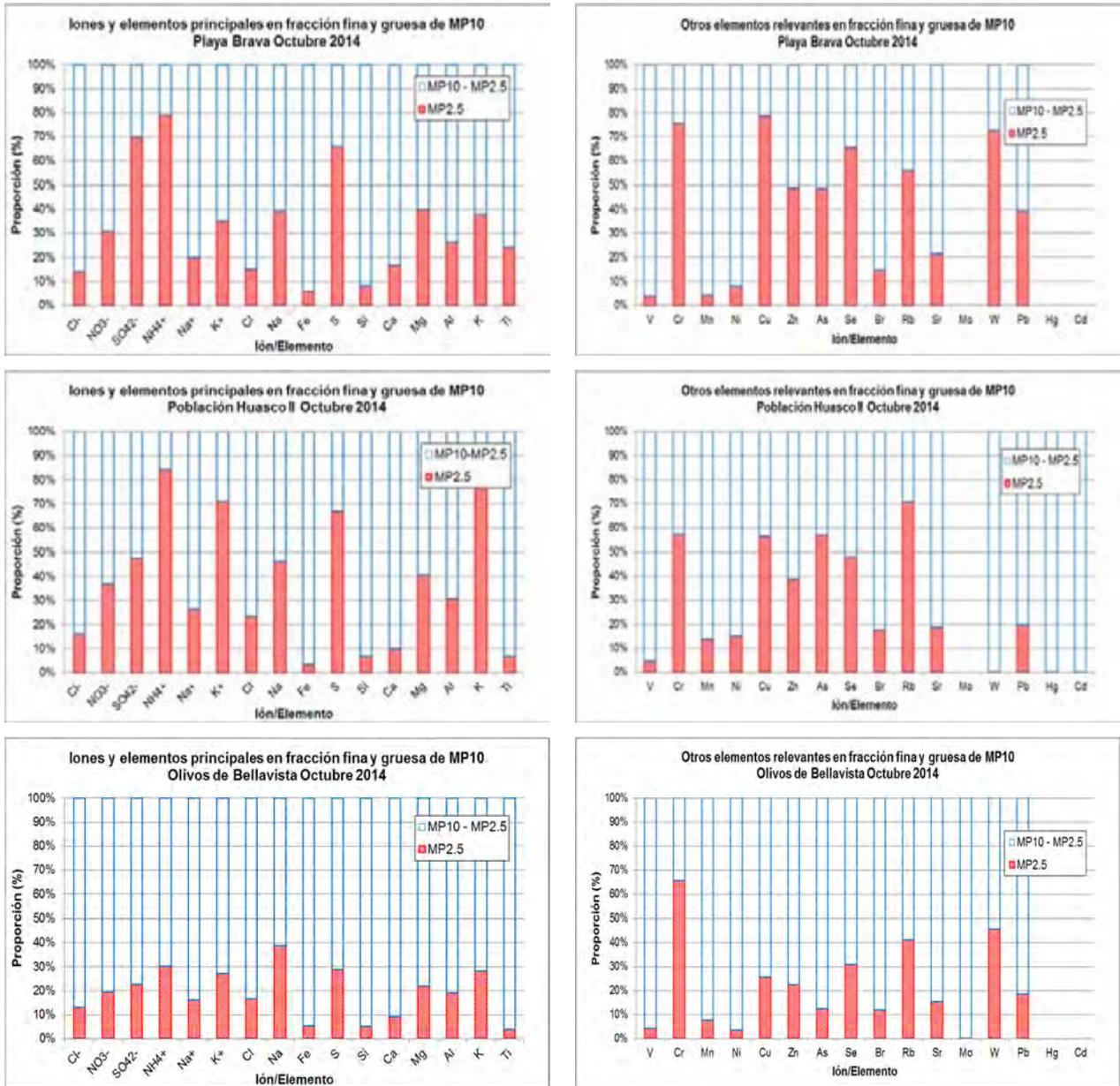
Siempre en la estación Población Huasco II, el 89% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 79% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

Con respecto a la estación Olivos de Bellavista, el 82% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S, Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Al, Na y S).

Siempre en la estación Olivos de Bellavista, el 85% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 81% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-15: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en octubre de 2014



iv. **Noviembre 2014**

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–15: Caracterización química de material particulado Noviembre 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	8091,85	918,41	7173,43	7215,44	1068,05	6147,39	4516,06	664,74	3851,32
NO ₃ ⁻	1205,72	352,29	853,43	1423,82	461,90	961,92	1426,07	385,46	1040,60
SO ₄ ²⁻	4663,13	3217,07	1446,06	4920,43	3592,83	1327,60	5083,54	3000,51	2083,03
NH ₄ ⁺	560,34	420,21	140,13				638,97	539,98	98,99
Na ⁺	5804,94	1169,99	4634,95	4997,03	1358,99	3638,04	3768,23	994,67	2773,57
K ⁺	442,36	264,74	177,62	599,59	452,67	146,92	312,63	312,63	0,00
Cloro	6107,70	764,45	5343,26	5574,66	938,13	4636,53	3449,88	492,54	2957,34
Sodio	7213,94	4029,21	3184,73	7370,48	5581,55	1788,93	5678,99	2719,73	2959,26
Hierro	841,72	59,31	782,40	5588,01	188,64	5399,37	1761,92	153,32	1608,60
Azufre	1740,09	1193,54	546,54	1762,94	1417,30	345,64	1846,40	1215,77	630,64
Silicio	393,57	24,96	368,61	1119,44	76,53	1042,91	1179,07	124,68	1054,39
Calcio	396,70	74,57	322,14	1214,60	190,12	1024,48	930,95	151,95	779,00
Magnesio	1039,76	260,14	779,62	1122,06	427,22	694,84	657,21	503,35	153,86
Aluminio	588,13	145,45	442,68	810,52	167,13	643,40	655,39	130,65	524,73
Potasio	437,59	265,72	171,87	676,85	470,06	206,80	428,86	177,01	251,85
Titanio	22,42	4,74	17,68	69,14	4,47	64,67	56,90	6,74	50,16
Vanadio	5,43	1,02	4,41	25,19	3,27	21,91	7,56	0,54	7,01
Cromo	3,18	2,37	0,81	4,27	2,11	2,16	3,27	1,51	1,77
Manganeso	6,75	0,62	6,13	28,98	1,80	27,18	16,29	3,32	12,97
Níquel	0,79	0,11	0,68	1,40	0,84	0,56	0,83	0,17	0,66
Cobre	4,23	1,86	2,37	8,05	3,98	4,07	5,40	2,54	2,86
Zinc	7,53	2,76	4,77	12,00	5,65	6,35	13,68	6,42	7,26
Arsénico	1,64	0,72	0,91	1,36	1,14	0,22	1,76	0,55	1,20
Selenio	2,55	1,43	1,11	2,08	0,91	1,16	2,74	2,16	0,58
Bromo	20,24	5,23	15,01	15,06	4,89	10,16	9,81	3,04	6,76
Rubidio	2,40	1,98	0,42	5,24	4,23	1,01	1,58	0,93	0,65
Estroncio	7,29	1,77	5,52	8,77	2,04	6,72	8,28	1,73	6,54
Molibdeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wolframio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	1,87	0,20
Plomo	1,58	1,30	0,28	3,99	2,53	1,46	2,32	1,42	0,89
Mercurio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,54	0,13	0,41	0,86	0,47	0,39	0,41	0,04	0,37
25 elementos restantes	27,24	8,01	19,24	19,98	2,09	17,89	29,95	4,82	25,13

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Playa Brava, el 90% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 95% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

En el caso de los iones y siempre con respecto a la estación Playa Brava, el 89% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 84% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

En el caso de la estación Población Huasco II, el 85% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Ca, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 93% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

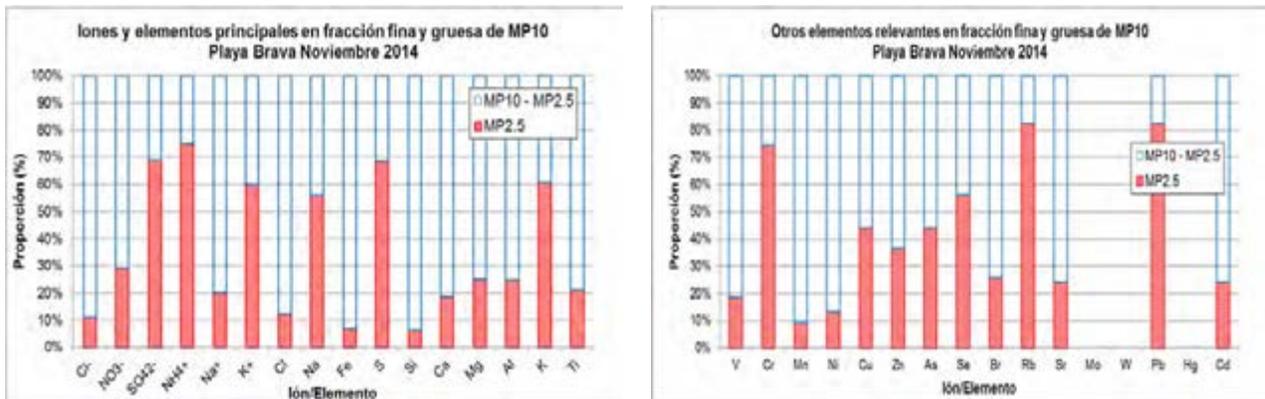
Siempre en la estación Población Huasco II, el 89% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 87% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

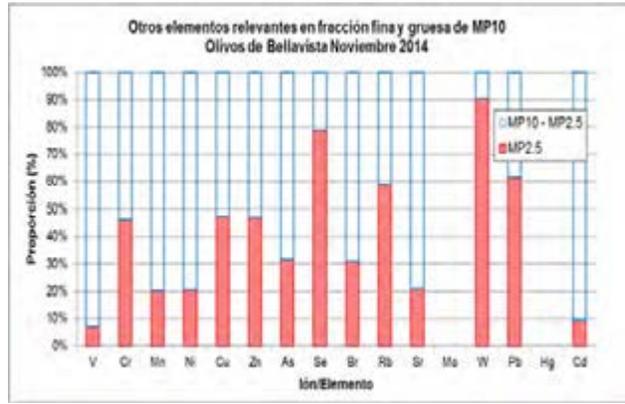
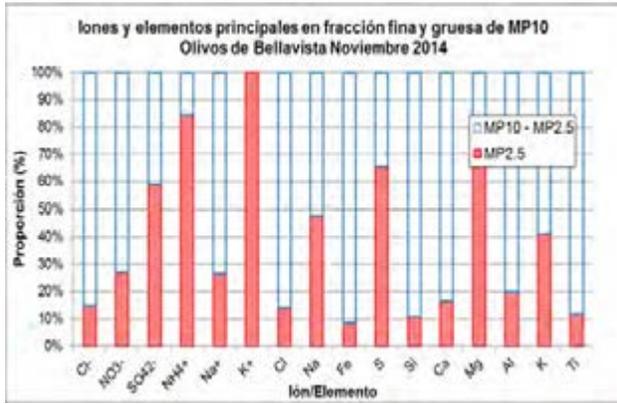
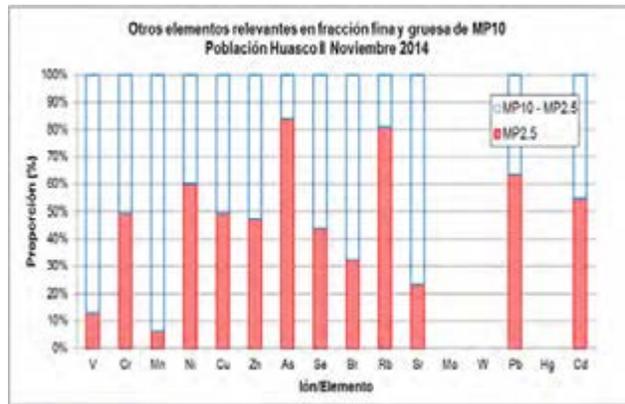
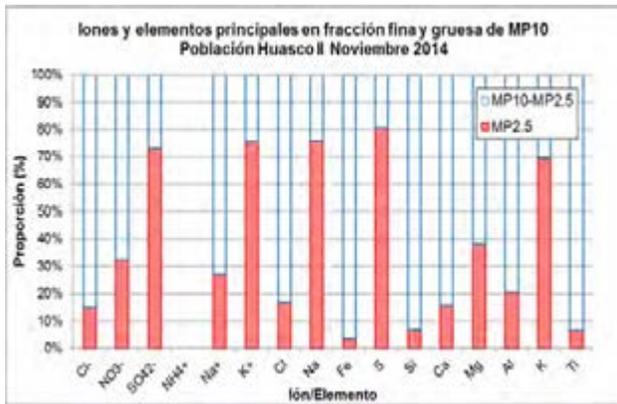
Con respecto a la estación Olivos de Bellavista, el 83% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 90% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, K, Mg, Na y S).

Siempre en la estación Olivos de Bellavista, el 85% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 79% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-16: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en noviembre de 2014

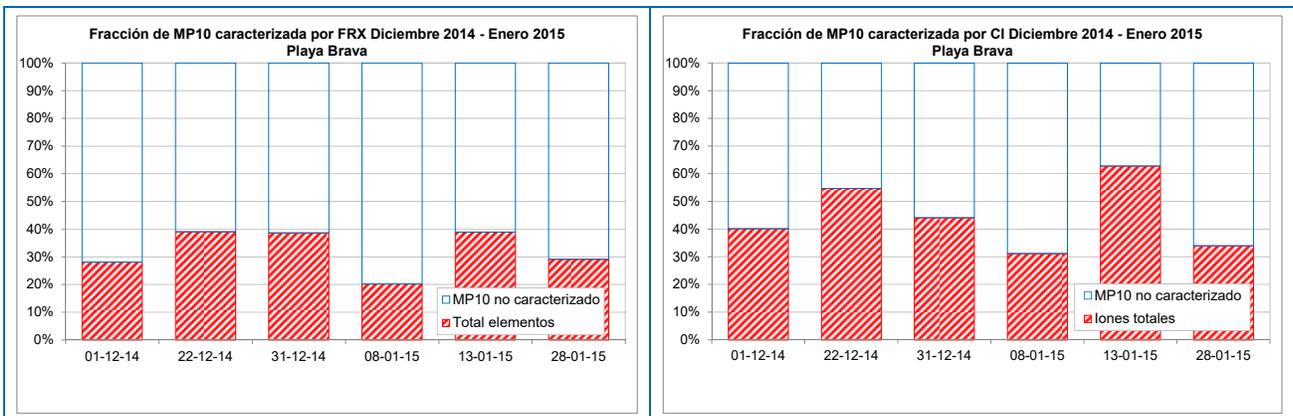


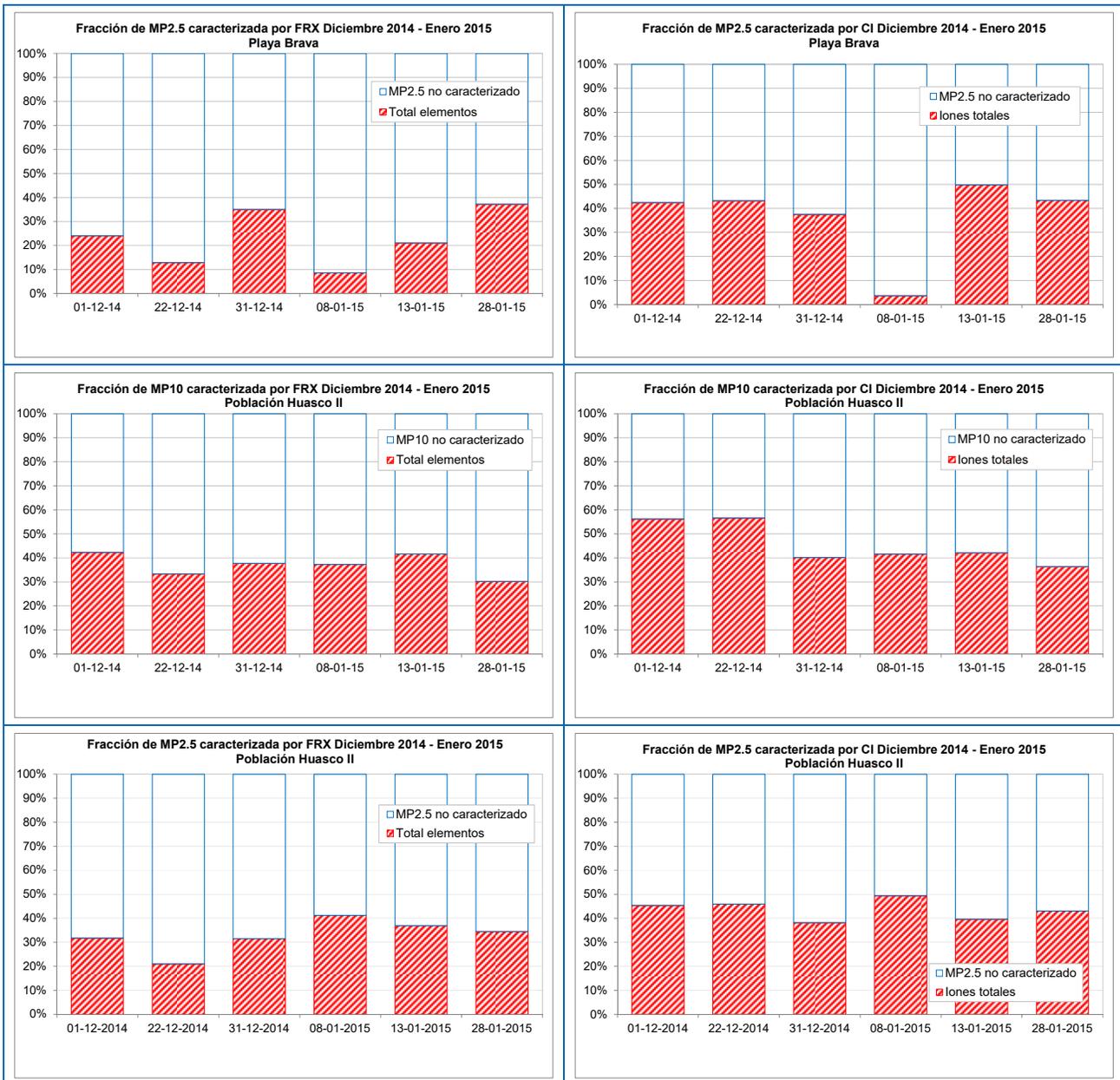


3.2.3.3 Bimestre Diciembre 2014 – Enero 2015

La fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI se presenta en el Gráfico 3-17 para cada una de las estaciones, tanto para MP10 como para MP2.5.

Gráfico 3-17: Fracción de material particulado caracterizada por FRX y CI – Diciembre 2014 – Enero 2015







De lo anterior se desprende que en el caso del MP10, salvo excepciones, no se logra caracterizar más del 40% del contenido de las membranas, porcentaje que es similar en el caso del MP2.5.

Por otra parte, en la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5). Los valores se presentan en nanogramos⁶ (ng) por metro cúbico normal, facilitando de esta manera la lectura en el caso de elementos presentes en muy baja concentración. Se presentan en primer lugar los iones y luego los 26 elementos más relevantes ya sea por su cantidad o bien por su importancia en análisis de efecto a la salud de las personas.

⁶ 1 microgramo equivale a 1000 nanogramos.

Tabla 3–16: Caracterización química de material particulado período Diciembre 2014 – Enero 2015

Ión/Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	8407,27	1770,53	6636,74	8882,28	1690,62	7191,66	6159,37	1527,14	4632,23
NO ₃ ⁻	1295,54	554,05	741,49	1381,35	565,71	815,64	1445,00	649,45	795,55
SO ₄ ²⁻	3607,22	1846,68	1760,54	3586,21	2350,02	1236,19	4174,12	2426,28	1747,84
NH ₄ ⁺	354,09	215,08	139,01	373,57	338,88	34,69	391,81	342,54	49,27
Na ⁺	5930,51	1599,07	4331,44	5885,67	1686,06	4199,61	4360,98	1481,54	2879,43
K ⁺	295,26	78,78	216,48	439,15	265,06	174,09	387,01	130,14	256,87
Cloro	6771,20	1602,18	5169,02	6096,90	1610,09	4486,80	5300,38	1543,05	3757,33
Sodio	3515,84	1941,41	1574,42	3878,57	2825,74	1052,82	3285,98	2006,86	1279,12
Hierro	453,83	47,37	406,46	1696,08	116,13	1579,95	1314,34	432,93	881,41
Azufre	1415,71	811,12	604,59	1317,97	1013,45	304,52	1515,27	951,68	563,59
Silicio	296,56	14,81	281,74	483,02	44,99	438,03	1130,60	302,66	827,95
Calcio	374,35	115,20	259,15	560,12	117,45	442,67	880,27	246,66	633,61
Magnesio				1168,72	589,21	579,51	664,92	282,18	382,74
Aluminio	387,27	217,70	169,56	632,06	209,07	422,99	761,39	271,08	490,30
Potasio	259,01	93,00	166,01	245,69	93,47	152,22	425,04	144,26	280,78
Titanio	18,11	4,07	14,04	28,40	4,92	23,49	47,38	12,09	35,29
Vanadio	3,39	1,81	1,58	13,23	4,81	8,42	6,35	2,41	3,94
Cromo	1,59	0,73	0,86	1,76	0,57	1,19	1,42	0,99	0,43
Manganeso	4,19	0,13	4,05	12,48	1,03	11,45	17,21	4,63	12,58
Níquel	0,80	0,67	0,13	2,89	1,83	1,06	2,02	1,21	0,81
Cobre	3,39	2,31	1,08	4,84	2,89	1,95	5,78	2,90	2,89
Zinc	4,36	2,23	2,13	8,36	5,01	3,34	10,61	4,48	6,13
Arsénico	0,61	0,44	0,17	1,06	1,04	0,02	0,89	0,40	0,48
Selenio	0,91	0,56	0,34	1,77	0,63	1,14	1,12	0,51	0,61
Bromo	18,39	3,46	14,92	16,51	3,75	12,76	13,84	2,71	11,14
Rubidio	0,92	0,48	0,44	2,13	1,70	0,43	1,97	0,85	1,12
Estroncio	7,28	2,50	4,78	6,76	1,66	5,10	8,95	4,39	4,56
Molibdeno	0,09	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,09	0,00	0,09
Wolframio	4,06	1,81	2,25	2,18	2,04	0,14	2,02	1,64	0,37
Plomo	2,12	1,15	0,97	4,16	2,13	2,03	3,24	1,45	1,80
Mercurio	0,15	0,01	0,14	0,09	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	17,39	4,52	12,86	35,58	13,73	21,85	24,79	3,09	21,70

Con respecto a los elementos con mayor presencia, en el caso de la estación Playa Brava el 92% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de

cinco elementos (Cl, Fe, Al, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 96% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Na, S, Ca y Al).

Siempre con relación a la estación Playa Brava, en el caso de los Iones con mayor presencia, el 90% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 86% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

Por otra parte, en la estación Población Huasco II, el 87% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Mg, Cl, Fe, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 94% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S).

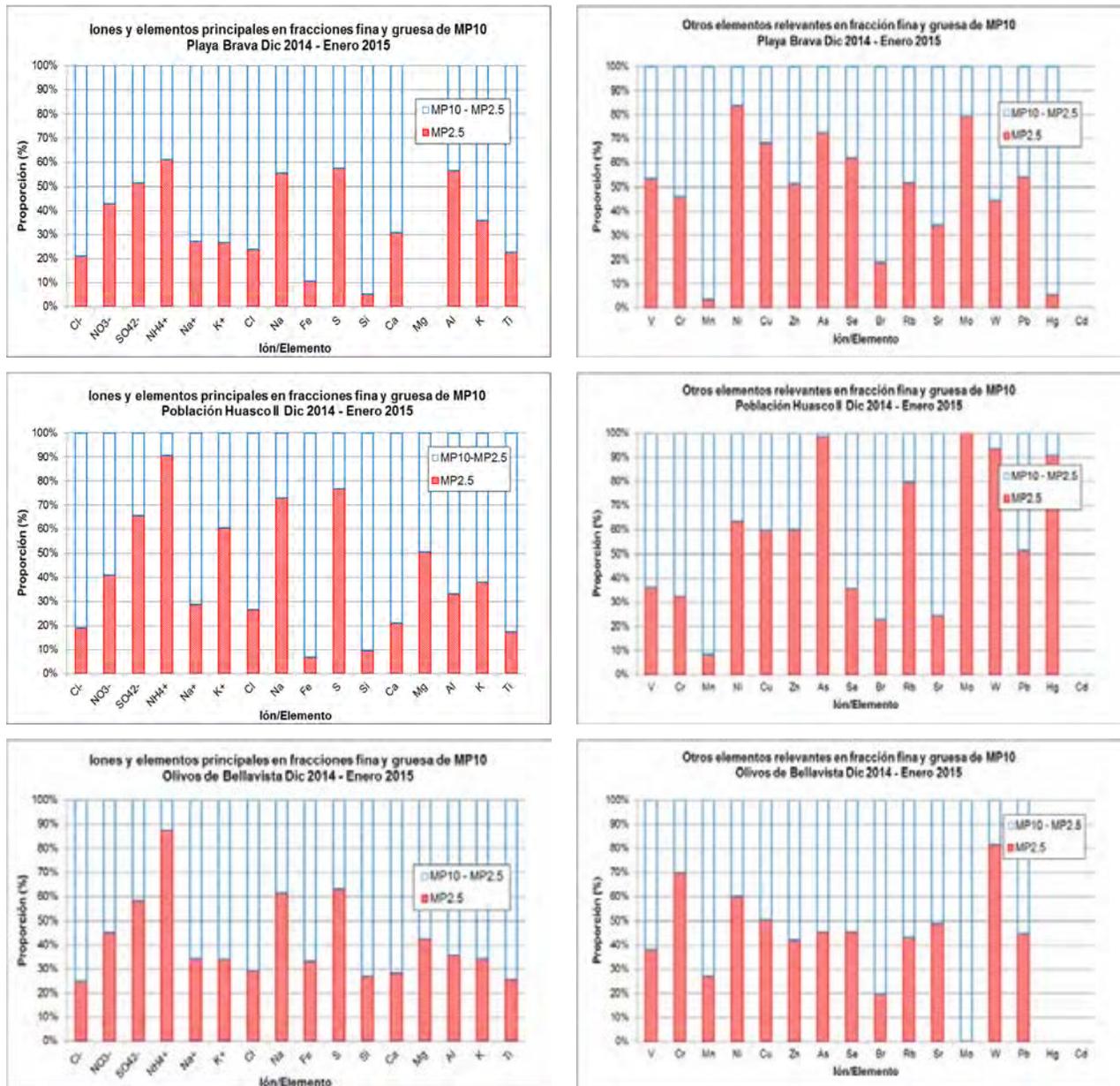
Siempre con respecto a la estación Población Huasco II, el 89% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 83% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

Por su parte, en la estación Olivos de Bellavista, el 81% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 84% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si).

Siempre en el caso de la estación Olivos de Bellavista, el 87% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sodio y Sulfato). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 83% de la muestra se explica por la presencia de los tres iones anteriores.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-18: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP10 entre diciembre 2014 y enero 2015



i. Diciembre 2014

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–17: Caracterización química de material particulado Diciembre 2014

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	12289,22	2946,31	9342,90	12944,72	2441,87	10502,84	8881,88	2238,71	6643,17
NO ₃ ⁻	1502,66	762,43	740,23	1568,42	671,35	897,07	1684,63	732,73	951,89
SO ₄ ²⁻	3759,39	2127,81	1631,58	3629,32	2076,74	1552,58	3741,02	1761,22	1979,80
NH ₄ ⁺	339,01	311,43	27,58	330,79	268,77	62,02	172,83	141,39	31,44
Na ⁺	8060,53	2363,83	5696,70	8194,51	2115,68	6078,83	5702,21	1792,83	3909,37
K ⁺	351,24	96,59	254,65	396,84	119,00	277,83	410,84	101,33	309,52
Cloro	9595,82	2653,49	6942,33	8799,82	2362,29	6437,54	7764,17	1872,62	5891,55
Sodio	4521,73	2562,98	1958,75	3834,60	2643,85	1190,75	3317,75	2773,58	544,18
Hierro	719,04	48,17	670,86	1855,61	89,40	1766,21	1185,97	140,74	1045,24
Azufre	1379,59	934,55	445,04	1309,81	911,90	397,91	1425,64	689,87	735,77
Silicio	339,55	24,78	314,76	534,63	49,26	485,37	1221,50	125,16	1096,34
Calcio	494,47	122,22	372,25	609,35	136,37	472,98	1030,42	166,43	863,99
Magnesio	1615,38	545,73	1069,65	1579,81	689,76	890,05	906,39	373,75	532,64
Aluminio	299,48	299,48	0,00	783,89	259,90	523,99	940,58	252,36	688,22
Potasio	319,68	127,18	192,50	306,86	110,04	196,83	412,86	98,10	314,76
Titanio	21,03	4,60	16,43	27,65	3,45	24,21	49,93	3,63	46,31
Vanadio	6,78	3,62	3,16	13,37	3,79	9,58	4,98	0,10	4,88
Cromo	1,56	0,00	1,56	2,07	0,14	1,93	1,30	0,67	0,63
Manganeso	5,17	0,11	5,07	10,20	0,52	9,68	17,56	2,05	15,51
Níquel	1,19	0,97	0,22	3,05	1,16	1,89	2,21	1,49	0,72
Cobre	4,14	2,57	1,57	3,05	3,05	0,00	6,05	2,11	3,94
Zinc	5,16	3,34	1,82	7,38	4,42	2,96	11,27	3,86	7,40
Arsénico	0,70	0,40	0,30	0,48	0,44	0,03	0,59	0,11	0,48
Selenio	1,19	0,84	0,35	2,28	0,99	1,29	1,16	0,23	0,93
Bromo	23,53	4,22	19,31	24,01	3,59	20,42	18,18	2,02	16,16
Rubidio	0,90	0,35	0,55	1,08	0,54	0,53	1,66	0,60	1,07
Estroncio	9,82	4,22	5,60	8,98	2,22	6,77	11,13	2,00	9,13
Molibdeno	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,18	0,00	0,18
Wolframio	5,07	2,39	2,68	0,00	0,00	0,00	3,65	3,26	0,39
Plomo	3,20	1,60	1,60	2,98	1,25	1,73	2,85	1,97	0,88
Mercurio	0,14	0,02	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	12,69	4,88	7,80	36,84	17,99	18,86	34,05	3,83	30,22

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Playa Brava, el 92% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 95% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S).

En el caso de los iones y siempre con respecto a la estación Playa Brava, el 92% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 86% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

En el caso de la estación Población Huasco II, el 88% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 93% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S).

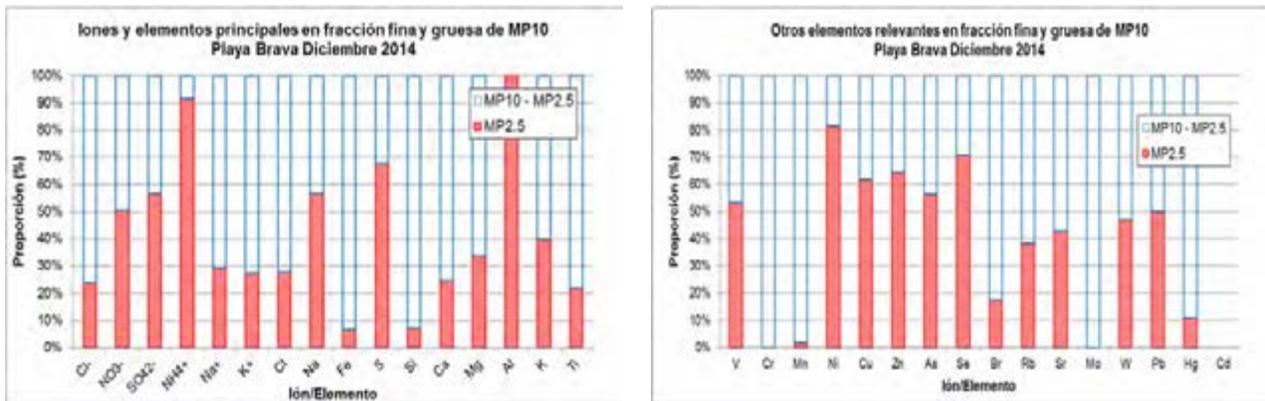
Siempre en la estación Población Huasco II, el 92% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 86% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

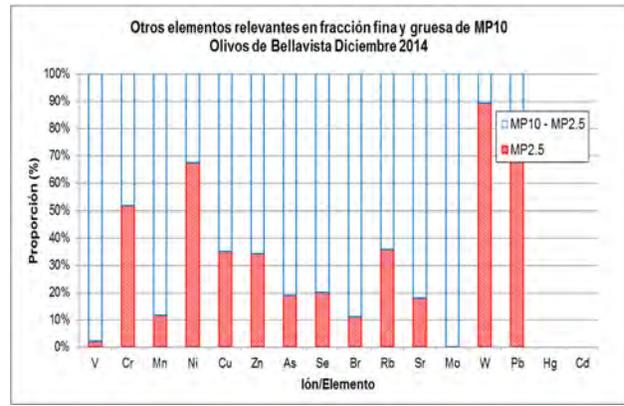
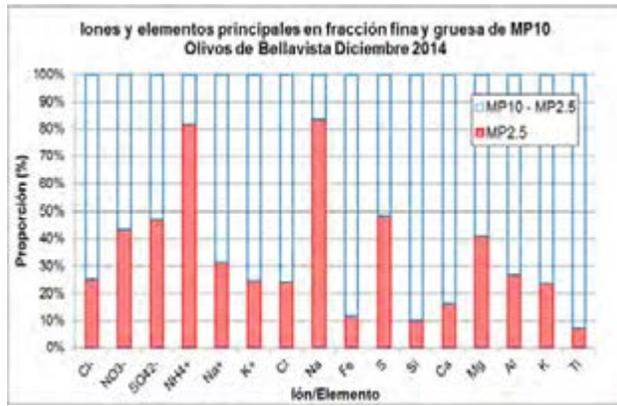
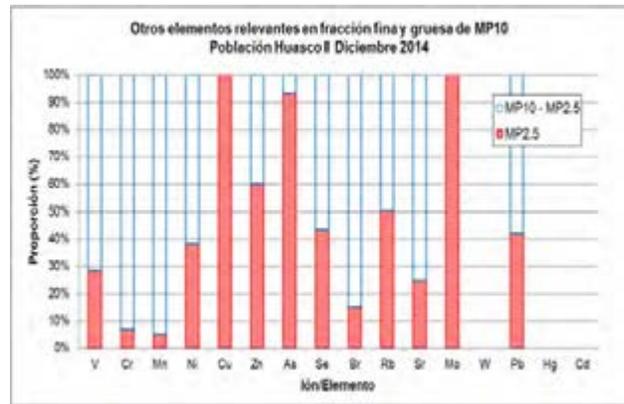
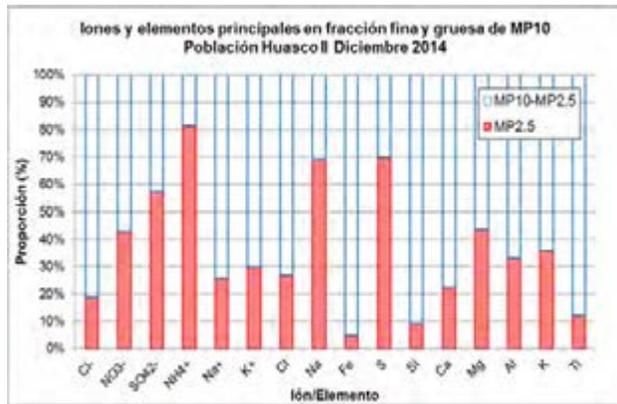
Con respecto a la estación Olivos de Bellavista, el 81% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 91% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S).

Siempre en la estación Olivos de Bellavista, el 89% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 86% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-19: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en diciembre de 2014





ii. Enero 2015

En la siguiente tabla se presenta un resumen con la participación de iones y elementos tanto en el MP10 como en el MP2.5 (fracción fina), dando cuenta igualmente de la participación en la fracción gruesa del MP10 (MP10 – MP2.5).

Tabla 3–18: Caracterización química de material particulado Enero 2015

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	4525,32	594,74	3930,58	4819,85	939,37	3880,49	3436,87	815,57	2621,30
NO ₃ ⁻	1088,42	345,68	742,74	1194,27	460,06	734,21	1205,38	566,17	639,21
SO ₄ ²⁻	3455,05	1565,54	1889,51	3543,11	2623,30	919,81	4607,21	3091,34	1515,87
NH ₄ ⁺	369,17	118,73	250,44	416,36	408,99	7,37	610,79	543,68	67,10
Na ⁺	3800,49	834,31	2966,18	3576,83	1256,44	2320,38	3019,74	1170,25	1849,50
K ⁺	239,28	60,96	178,32	481,46	411,11	70,34	363,18	158,95	204,22
Cloro	3946,58	550,87	3395,71	3393,97	857,90	2536,07	2836,60	1213,48	1623,11

Ión/ Elemento	Playa Brava			Población Huasco II			Olivos de Bellavista		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10- MP2.5 (ng/m ³ N)
Sodio	2509,94	1319,85	1190,09	3922,54	3007,64	914,90	3254,21	1240,14	2014,07
Hierro	188,61	46,56	142,05	1536,55	142,85	1393,70	1442,70	725,12	717,58
Azufre	1451,82	687,69	764,14	1326,14	1115,00	211,13	1604,90	1213,48	391,42
Silicio	253,57	4,85	248,72	431,41	40,72	390,69	1039,71	480,16	559,55
Calcio	254,24	108,19	146,05	510,90	98,54	412,37	730,12	326,89	403,23
Magnesio				757,63	488,67	268,96	423,46	190,62	232,85
Aluminio	475,05	135,92	339,13	480,23	158,23	322,00	582,19	289,81	292,38
Potasio	198,33	58,82	139,51	184,51	76,90	107,61	437,23	190,42	246,81
Titanio	15,19	3,54	11,64	29,15	6,39	22,76	44,83	20,56	24,27
Vanadio	0,00	0,00	0,00	13,09	5,83	7,26	7,72	4,72	2,99
Cromo	1,62	1,47	0,15	1,44	0,99	0,45	1,53	1,30	0,23
Manganeso	3,20	0,16	3,04	14,77	1,55	13,22	16,85	7,20	9,65
Níquel	0,41	0,37	0,03	2,73	2,50	0,23	1,83	0,94	0,89
Cobre	2,64	2,05	0,59	6,64	2,74	3,90	5,51	3,68	1,83
Zinc	3,57	1,13	2,44	9,33	5,61	3,72	9,95	5,10	4,85
Arsénico	0,52	0,49	0,03	1,64	1,64	0,00	1,18	0,69	0,49
Selenio	0,63	0,29	0,34	1,26	0,27	0,99	1,08	0,78	0,30
Bromo	13,24	2,70	10,54	9,01	3,90	5,11	9,50	3,39	6,11
Rubidio	0,94	0,60	0,33	3,18	2,85	0,33	2,27	1,10	1,17
Estroncio	4,75	0,78	3,97	4,55	1,11	3,43	6,78	6,78	0,00
Molibdeno	0,17	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wolframio	3,05	1,23	1,83	4,36	4,07	0,29	0,38	0,03	0,35
Plomo	1,03	0,69	0,34	5,35	3,02	2,33	3,64	0,93	2,71
Mercurio	0,16	0,00	0,16	0,18	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	22,09	4,17	17,92	34,32	9,47	24,85	15,53	2,35	13,18

Con respecto a los elementos con mayor presencia en la estación Playa Brava, el 92% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Ca, Al, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 96% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Ca, Al, Na y S).

En el caso de los iones y siempre con respecto a la estación Playa Brava, el 87% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 85% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

En el caso de la estación Población Huasco II, el 86% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Mg, Na y S). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 93% de la muestra se explica por la presencia de cinco elementos (Cl, Al, Mg, Na y S).

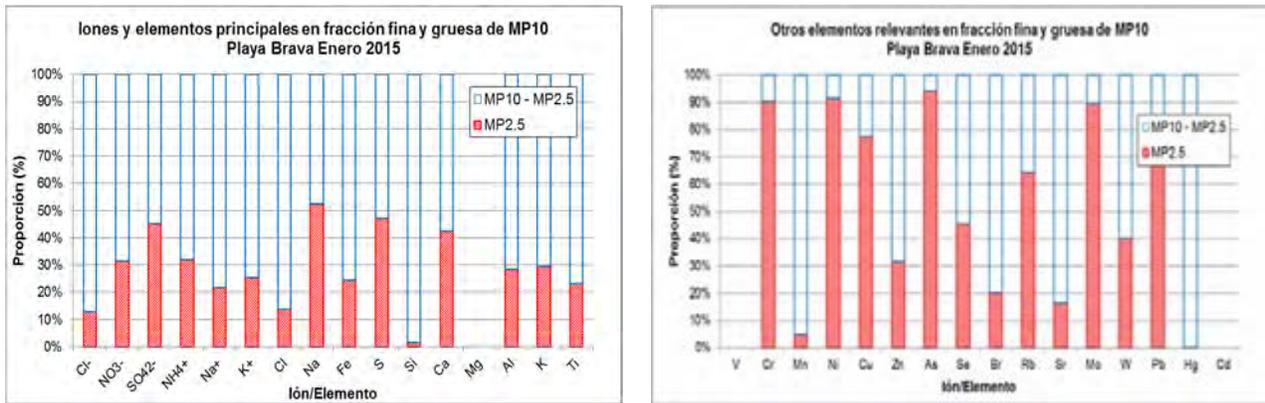
Siempre en la estación Población Huasco II, el 85% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2.5, el 79% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

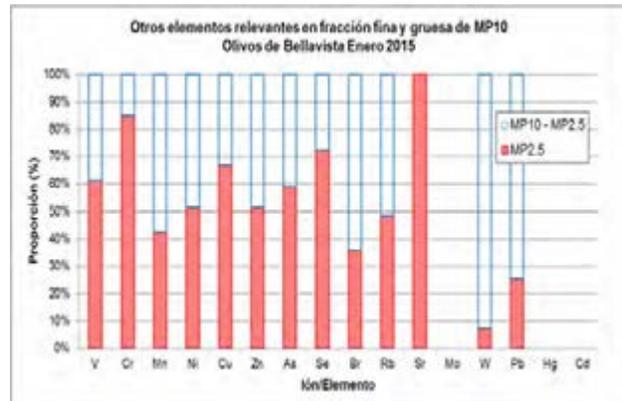
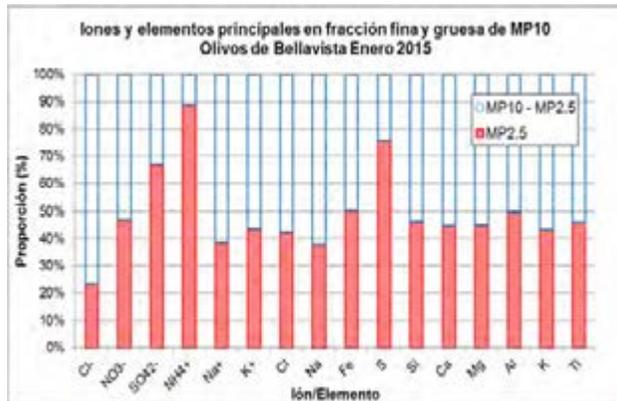
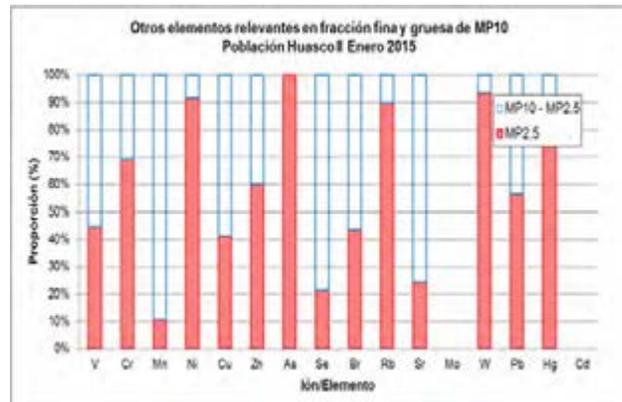
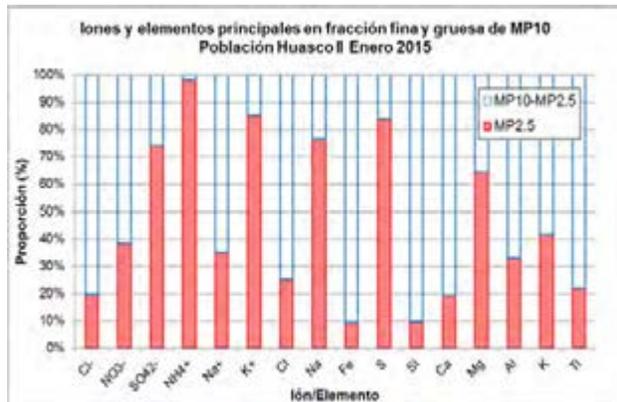
Con respecto a la estación Olivos de Bellavista, el 82% del total de los elementos captados por el sensor FRX en MP10 esta explicado por la presencia de cinco elementos (Cl, Fe, Na, S y Si). Para el caso de los elementos captados por el sensor en MP2.5, el 82% de la muestra se explica por la presencia de los mismos cinco elementos.

Siempre en la estación Olivos de Bellavista, el 84% del total de los iones captados por la Cromatografía Iónica en MP10 esta explicado por la participación de tres iones (Cloruros, Sulfatos y Sodio). Para el caso de los iones mayoritarios en MP2,5, el 80% de la muestra se explica por la presencia de dichos iones.

De forma complementaria, en los siguientes gráficos se ilustra, para cada estación, el porcentaje de iones y elementos principales presente en cada fracción de MP para cada una de las estaciones durante este período.

Gráfico 3-20: Fracción porcentual de iones y elementos principales presentes en cada fracción de MP en enero de 2015





3.2.3.4 Análisis de carbono orgánico y elemental en material particulado

Durante la ejecución del proyecto en la medición de material particulado MP10 y MP2.5, se decidió la toma de muestras especiales para la determinación de carbono orgánico, COrg, y carbono elemental, CE, presente en ambos tipos de material particulado.

Los días seleccionados fueron el 12 y 26 de noviembre de 2014, los que estaban fuera del calendario de mediciones de material particulado.

Como la zona en que se encuentran los receptores más sensibles corresponde a la localidad de Huasco, Estación Población Huasco II fue seleccionada para el muestreo en comento.

Las determinaciones analíticas cuantitativas de ambos tipos de carbón en el material particulado fueron realizadas en el Desert Research Institute, DRI, Nevada, USA.

En Tabla 3–19, se entrega un resumen de los resultados para COrg y CE en MP10 y MP2.5 de los días 12 y 26 de noviembre de 2014.

Tabla 3–19: Concentración de MP10, MP2.5, COrg y CE medido en Huasco

Material particulado	Fecha	Concentración (µg/m³N)	Carbono orgánico (µg/m³N)	Carbono elemental (µg/m³N)	Carbono total (µg/m³N)
MP2.5	12-11-14	12	2,46	0,09	2,6
	26-11-14	10	2,61	0,13	2,7
MP10	12-11-14	31	4,12	0,50	4,6
	26-11-14	39	3,04	0,36	3,4

De la tabla anterior se observa que el mayor aporte de carbono total en material particulado medido en Huasco proviene del MP2.5, fracción que corresponde a la de 100% de respirabilidad y que presenta un conocido efecto sobre la salud humana.

Cabe destacar que el aporte porcentual del COrg al carbono total varía entre 89 y 96 por ciento, para MP2.5 y MP10, respectivamente.

El carbono orgánico se asocia a la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos, HAP, sustancias que en algunos casos son cancerígenas, como ejemplo, se encuentra de benzo (α) pireno.

Al considerar la actividad desarrollada por las fuentes emisoras más significativas en cuanto a emisiones de contaminantes atmosféricos en Huasco, como son Central Termoeléctrica Guacolda (con sus cuatro unidades generadoras de 151 MW cada una) y Planta de Pellets de CMP, en los días de medición de MP para la determinación de COrg y CE, se ha encontrado que Central Guacolda opera el día 12 con sus cuatro unidades, generando 10208 MW con un consumo de carbón del orden de 3700 toneladas⁷. En cambio, Planta de Pellets el día 12 operó regularmente con todas sus fuentes emisoras y tuvo un consumo de carbón de 222 toneladas, un orden de magnitud más bajo que el de la Central Guacolda. El día 26 de noviembre la Central Guacolda genera sólo con tres unidades 10140 MW y un consumo de carbón próximo a las mismas 3700 toneladas del día 12. Planta de Pellets el día 26 estuvo con su proceso térmico detenido, por lo que no consumió carbón. Esto indicaría que el aporte de COrg y CE de Planta de Pellets no es tan determinante en el material particulado medido en Huasco.

El origen del CE y COrg como aerosol puede ser primario (emitido directamente al aire por fuentes emisoras) o secundario como consecuencia de reacciones en fase gas de compuestos orgánicos que suceden en la atmósfera. Ambos tipos de aerosoles pueden tener origen antrópico y/o natural⁸.

Cabe destacar que el carbón elemental a veces está referido a carbón negro y es un contaminante primario formado en procesos de combustión. En cambio, el material particulado orgánico MPO,

⁷ CDEC: <http://www.cdec-sic.cl/>

⁸ M.C Jacobson et al.: Organic Atmospheric Aerosols. Reviews of Geophysics 38,2/May 2000

equivalente a carbono orgánico, es una mezcla compleja de diferentes grupos de compuestos orgánicos originados mediante una gran variedad de procesos.⁹

Finalmente, como el aporte de COrg es muy superior al del CE y el COrg es en parte importante de origen secundario, es un tema de preocupación en la calidad del aire de Huasco, ya que su aporte porcentual es superior al 90%, con una participación de 3 y 4 microgramos en MP2.5 y MP10, respectivamente.

3.2.4 Análisis y discusión de resultados de la caracterización química de material particulado

Los resultados de la caracterización química elemental mediante Fluorescencia de Rayos X, FRX, y de iones solubles en agua a través de Cromatografía Iónica, CI, se analizan por separado, tratando de asignar en forma preliminar, el origen y aporte de las especies determinadas.

Se destaca, que con el período que cubre la caracterización química, la que comprende los meses de junio a noviembre de 2014 en este Informe 2 del presente proyecto, no es posible ser categórico con las afirmaciones que se entregan. Ello porque es ampliamente difundido en el medio científico-técnico que la contaminación atmosférica es altamente aleatoria en su comportamiento espacial y temporal, debido a la fuerte incidencia que tiene la meteorología sobre la concentración de los contaminantes de un lugar específico, y a que las emisiones también experimentan cambios con el transcurso del tiempo. Ello conduce a que el comportamiento espacio - temporal de la contaminación atmosférica no sea constante, sino muy variable de un día a otro.

3.2.4.1 Origen y aporte elemental al MP10 y MP2,5

El procedimiento aplicado para asignar el origen de algunos elementos o iones se sustenta en considerar la presencia de estos en la fracción fina, MP2.5, partida por la presencia de estos mismos en las MP10, las que desde luego incluyen a las MP2.5, todo multiplicado por 100 para considerar el aporte porcentual. Ello junto a lo indicado en la literatura sobre las componentes presentes en las MP10 y MP2.5, en cuanto a elementos y iones presentes en el material particulado, MP, analizado.

Se destaca que para FRX la técnica permite detectar 51 elementos, como no todos están presentes en el MP analizado en el presente proyecto, ello conduce a considerar 26 elementos. Los restantes elementos no se incluyen en este desarrollo, debido a que algunos de ellos están presentes en el rango de los nanogramos.

Para aplicar lo anterior, se emplea la siguiente ecuación sobre los promedios mensuales:

⁹ M. Sillanpää et al.: Organic, elemental and inorganic carbon. Atmos. Chem. Phys., 5,2869-2879, 2005

$$\text{Fracción Porcentual del elemento } i \text{ en MP2.5} = \left(\frac{\text{Contenido del elemento } i \text{ en MP2.5}}{\text{Contenido del elemento } i \text{ en MP10}} \right) * 100$$

Lo anterior da lugar a las fracciones que se entregan en las tablas siguientes.

Tabla 3–20: Fracción porcentual de elementos principales en MP2,5 determinados por FRX en estaciones red complementaria

Playa Brava

Periodo	Fracción de elemento en MP2.5/Fracción de elemento en MP10												
	Cl	Na	Fe	S	Si	Ca	Mg	Al	K	Ti	V	Cr	Mn
jun-14	22,06%	57,35%	9,77%	76,89%	10,81%	24,87%	36,24%	45,60%	84,01%	21,17%	27,19%	58,52%	24,56%
jul-14	23,54%	46,59%	10,50%	74,73%	12,88%	31,97%	50,81%	37,05%	40,63%	19,41%	7,88%	77,27%	23,92%
ago-14	11,34%	48,85%	5,16%	59,78%	4,20%	14,22%	31,37%	24,78%	48,48%	7,43%	11,66%	49,68%	8,67%
Jun-Ago 14	18,98%	50,93%	8,48%	70,47%	9,30%	23,69%	39,47%	35,81%	57,71%	16,00%	15,58%	61,82%	19,05%
sep-14	15,16%	44,73%	6,09%	67,53%	1,85%	19,65%	38,47%	32,86%	71,48%	29,22%	25,88%	80,17%	16,61%
oct-14	14,99%	39,46%	5,90%	66,19%	8,09%	16,86%	39,78%	26,49%	38,08%	24,50%	4,18%	75,46%	4,26%
nov-14	12,52%	55,85%	7,05%	68,59%	6,34%	18,80%	25,02%	24,73%	60,72%	21,14%	18,79%	74,42%	9,14%
Sep-Nov 14	14,22%	46,68%	6,35%	67,44%	5,43%	18,44%	34,42%	28,03%	56,76%	24,95%	16,29%	76,68%	10,00%
dic-14	27,65%	56,68%	6,70%	67,74%	7,30%	24,72%	33,78%	100,00%	39,78%	21,88%	53,38%	0,00%	2,06%
ene-15	13,96%	52,58%	24,69%	47,37%	1,91%	42,55%	---	28,61%	29,66%	23,34%	---	90,48%	4,97%
Dic 14 -Ene 15	20,81%	54,63%	15,69%	57,55%	4,60%	33,64%	33,78%	64,31%	34,72%	22,61%	53,38%	45,24%	3,52%

Pob. Huasco II

Periodo	Fracción de elemento en MP2.5/Fracción de elemento en MP10												
	Cl	Na	Fe	S	Si	Ca	Mg	Al	K	Ti	V	Cr	Mn
jun-14	21,86%	66,31%	6,26%	77,44%	10,55%	21,35%	48,63%	36,35%	73,17%	22,48%	18,40%	73,28%	15,89%
jul-14	14,45%	49,40%	3,13%	86,67%	4,88%	11,38%	25,66%	19,61%	30,99%	8,73%	7,94%	51,49%	12,44%
ago-14	17,10%	54,62%	4,11%	75,59%	8,51%	14,92%	15,77%	28,12%	57,92%	9,90%	11,88%	73,98%	10,46%
Jun-Ago 14	17,81%	56,78%	4,50%	79,90%	7,98%	15,88%	30,02%	28,03%	54,03%	13,70%	12,74%	66,25%	12,93%
sep-14	20,40%	52,78%	4,94%	75,38%	2,85%	14,83%	33,28%	25,28%	68,63%	15,11%	16,60%	69,59%	17,05%
oct-14	23,54%	46,12%	3,42%	66,89%	6,83%	10,14%	40,58%	30,71%	76,52%	6,99%	4,41%	57,17%	13,68%
nov-14	16,83%	75,73%	3,38%	80,39%	6,84%	15,65%	38,07%	20,62%	69,45%	6,47%	13,00%	49,37%	6,22%
Sep-Nov 14	20,26%	58,21%	3,91%	74,22%	5,51%	13,54%	37,31%	25,54%	71,53%	9,52%	11,34%	58,71%	12,32%
dic-14	26,84%	68,95%	4,82%	69,62%	9,21%	22,38%	43,66%	33,16%	35,86%	12,46%	28,33%	6,96%	5,07%
ene-15	25,28%	76,68%	9,30%	84,08%	9,44%	19,29%	64,50%	32,95%	41,68%	21,92%	44,51%	68,91%	10,48%
Dic 14 -Ene 15	26,06%	72,81%	7,06%	76,85%	9,33%	20,83%	54,08%	33,05%	38,77%	17,19%	36,42%	37,94%	7,78%

Olivos de Bellavista

Periodo	Fracción de elemento en MP2.5/Fracción de elemento en MP10												
	Cl	Na	Fe	S	Si	Ca	Mg	Al	K	Ti	V	Cr	Mn
jun-14	16,28%	51,76%	11,47%	56,13%	6,63%	25,69%	41,91%	29,90%	62,39%	19,35%	4,64%	72,60%	26,87%
jul-14	11,11%	44,56%	12,67%	77,62%	5,20%	17,47%	21,63%	27,06%	36,91%	6,95%	0,00%	69,18%	0,74%
ago-14	20,97%	60,93%	11,48%	63,96%	8,52%	17,30%	29,29%	24,98%	44,71%	12,79%	2,33%	54,82%	10,39%
Jun-Ago 14	16,12%	52,42%	11,88%	65,90%	6,79%	20,16%	30,95%	27,31%	48,01%	13,03%	2,32%	65,53%	12,67%
sep-14	18,61%	42,10%	10,41%	55,85%	7,63%	15,74%	---	24,99%	42,88%	8,33%	6,52%	71,58%	15,61%
oct-14	16,78%	38,73%	5,36%	28,89%	5,15%	9,24%	21,87%	19,17%	28,44%	4,06%	4,14%	65,46%	7,79%
nov-14	14,28%	47,89%	8,70%	65,85%	10,57%	16,32%	76,59%	19,94%	41,27%	11,85%	7,20%	46,03%	20,37%
Sep-Nov 14	16,56%	42,91%	8,16%	50,20%	7,78%	13,77%	49,23%	21,37%	37,53%	8,08%	5,95%	61,02%	14,59%
dic-14	24,12%	83,60%	11,87%	48,39%	10,25%	16,15%	41,24%	26,83%	23,76%	7,26%	2,01%	51,64%	11,68%
ene-15	42,78%	38,11%	50,26%	75,61%	46,18%	44,77%	45,01%	49,78%	43,55%	45,87%	61,18%	85,02%	42,75%
Dic 14 -Ene 15	33,45%	60,85%	31,06%	62,00%	28,21%	30,46%	43,12%	38,30%	33,66%	26,56%	31,60%	68,33%	27,21%

Nota: La ausencia de datos responde al hecho que el elemento no fue encontrado ni en MP10 ni en MP2.5 o bien a datos eliminados debido a que el contenido en MP2,5, de acuerdo al laboratorio, resultó ser mayor al del MP10.

Tabla 3–21: Fracción porcentual de otros elementos relevantes en MP2,5 determinados por FRX en estaciones red complementaria

Playa Brava

Periodo	Fracción de elemento en MP2.5/Fracción de elemento en MP10												
	Ni	Cu	Zn	As	Se	Br	Rb	Sr	Mo	W	Pb	Hg	Cd
jun-14	24,90%	75,07%	79,41%	81,16%	74,71%	20,28%	78,23%	29,75%	0,00%	60,81%	85,92%	0,00%	43,27%
jul-14	26,49%	76,21%	63,22%	65,07%	68,54%	30,64%	64,91%	41,10%	0,00%	80,82%	70,53%	---	---
ago-14	72,78%	39,92%	46,13%	29,98%	36,53%	17,29%	67,04%	26,92%	54,97%	0,00%	33,93%	---	---
Jun-Ago 14	41,39%	63,73%	62,92%	58,74%	59,93%	22,74%	70,06%	32,59%	18,32%	47,21%	63,46%	0,00%	43,27%
sep-14	60,65%	76,98%	35,62%	30,23%	41,75%	12,73%	84,00%	27,23%	---	0,00%	61,80%	---	---
oct-14	8,30%	78,78%	49,02%	48,71%	65,89%	14,88%	55,96%	21,77%	---	72,67%	39,22%	---	---
nov-14	13,42%	44,00%	36,66%	44,14%	56,20%	25,84%	82,31%	24,31%	---	---	82,40%	---	24,25%
Sep-Nov 14	27,45%	66,59%	40,43%	41,03%	54,61%	17,81%	74,09%	24,44%	---	36,34%	61,14%	---	24,25%
dic-14	81,43%	62,07%	64,64%	56,54%	70,91%	17,94%	38,56%	42,98%	0,00%	47,20%	49,98%	11,32%	---
ene-15	91,48%	77,79%	31,65%	94,23%	45,41%	20,39%	64,31%	16,47%	89,43%	40,16%	67,36%	0,00%	---
Dic 14 -Ene 15	86,45%	69,93%	48,15%	75,39%	58,16%	19,17%	51,44%	29,73%	44,72%	43,68%	58,67%	5,66%	---

Pob. Huasco II

Periodo	Fracción de elemento en MP2.5/Fracción de elemento en MP10												
	Ni	Cu	Zn	As	Se	Br	Rb	Sr	Mo	W	Pb	Hg	Cd
jun-14	20,12%	54,52%	75,80%	81,80%	69,06%	29,03%	77,38%	37,07%	43,38%	82,37%	97,49%	---	58,71%
jul-14	42,03%	38,25%	62,37%	89,99%	80,67%	44,33%	24,97%	14,11%	66,60%	94,59%	59,42%	0,00%	---
ago-14	48,37%	57,95%	63,42%	72,02%	50,54%	35,91%	75,64%	20,25%	72,50%	38,80%	80,84%	0,00%	0,00%
Jun-Ago 14	36,84%	50,24%	67,20%	81,27%	66,76%	36,42%	59,33%	23,81%	60,82%	71,92%	79,25%	0,00%	29,35%
sep-14	58,03%	49,02%	50,60%	51,14%	36,41%	28,30%	38,96%	27,65%	---	0,82%	67,23%	0,00%	0,00%
oct-14	14,91%	56,35%	38,58%	56,96%	47,88%	17,70%	70,86%	18,68%	---	0,00%	19,55%	0,00%	0,00%
nov-14	60,12%	49,44%	47,10%	83,95%	43,99%	32,50%	80,69%	23,31%	---	---	63,37%	---	54,73%
Sep-Nov 14	44,35%	51,60%	45,43%	64,01%	42,76%	26,17%	63,50%	23,21%	---	0,41%	50,05%	0,00%	18,24%
dic-14	38,15%	100,00%	59,92%	93,18%	43,42%	14,95%	50,35%	24,67%	100,00%	---	42,04%	---	---
ene-15	91,70%	41,22%	60,09%	100,00%	21,28%	43,33%	89,62%	24,46%	---	93,45%	56,45%	90,77%	---
Dic 14 -Ene 15	64,92%	70,61%	60,01%	96,59%	32,35%	29,14%	69,99%	24,57%	100,00%	93,45%	49,24%	90,77%	---

Olivos de Bellavista

Periodo	Fracción de elemento en MP2.5/Fracción de elemento en MP10												
	Ni	Cu	Zn	As	Se	Br	Rb	Sr	Mo	W	Pb	Hg	Cd
jun-14	39,75%	53,47%	52,16%	66,28%	55,81%	36,13%	72,05%	30,15%	0,00%	51,49%	66,73%	---	0,00%
jul-14	30,79%	66,54%	45,34%	79,28%	33,01%	26,02%	38,99%	22,68%	66,67%	50,63%	42,52%	---	---
ago-14	15,85%	44,43%	48,68%	54,62%	34,90%	38,31%	46,65%	28,55%	29,51%	83,81%	83,21%	---	0,00%
Jun-Ago 14	28,80%	54,81%	48,73%	66,73%	41,24%	33,49%	52,56%	27,13%	32,06%	61,98%	64,16%	---	0,00%
sep-14	75,72%	38,07%	50,10%	55,63%	33,45%	20,30%	67,36%	25,78%	86,21%	84,08%	14,77%	0,00%	---
oct-14	3,38%	25,68%	22,30%	12,39%	30,87%	11,92%	41,17%	15,25%	0,00%	45,66%	18,46%	---	---
nov-14	20,62%	47,10%	46,96%	31,52%	78,95%	31,02%	58,68%	20,93%	---	90,34%	61,41%	---	9,38%
Sep-Nov 14	33,24%	36,95%	39,79%	33,18%	47,76%	21,08%	55,74%	20,65%	43,10%	73,36%	31,55%	0,00%	9,38%
dic-14	67,40%	34,92%	34,28%	18,91%	19,96%	11,09%	35,92%	17,99%	0,00%	89,22%	69,01%	---	---
ene-15	51,24%	66,77%	51,26%	58,57%	72,50%	35,73%	48,53%	100,00%	---	7,30%	25,46%	---	---
Dic 14 -Ene 15	59,32%	50,85%	42,77%	38,74%	46,23%	23,41%	42,22%	58,99%	0,00%	48,26%	47,24%	---	---

Nota: La ausencia de datos responde al hecho que el elemento no fue encontrado ni en MP10 ni en MP2.5 o bien a datos eliminados debido a que el contenido en MP2,5, de acuerdo al laboratorio, resultó ser mayor al del MP10.

De las tablas anteriores se infiere:

- En el caso de los elementos principales, denominados así debido a que son los que se presentan en mayor cantidad, en estación Playa Brava su presencia en la fracción fina es mayor en el trimestre de invierno que en primavera y en verano salvo excepciones puntuales. En el caso de los otros elementos relevantes y siempre con respecto a la estación Playa Brava, ocurre una situación similar. Lo anterior sugiere que dicha estación recibe emisiones antrópicas principalmente en invierno.
- En la estación Población Huasco II la diferencia estacional no es tan marcada como en Playa Brava, no obstante los valores en el caso de metales como arsénico, plomo, cadmio y molibdeno parecen indicar que el área urbana de Huasco se encuentra afecta a una mayor cantidad de emisiones de origen antrópico en invierno que en primavera y verano.
- Lo anterior resulta ser igualmente válido en el caso de la estación Olivos de Bellavista.

Los hallazgos previamente enunciados no son inesperados dado que en invierno las condiciones para la dispersión de material particulado son menores que en primavera (velocidad de viento es menor) y en esta época las fuentes emisoras de material particulado fino también son mayores debido a la necesidad de calefacción.

Al considerar ahora los mayores porcentajes, en todas las estaciones destaca el azufre (S), lo que indicaría la presencia de azufre secundario. El arsénico muestra niveles entre 58 y 81% en invierno, lo que indicaría presencia de origen antrópico o procesos de combustión industrial para las tres estaciones.

En el caso del hierro, los porcentajes son bajos, con un aumento en verano en relación a invierno y primavera, lo cual indica que el hierro se encuentra principalmente en la fracción gruesa del MP10 y no provendría, por tanto, de fuentes puntuales sino de fuentes areales (acopios) o del suelo. Elementos como el silicio, aluminio, manganeso y calcio se encuentran también principalmente en la fracción gruesa y podrían ser aportados por el suelo, lo cual se sustenta en los datos que proporciona la tabla siguiente para los principales elementos que aporta el suelo y la corteza terrestre al material particulado atmosférico, destacando que su participación cae en el rango de la fracción gruesa (2,5 a 10 micrones) del material particulado medido en el aire.

Tabla 3–22: Abundancia promedio de elementos en suelo y rocas de corteza terrestre

Elemento	Abundancia (ppm másico)	
	Suelo	Roca de corteza
Si	330000	311000
Al	71300	77400
Fe	38000	34300
Ca	13700	25700
K	13600	29500
Mg	6300	33000

Elemento	Abundancia (ppm másico)	
	Suelo	Roca de corteza
Na	6300	31900
Ti	4600	4400
Mn	850	670
Cr	200	48
V	100	98

Fuente: Atmospheric Chemistry and Physics. John H. Seinfeld and Spyros N. Pandis. John Wiley and Sons Inc. 1998.

Para el caso de los iones solubles en agua: amonio (NH_4^+), cloruro, (Cl^-), nitrato, (NO_3^-), potasio, (K^+), sodio (Na^+) y sulfato, (SO_4^{2-}), determinados tanto en las MP10 como en las MP2.5, la tabla siguiente muestra la fracción porcentual presente en MP2.5.

Tabla 3–23: Fracción porcentual de iones en MP2,5 medido en Huasco determinados por Cromatografía Iónica

Playa Brava

Periodo	Fracción de ion en MP2.5/Fracción de ión en MP10					
	Cl-	NO3-	SO42-	NH4+	Na+	K+
jun-14	20,98%	35,00%	79,08%	83,92%	36,42%	76,71%
jul-14	18,17%	39,03%	58,19%	38,70%	32,51%	32,04%
ago-14	14,52%	34,83%	62,90%	44,41%	21,61%	53,27%
Jun-Ago 14	17,89%	36,28%	66,72%	55,68%	30,18%	54,01%
sep-14	15,51%	45,76%	65,51%	77,81%	25,08%	73,48%
oct-14	14,28%	31,03%	69,86%	79,04%	20,05%	35,09%
nov-14	11,35%	29,22%	68,99%	74,99%	20,16%	59,85%
Sep-Nov 14	13,71%	35,34%	68,12%	77,28%	21,76%	56,14%
dic-14	23,97%	50,74%	56,60%	91,86%	29,33%	27,50%
ene-15	13,14%	31,76%	45,31%	32,16%	21,95%	25,48%
Dic 14 -Ene 15	18,56%	41,25%	50,96%	62,01%	25,64%	26,49%

Pob. Huasco II

Periodo	Fracción de ion en MP2.5/Fracción de ión en MP10					
	Cl-	NO3-	SO42-	NH4+	Na+	K+
jun-14	15,21%	35,31%	72,43%	56,05%	23,23%	74,87%
jul-14	11,44%	36,21%	77,58%	88,35%	26,84%	45,24%
ago-14	14,84%	28,94%	72,78%	91,12%	25,55%	62,71%
Jun-Ago 14	13,83%	33,49%	74,26%	78,50%	25,21%	60,94%
sep-14	19,09%	43,42%	65,15%	90,18%	27,30%	67,45%
oct-14	16,08%	36,88%	47,46%	84,29%	26,38%	71,19%
nov-14	14,80%	32,44%	73,02%	---	27,20%	75,50%
Sep-Nov 14	16,66%	37,58%	61,88%	87,24%	26,96%	71,38%
dic-14	18,86%	42,80%	57,22%	81,25%	25,82%	29,99%
ene-15	19,49%	38,52%	74,04%	98,23%	35,13%	85,39%

Dic 14 -Ene 15	19,18%	40,66%	65,63%	89,74%	30,47%	57,69%
----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Olivos de Bellavista

Periodo	Fracción de ion en MP2.5/Fracción de ión en MP10					
	Cl-	NO3-	SO42-	NH4+	Na+	K+
jun-14	9,39%	37,44%	52,77%	29,56%	25,35%	64,02%
jul-14	9,41%	22,57%	83,61%	67,20%	27,75%	82,32%
ago-14	10,10%	22,81%	56,49%	69,11%	24,99%	47,86%
Jun-Ago 14	9,63%	27,61%	64,29%	55,29%	26,03%	64,73%
sep-14	19,03%	34,02%	54,38%	65,18%	27,68%	45,15%
oct-14	13,24%	19,57%	22,75%	30,32%	16,11%	27,23%
nov-14	14,72%	27,03%	59,02%	84,51%	26,40%	100,00%
Sep-Nov 14	15,66%	26,87%	45,39%	60,00%	23,40%	57,46%
dic-14	25,21%	43,50%	47,08%	81,81%	31,44%	24,66%
ene-15	23,73%	46,97%	67,10%	89,01%	38,75%	43,77%
Dic 14 -Ene 15	24,47%	45,23%	57,09%	85,41%	35,10%	34,22%

Nota: La ausencia de datos responde al hecho que el elemento no fue encontrado ni en MP10 ni en MP2.5 o bien a datos eliminados debido a que el contenido en MP2,5, de acuerdo al laboratorio, resultó ser mayor al del MP10.

De la tabla anterior se infiere que los iones cloruro y sodio se encuentran principalmente en la fracción gruesa del MP10, lo cual es consistente con el hecho que son aportados principalmente por el aerosol marino. Distinto es el caso del sulfato, lo cual sugiere que este último es aportado por fuentes de origen antrópico. En efecto, este último ion, al igual que en el caso de la mayoría de los elementos, muestra mayores concentraciones en invierno que en primavera.

Sin perjuicio de lo anterior, una fracción del sulfato es aportado igualmente por aerosol marino, al igual que en el caso del nitrato. La tabla siguiente entrega la composición del agua de mar para algunos elementos de interés para este Informe, la que corrobora la presencia de ciertos iones en el material particulado medido en Huasco, como aporte de los aerosoles marinos, dentro de los que destacarían los que contienen cloro, sodio, azufre, magnesio y calcio, con compuestos como NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ entre otros.

Tabla 3–24: Composición elemental del agua de mar

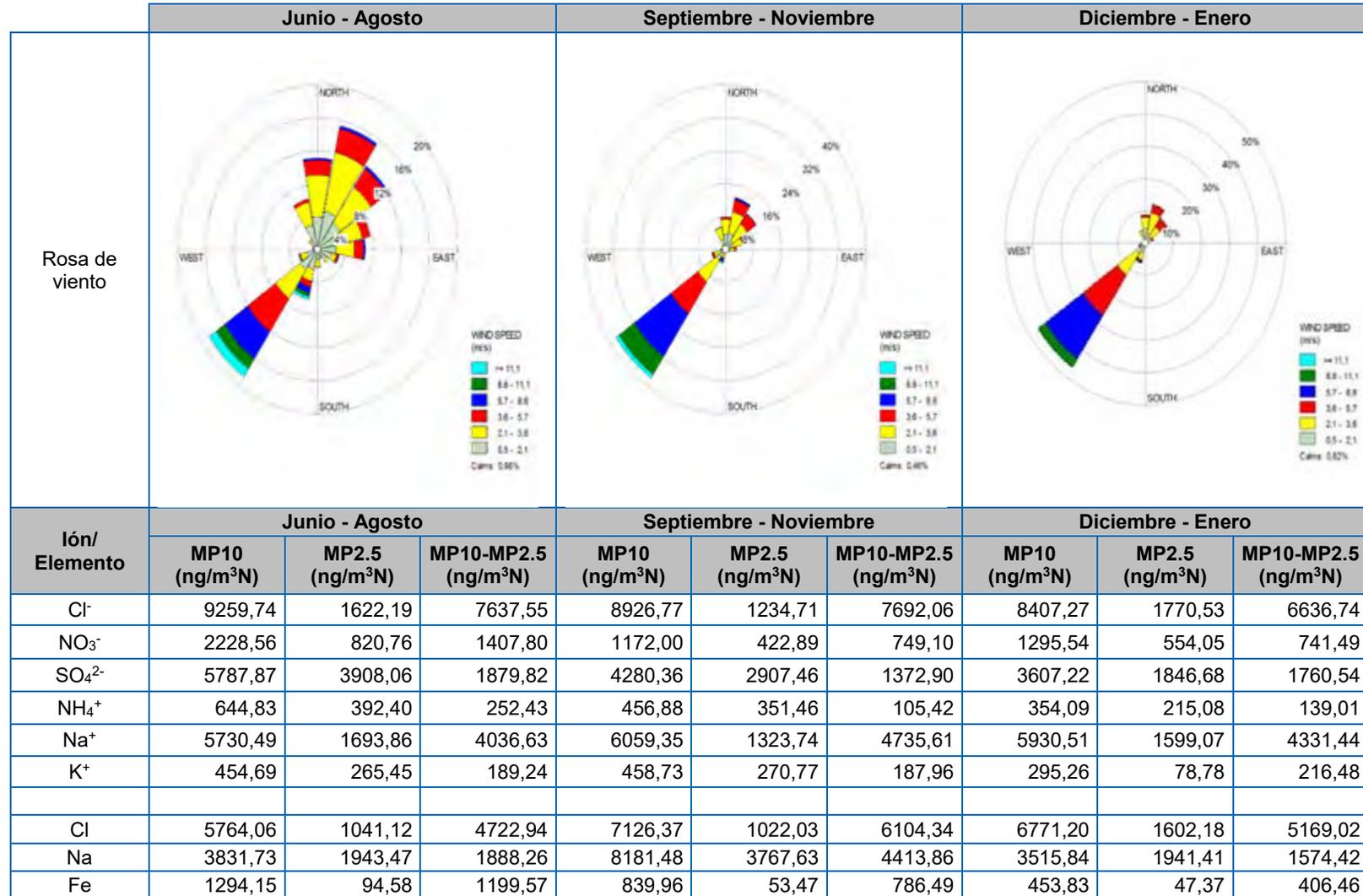
Elemento	Abundancia (ppm másico)	Especies principales
O	857000	H ₂ O, O _{2(g)} , SO ₄ ²⁻
H	108000	H ₂ O
Cl	19000	Cl ⁻
Na	10500	Na ⁺
Mg	1350	Mg ²⁺ , MgSO ₄
S	885	SO ₄ ²⁻
Ca	400	Ca ²⁺ , CaSO ₄
K	380	K ⁺

Elemento	Abundancia (ppm másico)	Especies principales
Br	65	Br ⁻
C	28	HCO ₃ ⁻ , H ₂ CO ₃ , CO ₃ ²⁻
Sr	8	Sr ²⁺ , SrSO ₄
B	4,6	B(OH) ₃ , B(OH) ₂ O ⁻
Si	3	Si(OH) ₄ , Si(OH) ₃ O ⁻

Fuente: Adaptada para el presente proyecto. Ecología. Ramón Mergalef López. Ediciones Omega. 1974.

Lo anteriormente expuesto se contextualiza a continuación, considerando la meteorología en cada una de las estaciones y períodos.

Tabla 3–25: Origen de elementos e iones presentes en estación Playa Brava

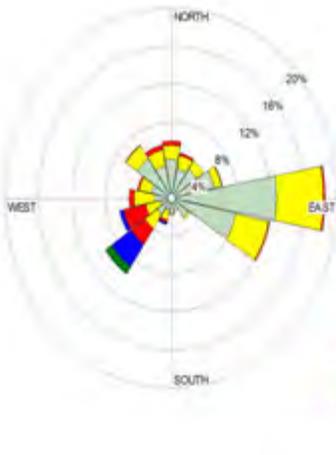
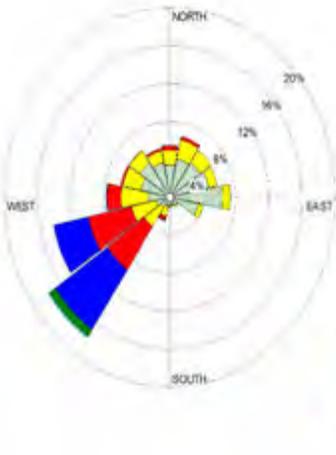
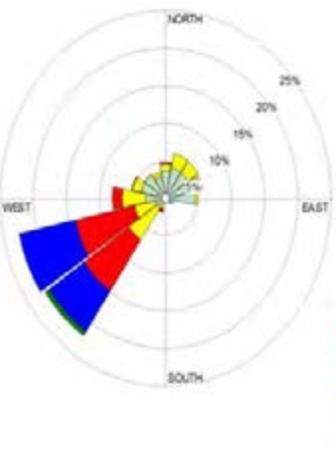


S	2326,25	1617,58	708,67	1595,62	1077,76	517,86	1415,71	811,12	604,59
Si	335,20	26,17	309,03	260,77	14,74	246,03	296,56	14,81	281,74
Ca	563,29	121,95	441,34	419,65	77,35	342,29	374,35	115,20	259,15
Mg	1004,84	390,08	614,76	1391,21	495,27	895,94	---	---	---
Al	500,33	170,78	329,56	586,58	163,92	422,66	387,27	217,70	169,56
K	467,28	278,14	189,14	435,75	255,77	179,98	259,01	93,00	166,01
Ti	23,03	3,12	19,91	16,79	4,08	12,71	18,11	4,07	14,04
V	6,31	0,97	5,34	5,44	1,07	4,38	3,39	1,81	1,58
Cr	2,31	1,36	0,96	2,67	2,05	0,62	1,59	0,73	0,86
Mn	9,59	1,61	7,98	6,29	0,75	5,54	4,19	0,13	4,05
Ni	1,18	0,59	0,59	0,94	0,40	0,55	0,80	0,67	0,13
Cu	14,66	9,09	5,58	3,93	2,58	1,35	3,39	2,31	1,08
Zn	13,46	8,25	5,22	6,37	2,47	3,90	4,36	2,23	2,13
As	10,57	6,02	4,56	1,45	0,56	0,90	0,61	0,44	0,17
Se	4,09	2,32	1,77	2,07	1,11	0,96	0,91	0,56	0,34
Br	32,58	7,14	25,44	22,36	3,89	18,47	18,39	3,46	14,92
Rb	2,99	2,16	0,83	2,84	2,20	0,64	0,92	0,48	0,44
Sr	8,57	2,73	5,84	7,55	1,83	5,72	7,28	2,50	4,78
Mo	0,53	0,25	0,28	0,00	0,00	0,00	0,09	0,07	0,02
W	2,72	1,65	1,06	1,83	0,85	0,98	4,06	1,81	2,25
Pb	7,61	4,01	3,60	3,39	2,00	1,39	2,12	1,15	0,97
Hg	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,15	0,01	0,14
Cd	0,25	0,11	0,14	0,18	0,04	0,14	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	23,70	2,62	21,09	36,80	16,84	19,95	17,39	4,52	12,86

En la tabla precedente, correspondiente a la estación Playa Brava, al comparar la época invernal con la primavera, las concentraciones de As, Pb, S y Fe, representativos de emisiones de origen antrópico y de Si, representativo del polvo natural, son mayores en invierno que en primavera y verano. Lo anterior se explica al revisar las rosas de viento en cada periodo, a partir de las cuales se observa que en invierno se presentan con mucho mayor frecuencia vientos provenientes del continente, donde se generan emisiones de origen antrópico, los cuales se ven minimizados en primavera y aún más en verano donde priman los vientos desde el océano.

Lo anterior permite concluir que la estación Playa Brava refleja, mayoritariamente, la influencia de los aerosoles marinos sobre el continente, salvo en época estival donde se tiene influencia desde tierra al igual que en ocasiones puntuales durante primavera-verano. Precisamente esta influencia desde tierra, en particular desde Huasco, impide considerar a esta estación como una buena indicadora de la concentración natural o background en la zona.

Tabla 3–26: Origen de elementos e iones presentes en estación Población Huasco II

	Junio - Agosto			Septiembre - Noviembre			Diciembre - Enero		
Rosa de viento									
Ión/ Elemento	Junio - Agosto			Septiembre - Noviembre			Diciembre - Enero		
	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10-MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10-MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10 (ng/m ³ N)	MP2.5 (ng/m ³ N)	MP10-MP2.5 (ng/m ³ N)
Cl ⁻	5274,21	729,83	4544,39	7813,02	1285,71	6527,31	8882,28	1690,62	7191,66
NO ₃ ⁻	2083,07	699,97	1383,10	1348,49	504,10	844,39	1381,35	565,71	815,64
SO ₄ ²⁻	5217,64	3868,53	1349,11	4130,93	2584,22	1546,72	3586,21	2350,02	1236,19
NH ₄ ⁺	954,52	746,68	207,84	366,50	319,23	47,27	373,57	338,88	34,69
Na ⁺	3977,45	1006,67	2970,78	4855,74	1307,47	3548,28	5885,67	1686,06	4199,61
K ⁺	359,05	231,08	127,97	583,87	418,64	165,24	439,15	265,06	174,09
Cl	3553,28	633,52	2919,77	5482,74	1115,38	4367,35	6096,90	1610,09	4486,80
Na	2671,39	1528,19	1143,20	6139,47	3688,92	2450,55	3878,57	2825,74	1052,82
Fe	4304,11	173,15	4130,96	4317,77	156,18	4161,59	1696,08	116,13	1579,95

S	1770,17	1405,85	364,31	1449,38	1082,80	366,59	1317,97	1013,45	304,52
Si	1029,29	78,20	951,09	873,41	52,06	821,35	483,02	44,99	438,03
Ca	1500,75	215,46	1285,28	1022,32	135,19	887,13	560,12	117,45	442,67
Mg	681,67	190,76	490,91	986,33	371,07	615,27	1168,72	589,21	579,51
Al	575,26	158,02	417,25	683,08	172,36	510,71	632,06	209,07	422,99
K	430,54	243,05	187,49	601,09	431,39	169,71	245,69	93,47	152,22
Ti	58,53	6,96	51,57	53,15	4,44	48,71	28,40	4,92	23,49
V	18,07	2,01	16,06	18,65	1,85	16,79	13,23	4,81	8,42
Cr	3,02	1,92	1,09	3,96	2,31	1,65	1,76	0,57	1,19
Mn	20,43	2,53	17,90	22,89	2,55	20,35	12,48	1,03	11,45
Ni	1,48	0,59	0,89	1,22	0,53	0,70	2,89	1,83	1,06
Cu	15,96	7,76	8,20	8,19	4,24	3,95	4,84	2,89	1,95
Zn	14,97	10,07	4,89	11,12	5,06	6,06	8,36	5,01	3,34
As	7,57	6,22	1,35	1,54	0,99	0,55	1,06	1,04	0,02
Se	2,57	1,76	0,82	1,89	0,79	1,10	1,77	0,63	1,14
Br	14,48	5,27	9,22	16,11	4,09	12,02	16,51	3,75	12,76
Rb	3,14	2,09	1,04	4,49	3,02	1,48	2,13	1,70	0,43
Sr	10,49	2,27	8,22	8,93	2,04	6,90	6,76	1,66	5,10
Mo	0,77	0,51	0,26	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
W	3,19	2,54	0,66	1,95	0,01	1,94	2,18	2,04	0,14
Pb	5,67	4,46	1,21	8,30	3,39	4,91	4,16	2,13	2,03
Hg	0,16	0,00	0,16	0,31	0,00	0,31	0,09	0,08	0,01
Cd	0,14	0,06	0,08	0,76	0,16	0,60	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	28,94	11,00	17,94	28,73	6,04	22,69	35,58	13,73	21,85

En el caso de la estación Población Huasco II se observa, en invierno, una marcada influencia de vientos provenientes desde el valle, con una velocidad baja que dificulta una adecuada dispersión. Al igual que en Playa Brava, es en invierno donde se observa la mayor concentración de azufre, silicio y arsénico, sin embargo, en el caso del plomo y el hierro las concentraciones no disminuyen significativamente en primavera como lo hacen en Playa Brava, aunque sí lo hacen en verano. Nótese que el hierro se encuentra principalmente en la fracción gruesa del MP10, lo cual sugiere que no es aportado por fuentes de combustión.

La similitud en las concentraciones de hierro entre invierno, con fuerte presencia de vientos desde el valle, y primavera, con vientos ya más marcados desde el suroeste sugiere que las fuentes emisoras de este metal son diversas (industrias, erosión del suelo en menor medida), pero principalmente que el aporte de las fuentes emisoras no es uniforme y presenta marcados máximos puntuales asociados a una determinada variable, presumiblemente meteorológica. De otra manera no se explica cómo pueden alcanzarse concentraciones similares ante patrones de velocidad y dirección de viento tan disímiles. Es destacable, siempre en el caso del hierro, que en el verano, con vientos predominantes desde el suroeste, las concentraciones sean más bajas.

Similar patrón al previamente descrito para el hierro se presenta en el caso del vanadio y el manganeso. Es igualmente destacable la baja concentración del ya mencionado vanadio, además de los restantes metales pesados criterio para análisis de riesgo a la salud como el cromo, níquel, plomo, mercurio y cadmio.

A partir de lo anteriormente expuesto, resalta entonces el hecho que la estación Población Huasco II y, por lo tanto, la localidad de Huasco, presenta una influencia de vientos desde el interior no despreciable en invierno, periodo que coincide con las máximas concentraciones registradas. Estos vientos, más que aportar gran cantidad de material particulado, vienen a dificultar la dispersión de este último en Huasco dada su baja velocidad.

La tabla siguiente, por su parte, muestra las concentraciones y rosas de viento en la estación Olivos de Bellavista. Mientras que en invierno se presentan vientos desde y hacia el interior con similar frecuencia, en primavera y verano predominan claramente los vientos desde la costa hacia el interior. Al revisar entonces las concentraciones de hierro, se infiere que este último es emitido principalmente por fuentes en la costa, toda vez que su presencia es mayor en primavera y época estival, al igual que en el caso de los iones sodio y cloruro, reflejo de la influencia de los aerosoles marinos.

Con lo anterior en consideración, llama entonces la atención lo que sucede con el arsénico, el cual se presenta principalmente en invierno. No es posible identificar una fuente responsable, pero aun cuando la concentración es baja es necesario considerar que al parecer una fracción del mismo es arrastrada por vientos que soplan valle abajo.

Tabla 3–27: Origen de elementos e iones presentes en estación Olivos de Bellavista

	Junio - Agosto			Septiembre - Noviembre			Diciembre - Enero		
Rosa de viento									
Ión/ Elemento	Junio - Agosto			Septiembre - Noviembre			Diciembre - Enero		
	MP10 (ng/m³N)	MP2.5 (ng/m³N)	MP10-MP2.5 (ng/m³N)	MP10 (ng/m³N)	MP2.5 (ng/m³N)	MP10-MP2.5 (ng/m³N)	MP10 (ng/m³N)	MP2.5 (ng/m³N)	MP10-MP2.5 (ng/m³N)
Cl ⁻	2409,53	234,80	2174,73	5386,42	822,67	4563,76	6159,37	1527,14	4632,23
NO ₃ ⁻	1594,44	451,71	1142,73	1633,26	421,10	1212,16	1445,00	649,45	795,55
SO ₄ ²⁻	5473,46	3271,53	2201,93	6294,31	2420,84	3873,47	4174,12	2426,28	1747,84
NH ₄ ⁺	1319,55	626,01	693,54	786,17	399,00	387,17	391,81	342,54	49,27
Na ⁺	2328,52	596,37	1732,15	4400,08	970,46	3429,62	4360,98	1481,54	2879,43
K ⁺	244,91	142,91	102,00	399,27	202,44	196,83	387,01	130,14	256,87
Cl	1949,13	327,06	1622,07	3849,74	638,97	3210,78	5300,38	1543,05	3757,33
Na	2344,70	1244,06	1100,65	5987,08	2556,34	3430,73	3285,98	2006,86	1279,12
Fe	813,02	94,84	718,18	1561,51	116,64	1444,87	1314,34	432,93	881,41

S	1858,36	1191,44	666,93	2053,08	937,13	1115,95	1515,27	951,68	563,59
Si	686,46	51,18	635,28	1191,06	88,35	1102,71	1130,60	302,66	827,95
Ca	533,19	103,64	429,55	944,78	121,30	823,48	880,27	246,66	633,61
Mg	406,54	127,50	279,04	---	337,81	---	664,92	282,18	382,74
Al	403,24	108,47	294,77	669,52	138,78	530,75	761,39	271,08	490,30
K	294,87	146,01	148,86	482,17	173,66	308,52	425,04	144,26	280,78
Ti	30,34	4,04	26,30	58,06	4,29	53,77	47,38	12,09	35,29
V	2,83	0,08	2,75	6,89	0,39	6,50	6,35	2,41	3,94
Cr	3,17	2,05	1,12	2,85	1,70	1,15	1,42	0,99	0,43
Mn	10,62	1,43	9,19	17,90	2,38	15,53	17,21	4,63	12,58
Ni	0,91	0,24	0,67	1,10	0,27	0,83	2,02	1,21	0,81
Cu	11,43	5,99	5,44	6,53	2,29	4,24	5,78	2,90	2,89
Zn	16,06	7,91	8,14	14,22	5,47	8,75	10,61	4,48	6,13
As	7,80	4,95	2,86	1,90	0,53	1,37	0,89	0,40	0,48
Se	2,77	1,24	1,54	2,79	1,32	1,47	1,12	0,51	0,61
Br	9,37	3,29	6,08	13,27	2,48	10,79	13,84	2,71	11,14
Rb	1,80	1,01	0,79	2,31	1,18	1,13	1,97	0,85	1,12
Sr	5,22	1,45	3,77	8,98	1,75	7,23	8,95	4,39	4,56
Mo	0,37	0,13	0,24	0,06	0,05	0,01	0,09	0,00	0,09
W	3,70	2,51	1,20	1,96	1,45	0,51	2,02	1,64	0,37
Pb	4,14	2,77	1,37	3,41	0,90	2,51	3,24	1,45	1,80
Hg	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Cd	0,14	0,00	0,14	0,14	0,01	0,12	0,00	0,00	0,00
25 elementos restantes	16,73	2,55	14,18	20,53	2,33	18,21	24,79	3,09	21,70

Finalmente, independiente del origen y estacionalidad de la concentración de los distintos elementos, en particular de los metales pesados, resulta interesante cotejar las concentraciones medidas con las concentraciones máximas o recomendables definidas en normativa de referencia extranjera o bien por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Tal como muestra la Tabla 3–28 a continuación, la concentración de metales pesados se encuentra por debajo de los umbrales de referencia, aun cuando es necesario señalar que en el caso del cromo la normativa de referencia hace mención al cromo hexavalente y en el presente estudio, debido a limitaciones de la técnica de medición, se determinó solo cromo total.

Tabla 3–28: Concentración de metales pesados como parte del MP10 en estación Población Huasco II vs. normativa de referencia extranjera.

Elemento	Conc. Promedio medida ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Referencia OMS - Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Referencia UE - Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Referencia USEPA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cromo total	0,0029	0,00025 ^(a)	-	
Plomo	0,0061	0,5	0,5	0,15 ^(c)
Vanadio	0,0155	1	-	
Níquel	0,0016	0,025 ^(b)	0,02	
Arsénico	0,0048	0,006 ^(b)	0,0066	
Cadmio	0,0003	0,005	0,005	
Mercurio	0,0002	1	-	
Manganeso	0,0190	0,15	-	

OMS: Organización mundial de la salud; UE: Unión Europea; USEPA: Agencia de protección ambiental de Estados Unidos.

(a) Para cromo hexavalente, considerando un riesgo adicional de 1 en 10-4

(b) Considerando un riesgo adicional de 1 en 10-5

(c) Promedio móvil trimestral

3.2.5 Monitoreo complementario de gases

Las concentraciones de gases medidas en estación Población Huasco II muestran que los contaminantes CO, NO₂, O₃ y SO₂ presentan los niveles que entrega la tabla adjunta. Se destaca que los montos de concentración se entregan conforme a los estadísticos que indican las normas de calidad del aire vigentes en el país.

Tabla 3–29: Resumen de concentraciones de gases medidos en estación Población Huasco II ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Mes	Período	CO*	NO ₂	O ₃	SO ₂
Junio	Máximo horario	0.3	43	51	219
	Max. móvil de 8 h	0.2	-	46	-
	Máximo diario	-	20	-	39

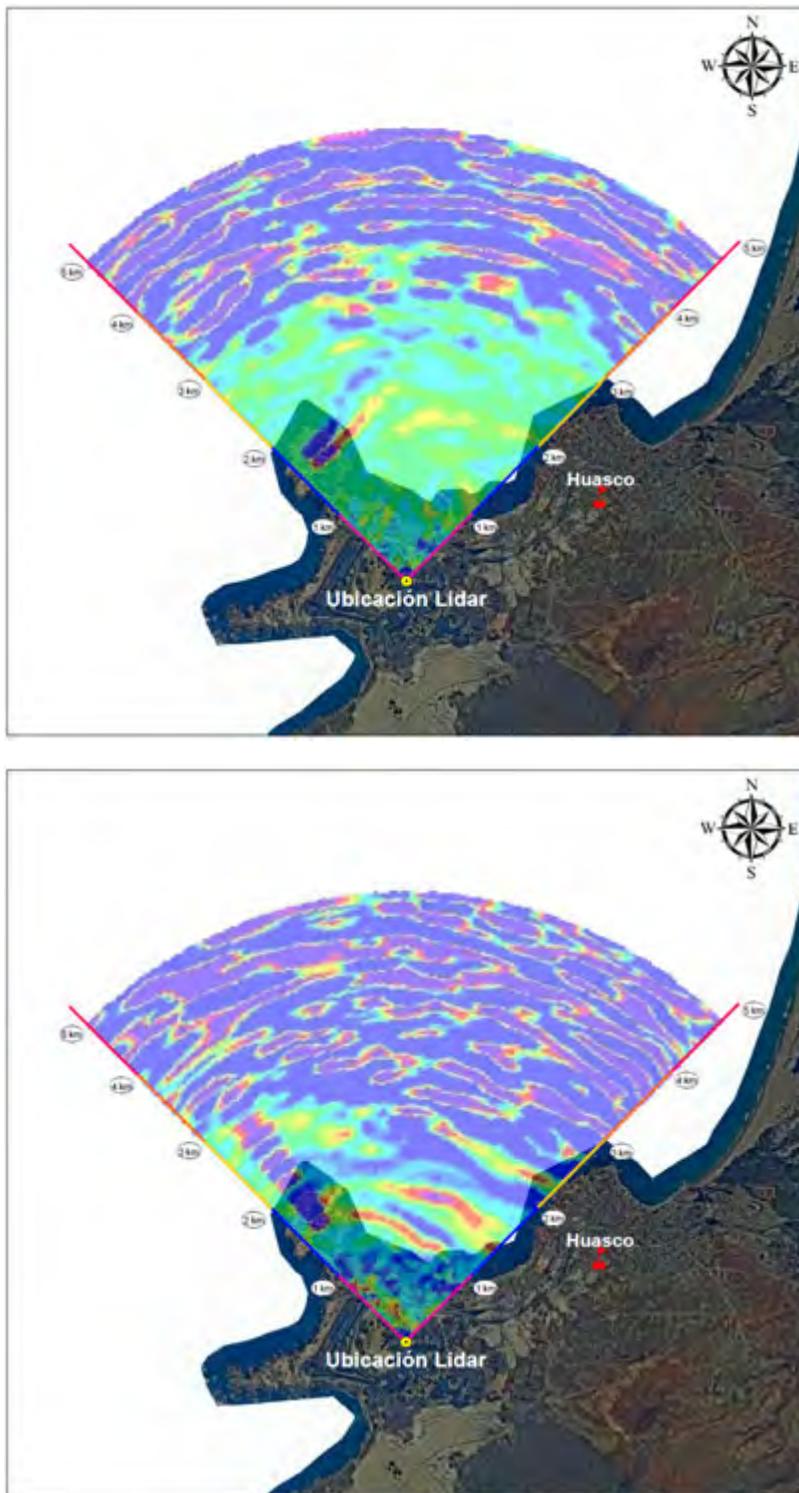
Mes	Período	CO*	NO ₂	O ₃	SO ₂
	Promedio mensual	-	12	-	9
Julio	Máximo horario	2.5	41	64	183
	Max. móvil de 8 h	2.0	-	57	-
	Máximo diario	-	17	-	26
	Promedio mensual	-	8	-	8
Agosto	Máximo horario	10.7	45	65	99
	Max. móvil de 8 h	2.4	-	58	-
	Máximo diario	-	20	-	22
	Promedio mensual	-	8	-	7
Septiembre	Máximo horario	2.5	38	-	227
	Max. móvil de 8 h	0.7	-	-	-
	Máximo diario	-	14	-	21
	Promedio mensual	-	6	-	6
Octubre	Máximo horario	2.6	45	-	501
	Max. móvil de 8 h	0.7	-	-	-
	Máximo diario	-	14	-	44
	Promedio mensual	-	6	-	6
Noviembre	Máximo horario	1.3	39	-	112
	Max. móvil de 8 h	0.4	-	62	-
	Máximo diario	-	9	59	12
	Promedio mensual	-	5	-	5
Diciembre	Máximo horario	0.2	23	-	154
	Max. móvil de 8 h	0.2	-	66	-
	Máximo diario	-	8	63	13
	Promedio mensual	-	4	-	4
Normas de calidad del aire	Horario	30	400	160	1000**
	Móvil de 8 horas	10	-	120	-
	Promedio Diario	-	-	-	250
	Promedio anual	-	100	-	80

*= Concentración de CO en mg/m³N ** = Norma secundaria zona norte

Los gases medidos en estación Población Huasco II por la red complementaria de CMP muestran concentraciones que están a lo menos un orden de magnitud debajo de los límites prescritos en las normas chilenas de calidad del aire.

De la tabla anterior se observa que algunos máximos niveles horarios de SO₂ muestran la influencia de las emisiones de una fuente emisora significativa de SO₂ sobre la estación Población Huasco II, la que correspondería a Central Guacolda; ello se apoya en las trayectorias del penacho que entregan las mediciones LIDAR, desarrolladas para el presente proyecto, tal como se muestra en la Figura 3-8.

Figura 3-8: Trayectoria penacho Central Guacolda en horas desfavorables



En el caso de las concentraciones de los restantes gases medidos en la estación anterior, para el período junio a agosto de 2014, no hay datos que llamen la atención por sus altos niveles.

4. DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS FUENTES EMISORAS EN HUASCO

4.1. Planta de Pellets

Las fuentes emisoras de Planta de Pellets se analizan *in extenso* y por separado en el capítulo 5 del presente informe.

4.2. Central Térmica Guacolda

4.2.1 Descripción General

Dentro de las principales fuentes industriales existentes en Huasco se encuentra la Central Termoeléctrica Guacolda, ubicada en la península Guacolda, a unos 3 km al oeste de la ciudad de Huasco. Esta central cuenta en la actualidad con 4 unidades de 152 MW cada una, que operan con carbón y petcoke, más una quinta unidad en construcción. Además, cuenta con canchas de acopio de combustibles y un vertedero de cenizas.

Guacolda Energía nació el 2 de abril de 1992, como respuesta a la necesidad de proveer de energía al Norte Chico del país. Su ubicación en la Región de Atacama buscó ayudar a asegurar el suministro eléctrico en el sector norte del Sistema Interconectado Central (SIC), y fue así como en 1995 comenzó a funcionar la primera unidad de 152 MW. Guacolda Energía desarrolló en 1996 una segunda unidad para cubrir la mayor demanda del Norte Chico, que aportó otros 152 MW (304 MW totales). Estas dos unidades evacuan sus emisiones a través de una chimenea común. En 2006 la empresa decidió duplicar su capacidad de generación con la construcción de dos nuevas unidades de 152 MW cada una. El 31 de julio de 2009 entró en operación la Unidad 3, que sumada a las Unidades 1 y 2 generan un total de 456 MW. El 31 de marzo de 2010, la Unidad 4 comenzó a inyectar energía a plena capacidad al Sistema Interconectado Central (SIC). En octubre de 2012 se dio la autorización para proceder a la construcción de la Unidad 5 de Guacolda Energía, que considera una unidad de generación de 152 MW. Junto con lo anterior, el proyecto de expansión contempla la instalación de equipamiento ambiental para adecuarse a la nueva Norma de Emisiones para Centrales Termoeléctricas, proyecto que fue aprobado ambientalmente con fecha 21 de febrero de 2014, mediante RCA N° 44/2014. Guacolda Energía estima que la Unidad 5 estará en funcionamiento el segundo semestre de 2015, y de esta forma podrá alcanzar una capacidad de generación instalada de 760 MW.

Tabla 4–1: Características Principales de la Central Térmica Guacolda

Potencia Unidades (MW)		Combustible	Fecha entrada en operación	Generación Bruta (MWh)				
				2010	2011	2012	2013	2014
U1	152	Mezclas carbón con petcoke	1995	1.138.228	1.173.635	841.265	1.274.388	983.853
U2	152		1996	1.109.142	1.003.168	1.201.340	1.244.951	1.045.490
U3	152		2009	1.199.068	1.297.591	1.185.919	1.294.586	1.012.215
U4	152	Mezclas de carbón bituminoso y sub-bituminoso	2010	1.036.581	1.228.613	1.193.764	1.300.944	1.094.884
U5	152		Proyectada para 2° sem. 2015	---	---	---	---	---
Total Central	760			4.483.019	4.703.007	4.422.288	5.114.869	4.136.442

Tabla 4–2: Características de las Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 2^(a), según RCA N° 44/2014

Fuente Puntual	Altura de chimenea (m)	Diámetro de chimenea (m)	Velocidad de salida (m/s)	Temperatura de salida (K)	Coordenadas UTM WGS84	
					Este (m)	Norte (m)
Chimenea unidades 1 y 2	89,0	6,00	12,50	413,15	279.006	6.849.280
Chimenea unidad 3	79,5	5,00	13,96	330,65	279.125	6.849.311
Chimenea unidad 4	89,0	3,60	19,60	403,15	279.188	6.849.260
Chimenea unidad 5	79,5	3,60	13,96	330,65	278.979	6.849.485

(a) Escenario 2 se define como “Central Termoeléctrica Guacolda con 5 Unidades hasta RCA 191/2010”

Tabla 4–3: Características de las Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 3^(a), según RCA N° 44/2014

Fuente	Altura de chimenea (m)	Diámetro de chimenea (m)	Velocidad de salida (m/s)	Temperatura de salida (K)	Coordenadas UTM WGS84	
					Este (m)	Norte (m)
Chimenea unidades 1 y 2	89,0	6,00	12,50	345,15	279.006	6.849.280
Chimenea unidad 3	79,5	3,73	13,96	330,65	279.125	6.849.311
Chimenea unidad 4	89,0	3,73	19,60	345,15	279.188	6.849.260
Chimenea unidad 5	79,5	3,60	13,96	330,65	278.979	6.849.485

(a) Escenario 3 se define como “Central Termoeléctrica Guacolda con Equipos de Retrofit”

De acuerdo a las tablas anteriores, se observa una modificación en los diámetros de las chimeneas de las unidades 3 y 4, dado que en el Escenario 2 los diámetros son 5 y 3,6 metros respectivamente, mientras que en el Escenario 3 ambas chimeneas son de 3,73 metros de diámetro. Según la fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente realizada el 27 de marzo de 2014, ambas chimeneas tienen un diámetro de 3,70 m, según consta en Res. Ex. N° 156/2014 y Res. Ex N° 157/2014 de la SMA.

Figura 4-1: Central termoeléctrica Guacolda



A continuación, se presentan las características de las fuentes areales de la Central Térmica Guacolda, que corresponden al área de la planta, el depósito de cenizas y la cancha de carbón, además de los caminos desde la Central hasta Vallenar y hasta el depósito de cenizas.

Tabla 4-4: Características de las Fuentes Aerales de Central Guacolda (excluye caminos)

Fuente Areal	Superficie (m ²)	Coordenadas UTM del centro del área (WGS84)	
		Este (m)	Norte (m)
Depósito de cenizas	10.000 (a)	279,666	6,844,853
Área planta	16.200	279,066	6,849,290

Cancha de carbón	29.700	279,197	6,848,928
------------------	--------	---------	-----------

(a) Según la RCA N° 44/2014, la cancha de trabajo será de 10.000 m², análogo a lo aprobado actualmente por la RCA N°191/2010, los sectores en donde no se esté trabajando serán cubiertos con una capa de arena de 0,3 m de espesor.

Fuente: Archivos de modelación de la Adenda 1 de la DIA Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas.

Tabla 4–5: Características de los Caminos utilizados por Central Guacolda

Camino	Escenario (a)	Tratamiento Superficial	Extensión (km)
Camino a Vallenar	Escenarios 2 y 3	Pavimentado	49,5
Camino a depósito de cenizas	Escenario 2	Bischofita	4,1
		Tierra	0,4
	Escenario 3	Bischofita	4,5

Fuente: Anexo AD-3 de la Adenda 1 de la DIA Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas.

4.2.2 Emisiones

En el presente acápite se identifican las emisiones generadas por la central termoeléctrica Guacolda, para lo cual es necesario considerar la evolución histórica de las emisiones desde que la central entró en operación, con dos unidades, hasta la actualidad en que cuenta con cuatro unidades operativas y una quinta cuya entrada en operación está prevista para el segundo semestre del año 2015.

En primer lugar, se presentan las emisiones de fuentes puntuales (chimeneas) declaradas por Guacolda en sus distintas evaluaciones ambientales, para lo cual se revisaron los expedientes de los siguientes proyectos:

Tabla 4–6: Expedientes Ambientales de Central Guacolda, revisados con ocasión de este estudio

Proyecto	RCA	Breve Descripción del Proyecto
Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.	RCA N° 236/2007	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de potencia a través de la construcción y operación de la Unidad 4 (152 MW). Control de emisiones a través de la incorporación de las siguientes tecnologías o procesos, adicionales a aquellos con que ha sido aprobada y cuenta la Unidad 3:

Proyecto	RCA	Breve Descripción del Proyecto
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Captador de partículas (filtro de mangas o precipitador electrostático) adicional a los precipitadores electrostáticos de las Unidades 1 y 2. ▪ Disminución de las emisiones de SO₂ y NO_x de las Unidades 1 y 2, a través del control de la mezcla de los combustibles de ingreso. ▪ Captador de partículas y sistema SCR (para el control de NO_x) en la Unidad 4 ▪ Utilización de carbón bituminoso o subbituminoso, Petróleo Diésel (para las partidas) y Petróleo Pesado (en caso de emergencia, por falta de carbón), en la Unidad 4. No se utiliza petcoke en esta unidad.
Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.	RCA N° 191/2010	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de Unidad 5, de 152 MW de potencia, quemando 100% carbón bituminoso. Incluye sistema SCR para control de emisiones de NO_x, y desulfurizador húmedo para control de emisiones de SO₂. • Modificación de las mezclas de combustible en las unidades 1 y 2, de modo de disminuir las emisiones de SO₂ y NO_x. • Instalación de sistema SCR en Unidades 1 o 2, para control de emisiones de NO_x. • Modificación del sistema de manejo del vertedero de cenizas. • Ampliación del área de almacenamiento de combustibles sólidos.
Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas	RCA N° 44/2014	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de un sistema de abatimiento de emisiones de SO₂ mediante desulfurizador seco, para las Unidades 1, 2 y 4. • Reemplazo del sistema de abatimiento de material particulado en base a precipitadores electrostáticos por filtros de manga, para las Unidades 1, 2 y 4 con una eficiencia de 99,8%. • Reducción de emisiones de NO_x mediante la utilización de mezclas optimizadas de combustible, no requiriendo equipos adicionales de abatimiento. • Ajustes operacionales en la Unidad 3, relativos a mejorar el control de la combustión y el desempeño de los quemadores para disminuir emisiones de NO_x y controlar el contenido de azufre de los combustibles para disminuir emisiones de SO₂.

Además, se presentan las emisiones entregadas en el estudio “Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas”, desarrollado en conjunto por las empresas KAS Ingeniería y GEOAIRE, en el marco del proceso de elaboración de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, D.S. N° 13/2011 del Ministerio del Medio

Ambiente. Se asume que estas emisiones eran aquellas reales en el momento en que fueron informadas.

Posteriormente, se presentan las emisiones de fuentes areales declaradas por Guacolda en su última evaluación ambiental, la DIA del proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”, aprobado mediante RCA N° 44/2014.

Finalmente, se presentan los resultados de mediciones continuas e isocinéticas realizadas en las chimeneas de la Central Guacolda. Las mediciones continuas que se presentan fueron realizadas por la empresa Ambiosis, entre octubre de 2010 y julio de 2013. Las mediciones isocinéticas, fueron realizadas por CESMEC en dos campañas durante el año 2013.

4.2.2.1 Fuentes puntuales

A continuación, se presentan las emisiones de las fuentes puntuales (chimeneas) declaradas por el titular de la Central Guacolda, desde el año 2007 a la fecha.

En la Tabla 4-7 se entregan las características de las emisiones puntuales establecidas en la RCA N° 236/2007 que aprueba ambientalmente el proyecto "Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A." Este proyecto incluye el aumento de generación a través de la instalación de la Unidad 4, y además incorpora una serie de tecnologías y procesos tendientes a controlar las emisiones de la central (resumidas en Tabla 4-6 anterior). A través de la implementación de estas medidas Guacolda se compromete a disminuir las emisiones del complejo, a un total de 3,6 t/d de material particulado, 103,37 t/d de SO₂ y 23,65 t/d de NO_x. Además, se declaran emisiones de níquel más arsénico (Ni+As), vanadio (V) y amoníaco (NH₃).

Tabla 4–7: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda según RCA N° 236/2007

Fuente	Emisión								
	MP	SO ₂	NO _x	Ni+As		V		NH ₃	
	t/d	t/d	t/d	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N	t/d	ppm	t/d
Chimenea unidades 1 y 2	2,2	68,0	14,85	0,5	0,011	5	0,11	---	---
Chimenea unidad 3	0,6	10,8	8,0	0,5	0,007	5	0,07	---	---
Chimenea unidad 4	0,8	24,57	0,8	---	---	---	---	10	0,08
TOTAL	3,6	103,37	23,65	---	0,018	---	0,18	---	0,08

A continuación, se presenta las emisiones entregadas en el estudio “Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de una Norma de Emisión para Termoeléctricas” desarrollado en el marco del proceso de elaboración de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, D.S. N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente. La información proporcionada por este documento corresponde a las centrales existentes, en construcción y proyectadas al 2008. Por lo que para

esa fecha, las existentes eran las unidades 1 y 2, mientras que las unidades 3 y 4 se clasificaban como “en construcción y proyectadas”.

Tabla 4–8: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, según AGIES^(a) Norma de Emisión para Termoeléctricas, para centrales existentes, en construcción y proyectadas al 2008

Fuente	Flujo estimado	Emisión								
		MP		SO ₂		NO ₂		Ni+As ^(b)	V ^(c)	Hg ^(d)
		mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N	mg/m ³ N	mg/m ³ N
Guacolda 1 y 2	914.437	225	4,9	3.260	71,6	378	8,3	3,7	7,2	0,12
Guacolda 3	584.810	43	0,6	769	10,8	570	8,0	1,8	3,8	0,07
Guacolda 4	531.085	63	0,8	1.928	24,6	60	0,8	2,1	4,3	0,07

- (a) AGIES: Análisis General del Impacto Económico y Social
- (b) Estimados con factor de emisión para Níquel 3,31E-02 lb/ton
- (c) Estimados con factor de emisión para Vanadio 6,61E-02 lb/ton
- (d) Estimados con factor de emisión para Mercurio 1,10E-03 lb/ton

De las emisiones de la tabla anterior, las de las unidades 3 y 4 coinciden con lo establecido en la RCA N° 236/2007 del proyecto “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.”, la última disponible a la fecha de desarrollo del AGIES. Sin embargo, las emisiones de las unidades 1 y 2 presentadas son mayores a las establecidas en la evaluación ambiental del 2007. Probablemente, se presentó una estimación de las emisiones reales de las unidades 1 y 2, y no se consideró lo establecido en la RCA N° 236/2007, dado que a la fecha de desarrollo del estudio (año 2008) no se había implementado aun dicho proyecto.

Siguiendo con la revisión de las emisiones de fuentes puntuales de Guacolda declaradas sus evaluaciones ambientales, en la siguiente tabla, se entregan las características de las emisiones puntuales establecidas en la RCA N° 191/2010 que aprueba ambientalmente el proyecto “Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.” Este proyecto considera la instalación de la Unidad 5, con sistemas de control de emisiones de NO_x (sistema SCR) y SO₂ (desulfurizador húmedo), así como también la instalación de un sistema SCR en las Unidades 1 o 2 para control de emisiones de NO_x, y la modificación de las mezclas de combustible en las Unidades 1 y 2, de modo de disminuir las emisiones de SO₂ y NO_x. De este modo, Guacolda se compromete a que las emisiones de SO₂ de la chimenea común de las Unidades 1 y 2 no sean mayores que 59,6 t/d, y que las emisiones de NO_x no superen las 14,05 t/d en esas unidades. Además, Guacolda se compromete a que la emisión anual de material particulado no sobrepase las 3,6 t/d considerando las 5 unidades, aun cuando las emisiones máximas de todas las unidades suman 4,02 t/d.

Tabla 4–9: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, según RCA N° 191/2010

Fuente	Emisión					
	MP	SO ₂	NO _x	Ni+As	V	NH ₃
	t/d	t/d	t/d	mg/m ³ N	mg/m ³ N	ppm
Chimenea unidades 1 y 2	2,2	59,58	14,05	<0,5	<5	10
Chimenea unidad 3	0,6	10,80	8,0	<0,5	<5	0
Chimenea unidad 4	0,8	24,57	0,8	<<<0,5	<<<5	10
Chimenea unidad 5	0,42	2,81	0,8	---	---	10
TOTAL	4,02 en total (3,6 promedio anual)	97,76	23,65	---	---	---

Continuando con la revisión cronológica, a continuación, se entregan las características de las emisiones puntuales establecidas en la RCA N° 44/2014 que aprueba ambientalmente el proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”. Para este proyecto, se presentaron tres escenarios de modelación, el primero correspondiente a la etapa de construcción del proyecto, el segundo a la operación de la Central Guacolda con las 5 unidades sin el proyecto, es decir, hasta lo establecido en la RCA N° 191/2010. El tercer escenario corresponde a la operación de las 5 unidades de la central con la incorporación de los sistemas de abatimiento que contempla este proyecto (resumidos en Tabla 4-6 anterior). En las siguientes tablas, se presentan las emisiones correspondientes al segundo y tercer escenario de modelación considerado por Guacolda.

Tabla 4–10: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 2^(a), según RCA N° 44/2014

Fuente	Emisión (t/d)		
	MP10	SO ₂	NO _x
Chimenea unidades 1 y 2	1,06	59,58	14,05
Chimenea unidad 3	0,60	10,80	8,00
Chimenea unidad 4	0,53	24,57	0,80
Chimenea unidad 5	0,42	2,81	0,80
TOTAL	2,61	97,76	23,65

(a) Escenario 2 se define como “Central Termoeléctrica Guacolda con 5 Unidades hasta RCA 191/2010”

Observando la información de la tabla anterior, llama la atención que si bien estas emisiones corresponderían a la situación hasta la RCA N° 191/2010, algunos valores de las emisiones de material particulado difieren respecto de lo establecido en dicha RCA. Según la Tabla 4-9 el total

de emisiones de material particulado sería de 4,02 t/d, sin embargo en la Tabla 4-10 el valor total es de 2,61 t/d, ya que hay diferencias en las emisiones de las Unidades 1 y 2 (2,2 t/d en Tabla 4-9 versus 1,06 t/d en Tabla 4-10), y en las emisiones de la Unidad 4 (0,8 t/d en Tabla 4-9 versus 0,53 t/d en Tabla 4-10). Lo anterior se debe a que mediante la Resolución Exenta N° 298/2012 de la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental se estableció una modificación al Considerando 10 de la RCA N° 191/2010, imponiendo un límite de emisión de material particulado de 2,61 t/d a las chimeneas del complejo termoeléctrico en su conjunto, sin especificar un desglose por unidad. Adicionalmente, la modificación introducida señala que el límite del complejo debe respetarse “sin perjuicio del cumplimiento de la Norma de Emisiones para Centrales Termoeléctricas”. Esta Resolución acogió parcialmente un recurso de reclamación interpuesto ante el Servicio Evaluación Ambiental, en contra de la RCA N° 191/2010 que aprueba el proyecto Unidad 5.

En la siguiente tabla, se entregan las características de las emisiones puntuales establecidas en la RCA N° 44/2014 para el Escenario 3, que corresponde a la operación de las 5 unidades de la central con la incorporación de los sistemas de abatimiento que contempla el proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”. Este proyecto contempla la implementación de un sistema de abatimiento de emisiones de SO₂ mediante desulfurizador seco para las Unidades 1, 2 y 4, con lo cual las emisiones de SO₂ en las Unidades 1 y 2 disminuirían de 59,6 t/d a 10,56 t/d, mientras que las de la Unidad 4 pasarían de 24,57 t/d a 5,42 t/d. Las emisiones de SO₂ totales del complejo pasarían de 97,78 t/d a 24,21 t/d. Adicionalmente, este proyecto considera el reemplazo de precipitadores electrostáticos por filtros de manga en las Unidades 1, 2 y 4. Con este cambio, la emisión de material particulado de las Unidades 1 y 2 quedaría en 0,92 t/d, mientras que para la Unidad 4 quedaría en 0,67 t/d. La emisión de material particulado total del complejo quedaría en 2,61 t/d.

Además, Guacolda se compromete a disminuir las emisiones de NO_x, de 23,65 t/d a 21,58 t/d para el total del complejo, a través del uso de mezclas optimizadas de combustible, y específicamente para la Unidad 3 se contempla mejorar el control de la combustión y el desempeño de los quemadores. Con lo anterior, la emisión de NO_x en las Unidades 1 y 2 pasaría de 14,05 t/d a 13,20 t/d, mientras que para la Unidad 3 pasaría de 8,0 t/d a 6,78 t/d.

Tabla 4–11: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Guacolda, Escenario 3^(a), según RCA N° 44/2014

Fuente	Emisión (t/d)		
	MP10	SO ₂	NO _x
Chimenea unidades 1 y 2	0,92	10,56	13,20
Chimenea unidad 3	0,60	5,42	6,78
Chimenea unidad 4	0,67	5,42	0,80
Chimenea unidad 5	0,42	2,81	0,80
TOTAL	2,61	24,21	21,58

(a) Escenario 3 se define como "Central Termoeléctrica Guacolda con Equipos de Retrofit"

Para finalizar el análisis de este punto, se presenta a continuación un resumen con las emisiones establecidas en las distintas calificaciones ambientales de Guacolda revisadas en los párrafos anteriores, indicando los sistemas de abatimiento incorporados en cada proyecto que explican las modificaciones en los niveles de emisiones. En las tablas a continuación se incluyen los sistemas de control contemplados por cada proyecto como también los que se encontraban funcionando con anterioridad a cada proyecto.

Tabla 4–12: Emisiones de Material Particulado de Fuentes Puntuales de Central Guacolda y Sistemas de Control de Emisiones, según RCA N° 236/2007, RCA N° 191/2010 y RCA N° 44/2014

RCA	Características	U1-2	U3	U4	U5	Total
RCA N° 236/2007	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	---	608
	Emisión de MP (t/d)	2,2	0,6	0,8	---	3,6
	Sistema de control de MP	PEs + PE adicional	PE	PE	---	
RCA N° 191/2010	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	152	760
	Emisión de MP (t/d)	2,2	0,6	0,8	0,42	4,02 (3,6 promedio anual)
	Sistema de control de MP	PEs + PE adicional	PE	PE	PE	
RCA N° 44/2014	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	152	760
	Emisión de MP (t/d)	0,92	0,6	0,67	0,42	2,61
	Sistema de control de MP	Filtros de manga	PE	Filtros de manga	PE	

(*) PE: Precipitador Electrostático

En la tabla anterior se observa que el reemplazo de los precipitadores electrostáticos por filtros de manga en las Unidades 1, 2 y 4, permite disminuir las emisiones de material particulado en esas unidades, y por consiguiente en el total del complejo.

Tabla 4–13: Emisiones de SO₂ de Fuentes Puntuales de Central Guacolda y Sistemas de Control de Emisiones, según RCA N° 236/2007, RCA N° 191/2010 y RCA N° 44/2014

RCA	Características	U1-2	U3	U4	U5	Total
RCA N° 236/2007	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	---	608
	Emisión de SO ₂ (t/d)	68	10,8	24,57	---	103,37

RCA	Características	U1-2	U3	U4	U5	Total
	Sistema de control de SO ₂	Modificación de las mezclas combustibles (disminución de proporción de petcoke)	Desulfurizador húmedo	Manejo de combustibles (no petcoke)	---	
RCA N° 191/2010	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	152	760
	Emisión de SO ₂ (t/d)	59,58	10,8	24,57	2,81	97,76
	Sistema de control de SO ₂	Modificación de las mezclas de combustibles (disminución de la proporción de petcoke)	Desulfurizador húmedo	Manejo de combustibles (no petcoke)	Desulfurizador húmedo, manejo de combustibles (no petcoke)	
RCA N° 44/2014	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	152	760
	Emisión de SO ₂ (t/d)	10,56	5,42	5,42	2,81	24,21
	Sistema de control de SO ₂	Desulfurizador seco	Control del contenido de azufre de los combustibles	Desulfurizador seco, manejo de combustibles (no petcoke)	Desulfurizador húmedo, manejo de combustibles (no petcoke)	

A partir de la tabla anterior, se observa que en las Unidades 1 y 2 la modificación de las mezclas de combustible permite disminuir las emisiones de SO₂, a través de la disminución de la proporción de petcoke en las mezclas. Sin embargo, la mayor disminución de emisiones de SO₂ se produce con la incorporación de un desulfurizador seco. En la Unidad 3 la disminución de emisiones de SO₂ se produce con el control del contenido de azufre de los combustibles. En la Unidad 4, la incorporación de un desulfurizador seco permite reducir las emisiones de SO₂. La Unidad 5 en tanto, fue concebida cumpliendo los estándares de la nueva Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, por lo que no contempla modificaciones en sus sistemas de abatimiento.

Tabla 4-14: Emisiones de NO_x de Fuentes Puntuales de Central Guacolda y Sistemas de Control de Emisiones, según RCA N° 236/2007, RCA N° 191/2010 y RCA N° 44/2014

RCA	Características	U1-2	U3	U4	U5	Total
RCA N° 236/2007	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	---	608
	Emisión de NO _x (t/d)	14,85	8,0	0,8	---	23,65

	Sistema de control de NO _x	Modificación de las mezclas de combustibles (disminución de la proporción de petcoke)	Quemadores de bajo NO _x	SCR, quemadores de bajo NO _x	---	
RCA N° 191/2010	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	152	760
	Emisión de NO _x (t/d)	14,05	8,0	0,8	0,8	23,65
	Sistema de control de NO _x	SCR en U1 o U2	Quemadores de bajo NO _x	SCR, quemadores de bajo NO _x	SCR, quemadores de bajo NO _x	
RCA N° 44/2014	Potencia (MW)	2 x 152	152	152	152	760
	Emisión de NO _x (t/d)	13,20	6,78	0,8	0,8	21,58
	Sistema de control de NO _x	SCR en U1, mezclas optimizadas de combustible	Quemadores de bajo NO _x , mejora del control de la combustión y del desempeño de los quemadores, mezclas optimizadas de combustible	SCR, quemadores de bajo NO _x , mezclas optimizadas de combustible	SCR, quemadores de bajo NO _x , mezclas optimizadas de combustible	

Según se desprende la tabla anterior, la RCA N° 191/2010 establecía la incorporación de un sistema SCR en la Unidad 1 o 2, sistema que fue finalmente implementado en la Unidad 1, disminuyendo las emisiones de NO_x de la chimenea común de ambas unidades. Una segunda reducción de las emisiones de NO_x en esas unidades se produce con la utilización de mezclas optimizadas de combustible. En la Unidad 3 se reduce la emisión de NO_x con la mejora del control de la combustión y del desempeño de los quemadores, además de la utilización de mezclas optimizadas de combustible.

4.2.2.2 Mediciones Continuas e Isocinéticas

En el presente acápite, se entregan los resultados de mediciones continuas e isocinéticas realizadas en las chimeneas de la Central Guacolda.

Las mediciones continuas que se presentan fueron realizadas por la empresa Ambiosis, entre octubre de 2010 y julio de 2013, midiendo emisiones diarias de material particulado, SO₂ y NO₂, en las chimeneas de todas las unidades de la central.

Por su parte, las mediciones isocinéticas, fueron realizadas por CESMEC en dos campañas durante el año 2013, se midieron emisiones de material particulado, SO₂ y NO₂ en las chimeneas de todas las Unidades. Además de emisiones de arsénico, vanadio, níquel y mercurio en las chimeneas de las Unidades 3 y 4, y de amoniaco en la Unidad 4.

i. Mediciones Continuas

A continuación, se presenta un resumen de las emisiones medidas en forma continua en las chimeneas de la Central Guacolda, desde octubre de 2010 a julio de 2013. A partir de los resultados de dichas mediciones, se ha observado que las emisiones de MP de la chimenea de las Unidades 1 y 2 presentan una fuerte disminución desde un promedio mensual de 1,61 t/d en noviembre de 2010 hasta llegar a un promedio mensual de 0,17 t/d en mayo de 2011, para luego, a partir de esa fecha, mantener un nivel constante en torno a las 0,2 t/d en los niveles promedio de emisiones de MP en esta chimenea. Dado lo anterior, el resumen de emisiones se presenta para dos periodos de monitoreo, el primero desde octubre de 2010 hasta abril de 2011, y el segundo desde mayo de 2011 hasta julio de 2013.

Tabla 4–15: Resumen de Emisiones Atmosféricas Medidas en Forma Continua en Fuentes Puntuales de Central Guacolda

Parámetro	Período de Monitoreo	Emisiones medidas (t/d)							
		U1-U2		U3		U4		Total	
		Máx.	Prom.	Máx.	Prom.	Máx.	Prom.	Máx.	Prom.
NO _x	Oct 2010 - Abr 2011	14,70	9,92	7,70	5,28	0,88	0,66	20,40	15,3
	May 2011 - Jul 2013	14,80	10,46	9,20	5,25	1,31	0,63	22,21	13,6
SO ₂	Oct 2010 - Abr 2011	63,00	44,63	12,36	4,00	24,20	14,61	85,50	61,88
	May 2011 - Jul 2013	67,40	41,74	10,10	2,59	23,20	15,17	89,80	50
MP	Oct 2010 - Abr 2011	2,22	1,08	0,62	0,18	0,12	0,07	2,46	1,3
	May 2011 - Jul 2013	1,70	0,21	0,76	0,20	0,45	0,12	2,01	0,44

Es posible que la fuerte disminución en las mediciones de MP de la chimenea de las unidades 1 y 2 se haya debido a la instalación de un precipitador electrostático común adicional, el que fue incorporado para bajar las emisiones de material particulado del complejo, de acuerdo al compromiso de calificación ambiental de la Unidad 4, establecido en la RCA N° 236/2007 que aprueba ambientalmente el proyecto “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.” (resumen del proyecto en Tabla 4-6 anterior). Sin embargo, de acuerdo a la Memoria Anual de Guacolda del año 2011, este sistema, que considera los precipitadores individuales preexistentes en cada unidad, quedó operativo el 21 de abril de 2010 en la Unidad 1 y el 1 de mayo de 2010 en la Unidad 2, lo que no coincide con la fecha de disminución de las emisiones medidas.

Para las demás emisiones medidas en forma continua no se observan variaciones importantes a través del tiempo.

Si se comparan los resultados de las emisiones medidas, con las emisiones establecidas en la RCA N° 236/2007 del proyecto "Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A." (Tabla 4-7), se observa que en las Unidades 1 y 2 se supera levemente el nivel máximo de MP declarado (2,2 t/d) durante el período Oct 2010 – Abr 2011. Esta superación (2,22 t/d) se registró a principios de octubre de 2010, antes que se produjera la disminución de emisiones de MP que se describió anteriormente. Las emisiones medidas de NO_x y SO₂ en las Unidades 1 y 2 no superan lo establecido en la RCA N° 236/2007.

En la Unidad 3, la emisión máxima de NO_x registrada durante el segundo periodo descrito (9,20 t/d) supera lo establecido en la RCA N° 236/2007 para esta unidad (8 t/d), mientras que la emisión máxima de SO₂ en el primer periodo (12,36 t/d) supera también lo establecido en dicha RCA (10,8 t/d). Además, las emisiones máximas de MP en esta unidad en ambos periodos (0,62 t/d y 0,76 t/d respectivamente) superan lo declarado (0,6 t/d).

Por su parte, las emisiones máximas de NO_x en la Unidad 4 para ambos periodos (0,88 t/d y 1,31 t/d) superan lo establecido en la RCA N° 236/2007 para esta unidad (0,8 t/d). Las emisiones medidas de MP y SO₂ en la Unidad 4 no superan lo establecido en la RCA N° 236/2007.

A pesar de existir superaciones de lo establecido en la RCA N° 236/2007 para cada unidad por separado, según se observó en los párrafos anteriores, las emisiones totales de las 4 unidades no superan los límites comprometidos en dicha RCA. Es así que las emisiones totales de NO_x suman como máximo 22,21 t/d, siendo el límite comprometido de 23,65 t/d. Las emisiones de SO₂ suman para las 4 unidades 89,80 t/d como máximo, que es inferior a las 103,37 t/d comprometidas. Finalmente, las emisiones de material particulado suman como máximo para las 4 unidades 2,46 t/d, valor por debajo de las 3,6 t/d establecidos en la RCA N° 236/2007.

ii. Mediciones Isocinéticas

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de las mediciones isocinéticas realizadas en las chimeneas de la Central Guacolda, en dos campañas durante el año 2013. Estos resultados fueron presentados en unidades de kg/h por la empresa que realizó las mediciones, pero se entregan en unidades de t/d con el fin de facilitar el análisis comparativo, asumiendo que las mediciones medidas se mantienen constantes durante el día.

Tabla 4–16: Resultados de Mediciones Isocinéticas en Fuentes Puntuales de Central Guacolda

Parámetro	Fecha	Emisiones medidas (t/d)			
		U1-2	U3	U4	Total
NO _x	Feb - Mar 2013	15,3	6,7	0,8	22,8
	Jun 2013	13,9	8,8	0,3	23,0
SO ₂	Feb - Mar 2013	79,0	1,1	18,8	98,9

Parámetro	Fecha	Emisiones medidas (t/d)			
		U1-2	U3	U4	Total
	Jun 2013	65,0	3,8	20,0	88,8
MP	Feb - Mar 2013	0,7	0,5	0,1	1,2
	Jun 2013	0,3	0,3	0,1	0,7
As	Feb - Mar 2013	---	0,0024	0,0012	0,0036
V	Feb - Mar 2013	---	0,0005	<0,0002	<0,0007
Ni	Feb - Mar 2013	---	<0,00024	<0,00024	<0,00048
Hg	Feb - Mar 2013	---	<0,000024	<0,000024	<0,000048
NH ₃	Jun 2013	---	---	0,007	0,007

Si se comparan los resultados de las mediciones isocinéticas, con las emisiones establecidas en la RCA N° 236/2007 del proyecto "Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A." (Tabla 4-7), se observa que en la medición de febrero-marzo de 2013 en la chimenea de las Unidades 1 y 2 se superan los niveles máximos establecidos de NO_x (14,85 t/d) y SO₂ (68 t/d). Las emisiones medidas de MP en las Unidades 1 y 2 no superan lo establecido en la RCA N° 236/2007.

En la Unidad 3, la emisión de NO_x registrada durante junio de 2013 (8,8 t/d) supera lo establecido en la RCA N° 236/2007 para esta unidad (8 t/d). Las emisiones medidas de SO₂ y MP en la Unidad 3 no superan lo establecido en la RCA N° 236/2007. Las emisiones medidas de Ni+As serían 0,0026 t/d, menor a lo establecido en la RCA N° 236/3007 (0,007 t/d), las emisiones medidas de vanadio (0,0005 t/d) también se encuentran por debajo de lo comprometido (0,07 t/d).

Por su parte, las emisiones medidas en la Unidad 4 no superan lo establecido en la RCA N° 236/2007, para ningún parámetro.

Para el análisis de la suma de emisiones de las 4 unidades, se observa que no superan los límites establecidos en la RCA N° 236/2007. Es así que las emisiones totales de NO_x suman como máximo 23,0 t/d, siendo el límite comprometido de 23,65 t/d. Las emisiones de SO₂ suman para las 4 unidades 98,9 t/d como máximo, que es inferior a las 103,37 t/d comprometidas. Finalmente, las emisiones de material particulado suman como máximo para las 4 unidades 1,2 t/d, valor por debajo de las 3,6 t/d establecidos en la RCA N° 236/2007.

4.2.2.3 Fuentes areales

Adicional a las fuentes puntuales, Central Termoeléctrica Guacolda ha declarado fuentes emisoras areales, asociadas a procesos de carga y descarga de material (carbón y cenizas),

tránsito vehicular por caminos pavimentados y no pavimentados, combustión de motores de vehículos y maquinaria, y erosión eólica en cancha de carbón y depósito de cenizas.

Las emisiones de fuentes areales declaradas por Guacolda en la evaluación del proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”, aprobado mediante RCA N° 44/2014, se presentan a continuación, para los escenarios 2 y 3 que corresponden a la operación de las 5 unidades con y sin proyecto.

Tabla 4–17: Emisiones de Fuentes Areales de Central Guacolda, Escenario 2^(a), según RCA N° 44/2014

Actividad	Emisión (t/año)				
	MP10	MP2,5	MPS	SO ₂	NO ₂
Carga de material	0,16	0,02	0,34	0,00	0,00
Descarga de material	0,28	0,04	0,59	0,00	0,00
Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados	37,08	3,71	129,77	0,00	0,00
Tránsito de vehículos por caminos pavimentados	10,32	2,50	53,77	0,00	0,00
Motor de vehículos por caminos no pavimentados	0,11	0,11	0,11	0,02	4,49
Motor de maquinaria	4,37	4,37	4,37	0,13	57,00
Erosión eólica	0,37	0,37	0,37	0,00	0,00
TOTAL	52,68	11,12	189,31	0,14	61,50

(a) Escenario 2 se define como “Central Termoeléctrica Guacolda con 5 Unidades hasta RCA 191/2010”

Tabla 4–18: Emisiones de Fuentes Areales de Central Guacolda, Escenario 3^(a), según RCA N° 44/2014

Actividad	Emisión (t/año)				
	MP10	MP2,5	MPS	SO ₂	NO ₂
Carga de material	0,17	0,03	0,36	0,00	0,00
Descarga de material	0,29	0,04	0,61	0,00	0,00
Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados	37,79	3,78	132,27	0,00	0,00
Tránsito de vehículos por caminos pavimentados	10,97	2,66	57,17	0,00	0,00
Motor de vehículos por caminos no pavimentados	0,13	0,13	0,13	0,02	5,44
Motor de maquinaria	4,37	4,37	4,37	0,13	57,00
Erosión eólica	0,37	0,37	0,37	0,00	0,00
TOTAL	54,09	11,37	195,28	0,15	62,45

(a) Escenario 3 se define como “Central Termoeléctrica Guacolda con Equipos de Retrofit”

Al comparar estas emisiones con las emisiones de fuentes puntuales declaradas por Guacolda, se observa que las emisiones puntuales de material particulado para el Escenario 3 son en total de 2,61 t/d (Tabla 4-11), mientras que las emisiones de fuentes de área para el mismo escenario alcanzan a 195,28 t/año de MPS (equivalente a 0,54 t/d) y 54,09 t/año de MP10 (equivalente a 0,15 t/d). Es decir, las emisiones de material particulado de fuentes puntuales son cerca de 5 veces las emisiones de MPS de fuentes areales y unas 18 veces las de MP10, para el Escenario 3. Las mayores emisiones de fuentes areales provienen del tránsito vehicular por caminos no pavimentados para ambos escenarios.

En el caso de las emisiones de gases, la diferencia es mayor, especialmente en el caso del SO₂, dado que las fuentes areales emiten gases sólo en el caso de la combustión de motores de vehículos y maquinaria. Es así que las emisiones puntuales de SO₂ para el Escenario 3 son en total 24,21 t/d (Tabla 4-11), mientras que las emisiones de fuentes de área para el mismo escenario alcanzan a 0,15 t/año de SO₂ (equivalente a 0,0004 t/d). Para el caso del NO_x, las emisiones puntuales en el Escenario 3 son en total 21,58 t/d (Tabla 4-11), mientras que las fuentes de área emiten 62,45 t/año de NO_x (equivalente a 0,17 t/d).

4.2.3 Discusión

A continuación, se presenta un resumen con las emisiones aprobadas y medidas de Central Guacolda, y una comparación con las estimadas por DICTUC y presentadas en febrero de 2015 en el marco de la elaboración del Plan de Prevención Atmosférica de Huasco¹⁰.

Tabla 4–19: Resumen de Emisiones Actuales de Material Particulado de Central Guacolda

Fuente	Emisión de MP (t/d)							DICTUC 2013 (f)
	Guacolda según RCA N°236/2007 (a)	Guacolda según RCA N°191/2010 (b)	Guacolda Sin Retrofit según RCA N°44/2014 (c)	Guacolda Sin Retrofit según Modelo Adenda 1 DIA (d)	Mediciones continuas (e)			
					2011	2012	2013 (ene-jul)	
U1-2	2,20	2,20	1,06	1,06	0,35	0,13	0,39	0,74
U3	0,60	0,60	0,60	0,60	0,18	0,14	0,30	
U4	0,80	0,80	0,53	0,53	0,10	0,13	0,12	
U5	-	0,42	0,42	0,42	-	-	-	
Total Fuentes Fijas Puntuales	3,60	4,02 (3,6 promedio anual)	2,61	2,61	0,63	0,40	0,81	0,74

¹⁰ Presentación “Antecedentes para elaborar el Plan de Prevención de la localidad de Huasco”. Estudio desarrollado para la División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente, por Área Soluciones Ambientales, Greenlab UC, Ingeniería DICTUC. Febrero de 2015.

Total Fuentes Fijas Puntuales Existentes (sin U5)	3,60	3,60	2,19	2,19	0,63	0,40	0,81	0,74
Carga y descarga de material	-	-	0,001	0,017	-	-	-	0,001
Manejo de pilas y erosión	-	-	0,001		-	-	-	0,007
Motor de maquinaria	-	-	0,012		-	-	-	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	-	-	0,000	0,629	-	-	-	0,000
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	-	0,130		-	-	-	0,035
Total Fuentes Areales	-	-	0,144	0,646	-	-	-	0,043

(a): Emisiones informadas como MP, en RCA N° 236/2007 que aprueba ambientalmente proyecto “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.”.

(b): Emisiones informadas como MP, en RCA N° 191/2010 que aprueba ambientalmente proyecto “Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.”

(c): Emisiones informadas como MP10, en RCA N° 44/2014 que aprueba ambientalmente proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(d): Emisiones de MP10 en modelo de Escenario 2 entregado en Adenda 1 de la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(e): Promedios anuales de emisiones de MP medidas en cada chimenea.

(f): Emisiones informadas como MP10 y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior, las emisiones de material particulado estimadas por DICTUC para las chimeneas de la Central Guacolda en operación actual (0,74 t/d) son de similar magnitud a los promedios anuales medidos en chimenea, especialmente para los años 2011 (0,63 t/d) y 2013 (0,81 t/d), y a su vez de menor magnitud que las aprobadas. En cuanto a las emisiones areales de material particulado, la estimación de DICTUC entrega un valor final (0,043 t/d) que es cerca de un tercio del correspondiente a la Central Guacolda Sin Retrofit según RCA N°44/2014 (0,144 t/d), presentando diferencias en el cálculo de emisiones de manejo de pilas y erosión, combustión de motores de maquinaria y resuspensión de polvo por tránsito vehicular. También se observa que existe una diferencia entre lo declarado por Guacolda en la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas” (RCA N° 44/2014), y las emisiones modeladas para el escenario Sin Retrofit para la Adenda 1 de la misma DIA (0,65 t/d), la diferencia radica principalmente en la emisión proveniente del tránsito vehicular.

Tabla 4–20: Resumen de Emisiones Futuras de Material Particulado de Central Guacolda

Fuente	Emisión de MP (t/d)		
	Guacolda Con Retrofit según RCA N°44/2014 (a)	Guacolda Con Retrofit según Modelo Adenda 1 DIA (b)	DICTUC 2018 (c)
U1-2	0,92	0,92	0,43
U3	0,60	0,60	
U4	0,67	0,67	
U5	0,42	0,42	
Total Fuentes Fijas Puntuales	2,61	2,61	0,43
Carga y descarga de material	0,001	0,017	0,000
Manejo de pilas y erosión	0,001		0,003
Motor de maquinaria	0,012		-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	0,000	0,319	0,000
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	0,134		0,043
Total Fuentes Areales	0,148	0,336	0,046

(a): Emisiones informadas como MP10, en RCA N° 44/2014 que aprueba ambientalmente proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(b): Emisiones de MP10 en modelo de Escenario 3 entregado en Adenda 1 de la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(c): Emisiones informadas como MP10 y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior, las emisiones futuras de material particulado estimadas por DICTUC para las chimeneas de la Central Guacolda en operación el año 2018 (0,43 t/d) son bastante menores a las aprobadas. En cuanto a las emisiones areales de material particulado, la estimación de DICTUC entrega un valor final (0,046 t/d) que es cerca de un tercio del correspondiente a la Central Guacolda Con Retrofit según RCA N°44/2014 (0,148 t/d), presentando diferencias en el cálculo de emisiones de manejo de pilas y erosión, combustión de motores de maquinaria y resuspensión de polvo por tránsito vehicular, de igual forma que en el caso Sin Retrofit. Nuevamente se observa que existe una diferencia entre lo declarado por Guacolda en la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas” y las emisiones modeladas para el escenario Con Retrofit para la Adenda 1 de la misma DIA (0,336 t/d), la diferencia radica principalmente en la emisión proveniente del tránsito vehicular.

Tabla 4–21: Resumen de Emisiones Actuales de SO₂ de Central Guacolda

Fuente	Emisión de SO ₂ (t/d)							DICTUC 2013 (f)
	Guacolda según RCA N°236/2007 (a)	Guacolda según RCA N°191/2010 (b)	Guacolda Sin Retrofit según RCA N°44/2014 (c)	Guacolda Sin Retrofit según Modelo Adenda 1 DIA (d)	Mediciones continuas (e)			
					2011	2012	2013 (ene-jul)	
U1-2	68,00	59,58	59,58	59,58	40,73	38,16	48,55	90,17
U3	10,80	10,80	10,80	10,80	2,47	2,77	2,69	
U4	24,57	24,57	24,57	24,57	14,71	13,83	17,70	
U5	-	2,81	2,81	2,81	-	-	-	
Total Fuentes Fijas Puntuales	103,37	97,76	97,76	97,76	57,92	54,76	68,94	90,17
Total Fuentes Fijas Puntuales Existentes (sin U5)	103,37	94,95	94,95	94,95	57,92	54,76	68,94	90,17
Carga y descarga de material	-	-	-	-	-	-	-	-
Manejo de pilas y erosión	-	-	-	-	-	-	-	-
Motor de maquinaria	-	-	0,0004	0,0004	-	-	-	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	-	-	0,0001	0,0001	-	-	-	0,00002
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Fuentes Areales	-	-	0,0004	0,0005	-	-	-	0,00002

(a): Emisiones informadas como SO₂, en RCA N° 236/2007 que aprueba ambientalmente proyecto “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.”.

(b): Emisiones informadas como SO₂, en RCA N° 191/2010 que aprueba ambientalmente proyecto “Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.”.

(c): Emisiones informadas como SO₂, en RCA N° 44/2014 que aprueba ambientalmente proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(d): Emisiones de SO_x, corresponde a la suma de emisiones de SO₂ y SO₄, siendo las de SO₂ un 95% de las emisiones totales de SO_x, en modelo de Escenario 2 entregado en Adenda 1 de la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(e): Promedios anuales de emisiones de SO₂ medidas en cada chimenea.

(f): Emisiones informadas como SO_x y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior, las emisiones de SO₂ estimadas por DICTUC para las chimeneas de la Central Guacolda en operación actual (90,17 t/d) son de similar magnitud a las emisiones aprobadas y mayores a los promedios anuales medidos en chimenea. En cuanto a las emisiones areales de SO₂, la estimación de DICTUC entrega un valor 25 veces menor que el correspondiente a la Central Guacolda Sin Retrofit según RCA N°44/2014 (0,0004 t/d), la diferencia radica en la emisión proveniente de combustión de motores de maquinaria y vehículos.

Tabla 4–22: Resumen de Emisiones Futuras de SO₂ de Central Guacolda

Fuente	Emisión de SO ₂ (t/d)		
	Guacolda Con Retrofit según RCA N°44/2014 (a)	Guacolda Con Retrofit según Modelo Adenda 1 DIA (b)	DICTUC 2018 (c)
U1-2	10,56	10,56	12,47
U3	5,42	5,42	
U4	5,42	5,42	
U5	2,81	2,81	
Total Fuentes Fijas Puntuales	24,21	24,21	12,47
Carga y descarga de material	-	-	-
Manejo de pilas y erosión	-	-	-
Motor de maquinaria	0,0003	0,0004	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	0,0001	0,0001	0,00002
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	-	-
Total Fuentes Areales	0,0004	0,0005	0,00002

(a): Emisiones informadas como SO₂, en RCA N° 44/2014 que aprueba ambientalmente proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(b): Emisiones de SO_x, Corresponde a suma de emisiones de SO₂ y SO₄, siendo las de SO₂ un 95% de las emisiones totales de SO_x, en modelo de Escenario 3 entregado en Adenda 1 de la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(c): Emisiones informadas como SO_x y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior, las emisiones futuras de SO₂ estimadas por DICTUC para las chimeneas de la Central Guacolda en operación para el año 2018 (12,47 t/d) son de menor magnitud que las emisiones aprobadas (24,21 t/d). En cuanto a las emisiones areales de SO₂, se repite la situación del escenario Sin Retrofit, donde la estimación de DICTUC entrega un valor muy inferior (0,00002 t/d) al correspondiente a la Central Guacolda Con Retrofit según RCA N°44/2014 (0,0004 t/d), la diferencia nuevamente radica en la emisión proveniente de combustión de motores de maquinaria y vehículos.

Tabla 4–23: Resumen de Emisiones Actuales de NO_x de Central Guacolda

Fuente	Emisión de NO _x (t/d)							DICTUC 2013 (f)
	Guacolda según RCA N°236/2007 (a)	Guacolda según RCA N°191/2010 (b)	Guacolda Sin Retrofit según RCA N°44/2014 (c)	Guacolda Sin Retrofit según Modelo Adenda 1 DIA (d)	Mediciones continuas (e)			
					2011	2012	2013 (ene-jul)	
U1-2	14,85	14,05	14,05	14,05	9,66	10,06	11,68	23,10
U3	8,0	8,00	8,00	8,00	5,75	4,71	5,15	
U4	0,8	0,80	0,80	0,80	0,66	0,64	0,62	
U5	-	0,80	0,80	0,80				
Total Fuentes Fijas Puntuales	23,65	23,65	23,65	23,65	16,07	15,41	17,45	23,10
Total Fuentes Fijas Puntuales Existentes (sin U5)	23,65	22,85	22,85	22,85	16,07	15,41	17,45	23,10
Carga y descarga de material	-	-	-	-	-	-	-	-
Manejo de pilas y erosión	-	-	-	-	-	-	-	-
Motor de maquinaria	-	-	0,156	6,029	-	-	-	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	-	-	0,012	0,026	-	-	-	0,005
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Fuentes Areales	-	-	0,168	6,055	-	-	-	0,005

(a): Emisiones informadas como NO_x, en RCA N° 236/2007 que aprueba ambientalmente proyecto “Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.”.

(b): Emisiones informadas como NO_x, en RCA N° 191/2010 que aprueba ambientalmente proyecto “Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A.”

(c): Emisiones informadas como NO_x, en RCA N° 44/2014 que aprueba ambientalmente proyecto “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(d): Emisiones de NO_x, corresponde a suma de emisiones de NO, NO₂, HNO₃ y NO₃, siendo las de NO un 88% y las de NO₂ un 10% de las emisiones totales de NO_x, en modelo de Escenario 2 entregado en Adenda 1 de la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.

(e): Promedios anuales de emisiones de NO_x medidas en cada chimenea.

(f): Emisiones informadas como NO_x y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior, las emisiones de NO_x estimadas por DICTUC para las chimeneas de la Central Guacolda en operación actual (23,10 t/d) son de similar magnitud a las emisiones aprobadas y mayores a los promedios anuales medidos en chimenea. En cuanto a las emisiones areales de NO_x, la estimación de DICTUC entrega un valor 30 veces menor que el correspondiente a la Central Guacolda Sin Retrofit según RCA N°44/2014 (0,168 t/d), la diferencia radica en la emisión proveniente de combustión de motores de maquinaria y

vehículos. También se observa, similar al caso del material particulado, que existe una diferencia entre lo declarado por Guacolda en la DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas” (0,17 t/d), y las emisiones modeladas para el escenario Sin Retrofit para la Adenda 1 de la misma DIA (6,05 t/d), la diferencia radica principalmente en la emisión proveniente de la combustión de motores de maquinaria.

4.3. Central Térmica Huasco

4.3.1 Descripción general

Otra fuente industrial existente en el sector es la Central Huasco de Endesa, ubicada en las cercanías del Puerto Guacolda, a unos 2,8 km de la ciudad de Huasco. Esta planta está compuesta por la Central Huasco Vapor y la Central Huasco TG. La Central Huasco Vapor consta de dos unidades generadoras a vapor, de capacidad nominal 8 MW cada una, que utilizan carbón como combustible. La Central Huasco TG, por su parte, consta de tres turbogeneradores, de capacidad nominal 21 MW cada uno, que utilizan como combustible Petróleo Diésel y/o IFO 380. Tanto las calderas de las unidades de vapor como los turbogeneradores descargan emisiones a la atmósfera por chimeneas independientes. Además cuenta con canchas de acopio de combustibles y cenizas. La Central Huasco Vapor, comenzó a operar en 1965 y actualmente se encuentra fuera de servicio, sin actividad en los últimos 5 años. Las unidades de la Central Huasco TG entraron en operación en 1976 y 1977, y actualmente tiene un nivel de generación muy bajo, tal como se observa en la Tabla 4-24.

Tabla 4–24: Características Principales de la Central Térmica Huasco

Central	Potencia (MW)	Potencia Unidades (MW)		Combustible	Fecha entrada en operación	Generación Bruta (MWh)				
						2010	2011	2012	2013	2014
Huasco Vapor	16	TV1	8	Carbón	1965	0	0	-	-	-
		TV2	8		1965					
Huasco TG	64,23	TG3	21,41	IFO 380, petróleo diésel	1977	1.069	1.062	197	30	226
		TG4	21,41		1977					
		TG5	21,41		1976					

A continuación se presenta la información contenida en el estudio desarrollado por CENMA respecto de las características de las fuentes puntuales (chimeneas) y areales (pila de carbón) de las Centrales Térmica Huasco.

Tabla 4–25: Características de las Fuentes Puntuales de la Central Térmica Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Central	Chimenea	Altura de chimenea (m)	Diámetro de chimenea (m)	Velocidad de salida (m/s)	Temperatura de salida (K)	Coordenadas UTM WGS 84 ^(a)	
						Este (m)	Norte (m)
Huasco Vapor	TV1	35	2	4,5	453	279.439	6.848.677
	TV2	35	2	4,5	453	279.435	6.848.669
Huasco TG	TG3	5	4,22	4,5	453	279.387	6.848.660
	TG4	5	4,22	4,5	453	279.381	6.848.648
	TG5	5	4,22	4,5	453	279.376	6.848636

(a) Coordenadas aproximadas obtenidas en forma visual de Google Earth.

Tabla 4–26: Características de la Fuente Areal de la Central Térmica Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Fuente Areal	Superficie (m ²)	Coordenadas UTM WGS 84 (a)	
		Este (m)	Norte (m)
Pila de carbón	8.000	279.333	6.848.737

(a) En el estudio CENMA no se indica Datum de las coordenadas UTM, por lo que las coordenadas en WGS84 se obtuvieron de Google Earth.

4.3.2 Emisiones

En el presente acápite se identifican las emisiones de la Central Huasco de Endesa. La Central Huasco Vapor comenzó a operar en 1965, mientras que las unidades de la Central Huasco TG entraron en operación en 1976 y 1977. Dada la antigüedad de estas unidades, es que su funcionamiento no ha sido sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, por lo que la información de sus emisiones sólo ha sido posible encontrarla en los siguientes documentos:

- “Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas” desarrollado en el marco del proceso de elaboración de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, D.S. N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.
- “Estudio de Calidad del Aire en la Comuna de Huasco”, desarrollado por CENMA el año 2006 para la I. Municipalidad de Huasco, en el contexto de la firma del Protocolo de Acuerdo entre ésta y las empresas CMP, Guacolda y ENDESA, con el objetivo principal de contribuir a la prevención y al mejoramiento de la calidad ambiental en relación al material particulado en Huasco.

La información disponible en el primer estudio citado corresponde a las emisiones de la Central Huasco TG, las que se presentan en la Tabla 4-27, diferenciando por tipo de combustible utilizado (Petróleo Diésel o IFO 380). Actualmente esta central tiene un nivel de generación muy bajo (ver Tabla 4-24), mientras que la Central Huasco Vapor se encuentra fuera de servicio, sin actividad en los últimos 5 años.

Tabla 4–27: Emisiones de la Central Huasco TG, según AGIES Norma de Emisión para Termoeléctricas

Tipo de Combustible	Fuente	Flujo estimado	Emisión					
			MP10		SO ₂		NO ₂	
			m ³ N/h	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N
Petróleo Diésel	Chimenea Unidad 1	88.532	24	0,05	2.150	4,57	238	0,51
	Chimenea Unidad 2	88.532	24	0,05	2.150	4,57	238	0,51
	Chimenea Unidad 3	88.532	24	0,05	2.150	4,57	238	0,51
IFO 380	Chimenea Unidad 1	86.463	76	0,16	2.076	4,31	218	0,45
	Chimenea Unidad 2	86.463	76	0,16	2.076	4,31	218	0,45
	Chimenea Unidad 3	86.463	76	0,16	2.076	4,31	218	0,45

(a) AGIES: Análisis General del Impacto Económico y Social

A continuación se presenta la información contenida en el estudio desarrollado por CENMA respecto de las emisiones de las Centrales Huasco Vapor y Huasco TG.

Tabla 4–28: Emisiones de la Central Térmica Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Central	Chimenea	Emisión MP10
		t/d
Huasco Vapor	TV1	0,13
	TV2	0,13
Huasco TG	TG3	0,02
	TG4	0,02
	TG5	0,02
Emisión Total		0,31

Además, CENMA estima una emisión de MP10 de 23 kg/año (0,00006 t/d), asociada a la pila de carbón de la central.

A partir de las tablas anteriores, se observa que las emisiones de MP10 de cada unidad de la Central Huasco TG estimadas por CENMA (0,02 t/d) son menores que las estimadas en el estudio AGIES, tanto para petróleo diésel (0,05 t/d) y más aún para IFO 180 (0,16 t/d).

En el marco de la elaboración del Plan de Prevención Atmosférica de Huasco, DICTUC expuso los resultados del estudio “Antecedentes para elaborar el Plan de Prevención de la localidad de Huasco”¹¹. En dicha exposición, DICTUC incluyó la Central Térmica Huasco dentro del listado de las principales fuentes emisoras del área en estudio (señalada como “la pequeña central de Endesa” en su presentación), pero no consideró sus emisiones dentro del inventario presentado, probablemente debido a su bajo nivel de operación.

Con fecha 9 de junio de 2015, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) inició un proceso de sanción contra Endesa respecto de las Unidades 3, 4 y 5 de la Central Térmica Huasco por no entregar la información necesaria para acreditar el cumplimiento de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, específicamente por no presentar los reportes trimestrales de monitoreo continuo para las unidades 3, 4 y 5 (infracciones gravísimas) y no reportar en la plataforma electrónica de termoeléctricas el formulario asociado a las unidades 4 y 5 (infracciones leves).

4.3.3 Discusión

Las emisiones de la CT Huasco si bien bajas, tienen la particularidad de que se generan de forma muy irregular, toda vez que la central pareciera ser utilizada como respaldo por el CDEC-SIC. Esta irregularidad hace que su efecto sobre la calidad del aire en Huasco sea escasamente perceptible, sin embargo, abre la opción a la posibilidad de que una operación sostenida durante la época invernal, afecte la concentración promedio anual en Huasco por lo que las condiciones de operación de la central en ningún caso pueden ser obviadas.

4.4. Puerto Las Losas

4.4.1 Descripción general

El Puerto Las Losas corresponde a una fuente industrial existente cuyas operaciones a la fecha han registrado muy baja actividad, según se explica más adelante.

El puerto cuenta en la actualidad con dos sitios de atraque operativos y habilitados para recibir naves de hasta 60.000 DWT en el Sitio N°1, autorizado para recibir barcos graneleros, y de hasta

¹¹ Presentación “Antecedentes para elaborar el Plan de Prevención de la localidad de Huasco”. Estudio desarrollado para la División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente, por Área Soluciones Ambientales, Greenlab UC, Ingeniería DICTUC. Febrero de 2015.

12.000 DWT en el Sitio N°2, autorizado para movilizar contenedores, materiales de construcción y cargas libres en general.

En su génesis, el puerto fue concebido y construido para atender los requerimientos del “Proyecto Agroindustrial del Valle del Huasco”, cuyo titular es Agrosuper, de proyectos o actividades de Compañía Minera del Pacífico S.A. en la región, y de empresas que requiriesen el suministro de graneles minerales, en particular carbón y caliza. Sin embargo, el retraso en la puesta en marcha del proyecto agroindustrial citado y su posterior paralización temporal han traído como consecuencia que el puerto haya sido permanentemente subutilizado, situación que se mantiene a la fecha.

Las autorizaciones ambientales con que cuentan las instalaciones fueron obtenidas tras la tramitación de las declaraciones de impacto ambiental de los proyectos “Puerto Las Losas”, aprobado de acuerdo a la RCA N° 226/2006 y “Sitio 2 Puerto Las Losas”, aprobado de acuerdo a la RCA N° 332/2008.

Con fecha 12 de enero de 2015, fue aprobado ambientalmente el proyecto “Recepción y embarque de graneles minerales”, mediante RCA N° 5/2015, donde se señala que el objetivo inicial del Proyecto era ampliar el espectro de graneles minerales a recibir a través del Sitio N°1 y construir y operar en el puerto instalaciones para la recepción, almacenamiento y embarque de cobre a granel. Sin embargo, en el Adenda 3, se renuncia a la posibilidad de ampliar el desembarque de graneles minerales (carbón, hierro y caliza). Por lo que Puerto Las Losas, de acuerdo a lo consignado en la RCA N°226/2006 que calificó favorablemente el proyecto “Puerto Las Losas”, continuará movilizandocarbón y caliza según lo aprobado, sin perjuicio de lo cual mantiene los siguientes compromisos adquiridos durante la evaluación del proyecto “Recepción y embarque de graneles minerales”:

- Completar el cerco perimetral del acopio temporal de graneles minerales, extendiéndolo a todo el perímetro de este último.
- Efectuar mejoras a la bandeja inferior de la correa de recepción de graneles minerales.

Considerando lo anteriormente señalado, el Proyecto “Recepción y embarque de graneles minerales” sólo realizará la construcción y operación de las instalaciones para la recepción de concentrado de cobre, vía camiones y su almacenamiento temporal en edificios cerrados y las instalaciones para el embarque de este último a través del Sitio N°1 del puerto.

Figura 4-2: Puerto Las Losas



4.4.2 Emisiones

4.4.2.1 Operación Actual

La principal fuente existente del Puerto Las Losas lo constituye el sector de acopio de minerales, cuyas características principales se presentan a continuación.

Tabla 4–29: Características del Sector de Acopio de Minerales de Puerto Las Losas

Fuente	Superficie aproximada (m ²)	Coordenadas UTM WGS 84 (a)	
		Este (m)	Norte (m)
Sector de Acopio de Minerales	7.000	280.385	6.848.382

Referencia: Superficie y coordenadas obtenidas de Google Earth.

Las emisiones atmosféricas actuales del Puerto Las Losas son las que se presentan a continuación, de acuerdo a lo aprobado en la RCA N° 226/2006.

Tabla 4–30: Emisiones Atmosféricas de MP en Puerto Las Losas según RCA N° 226/2006

Etapa	Actividad	Emisión de MP10	
		(kg/año)	(kg/d)
Operación Proyecto Puerto Las Losas	Carga Pila Cónica (Carbón)	54	0,15
	Carga Pila Cónica (Caliza)	74	0,20
	Almacenamiento	95	0,26
	Movimiento entre pilas	46	0,13
TOTAL		269	0,74

4.4.2.2 Emisiones Proyectadas

A continuación, se entrega un resumen de las emisiones de material particulado, NO_x, y SO₂ de acuerdo a lo indicado en la RCA N° 5/2015 para la etapa de operación del Proyecto “Recepción y Embarque de Graneles Minerales”, considerando que “tanto los edificios de almacenamiento de concentrado de cobre como sus edificios de recepción, cuenta con presión negativa (100 % eficiencia) y la correa transportadora se encontrará cerrada herméticamente (100 % eficiencia), la única actividad emisora será el traslado de concentrado de cobre vía camión, desde garita de entrada a Puerto Las Losas hasta edificio de recepción”.

Tabla 4–31: Emisiones Atmosféricas en Etapa de Operación del Proyecto “Recepción y Embarque de Graneles Minerales” de Puerto Las Losas (RCA N° 5/2015)

Actividad	Emisiones (kg/d)						
	MP10	MP2,5	MPS	HC	CO	NO _x	SO ₂
Tránsito de camiones por camino pavimentado (garita-edificio de recepción)	2,00	0,48	10,40	--	--	--	--
Combustión de camiones en camino pavimentado (garita-edificio de recepción)	0,025	0,025	--	0,092	0,159	0,637	0,0024
TOTAL (kg/d)	2,02	0,51	10,40	0,092	0,159	0,637	0,0024

Fuente: RCA N° 5/2015, Elaboración SEA Atacama respecto a Anexo 1 de Adenda 3.

Tal como se describió anteriormente, la etapa de operación del proyecto “Recepción y embarque de graneles minerales” considera principalmente la emisión producto del tránsito de camiones por camino pavimentado, desde el ingreso al puerto hasta las instalaciones para la recepción de concentrado de cobre. En la siguiente tabla se presentan las características de la fuente considerada para la operación.

Tabla 4–32: Características del Camino de Transporte de Cobre en Puerto Las Losas

Camino	Tratamiento Superficial	Extensión (m)	Ancho (m)	Superficie total (m ²)
Camino desde ingreso al puerto hasta recepción de concentrado de cobre	Pavimentado	359	8	2872

Fuente: Anexo 1 de la Adenda 3 a la DIA del proyecto “Recepción y embarque de graneles minerales”

En el marco de la elaboración del Plan de Prevención Atmosférica de Huasco, DICTUC expuso los resultados del estudio “Antecedentes para elaborar el Plan de Prevención de la localidad de Huasco”. En dicha exposición, DICTUC incluyó al Puerto Las Losas dentro del listado de las principales fuentes emisoras del área en estudio (junto con los puertos Guacolda I y Guacolda II), pero no consideró sus emisiones dentro del inventario presentado, probablemente debido a su bajo nivel de emisiones comparado con fuentes industriales mayores como Planta de Pellets, Central Guacolda y proyecto Punta Alcalde.

4.4.3 Discusión

Puerto Las Losas fue concebido como la instalación portuaria para la recepción de insumos para la operación de Agrosuper en la comuna de Freirina y como punto de salida de sus productos al extranjero. Dado el devenir del proyecto de este titular, las actividades del puerto se han circunscrito a la recepción ocasional de cargas libres y minerales a granel para Planta de Pellets, razón por la cual sus actividades no son en ningún caso perceptibles al analizar la concentración de material particulado en la localidad de Huasco.

4.5. Central Térmica Punta Alcalde

4.5.1 Descripción general

La principal fuente industrial proyectada en el sector de Huasco, es la Central Termoeléctrica Punta Alcalde, de ENDESA, que contempla la operación de 2 unidades de 370 MW cada una, operando con carbón sub-bituminoso, además de 4 áreas de depósito de carbón, un área de depósito de caliza y un área de depósito de cenizas. La Central Punta Alcalde se emplazará en una zona de arenales y roqueríos entre el borde costero y el farellón de la Cordillera de la Costa, en un sitio de 200 hectáreas situado a una distancia de 32 kilómetros al sur de la ciudad de Huasco siguiendo las rutas C-46 y C-480. En línea recta desde dicha ciudad la distancia es de 13 kilómetros, aproximadamente.

A continuación se describen las características de las chimeneas y de las fuentes areales de la Central Punta Alcalde, de acuerdo a lo señalado en el Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones.

Tabla 4–33: Características de Chimeneas de Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012^(a)

Fuente	Altura de chimenea (m)	Diámetro de chimenea (m)	Velocidad de salida (m/s)	Temperatura de salida (K)	Coordenadas UTM WGS84	
					Este (m)	Norte (m)
Chimenea 1	100	5,65	17,92	353	275.830	6.838.334
Chimenea 2	100	5,65	17,92	353	275.868	6.838.418

(a) Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones

Tabla 4–34: Características de Fuentes Aerales de Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012^(a)

Fuente Areal	Superficie (m ²)	Coordenadas UTM del centro del área (WGS84)	
		Este (m)	Norte (m)
Acopio de caliza	3.848	276.146	6.838.614
Acopio de carbón (4 pilas de 215 x 63)	54.180	276.360	6.838.500
Acopio de cenizas (16 terrazas)	7587 ^(a)	275.638	6.836.730

(a) Corresponde a la superficie activa.

Fuente: Anexo U del EIA del Proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde” y archivos de modelación.

4.5.2 Emisiones

Las emisiones de las fuentes puntuales de la central Punta Alcalde, a máxima capacidad, se presentan en la Tabla 4-35. Mientras que en la Tabla 4-36 se presenta los sistemas de control de emisiones y el tipo de combustible utilizado.

Tabla 4–35: Emisiones de Fuentes Puntuales de Central Punta Alcalde, según Acuerdo N° 17/2012^(a)

Fuente	Flujo estimado	Emisión					
		MP10		SO ₂		NO _x	
		m ³ N/h	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N	t/d	mg/m ³ N
Chimenea 1	1.366.042	27	0,885	200	6,557	203	6,667
Chimenea 2	1.366.042	27	0,885	200	6,557	203	6,667

(a) Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones

Tabla 4–36: Sistemas de Control de Emisiones y Tipo de Combustible en Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012^(a)

Fuente	Sistema de Control de Emisiones			Tipo de Combustible
	MP10	SO ₂	NO _x	
Chimenea 1	Filtro de mangas	Desulfurizador húmedo con caliza	Low NO _x , SCR, OFA	Carbón
Chimenea 2				

(a) Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones

Adicional a las fuentes puntuales, Central Punta Alcalde ha declarado emisiones fugitivas de material particulado, provenientes de fuentes emisoras areales como son los acopios de caliza, carbón y cenizas. Estas emisiones se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4–37: Emisiones de Fuentes Areales de Central Punta Alcalde, según Acuerdo N° 17/2012^(a)

Actividad	Emisión MP10 (kg/d)
Acopio de caliza	0,08
Acopio de carbón	4,93
Acopio de cenizas	0,27
TOTAL	5,28

(a) Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones

4.5.3 Discusión

A continuación, se presenta un resumen con las emisiones aprobadas de Central Térmica Punta Alcalde, y una comparación con las estimadas por DICTUC para el año 2018, las que fueron presentadas en febrero de 2015 en el marco de la elaboración del Plan de Prevención Atmosférica de Huasco¹².

¹² Presentación “Antecedentes para elaborar el Plan de Prevención de la localidad de Huasco”. Estudio desarrollado para la División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente, por Área Soluciones Ambientales, Greenlab UC, Ingeniería DICTUC. Febrero de 2015.

Tabla 4–38: Resumen de Emisiones Proyectadas de Material Particulado de Central Térmica Punta Alcalde

Fuente	Emisión MP10 (t/d)	
	Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012 (a)	DICTUC 2018 (b)
Chimenea 1	0,885	1,60
Chimenea 2	0,885	
Total Fuentes Fijas Puntuales	1,770	1,60
Carga y descarga de material	0,005	0,000
Manejo de pilas y erosión		0,003
Motor de maquinaria	-	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	-	0,000
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	0,068
Total Fuentes Areales	0,005	0,072

(a): Emisiones informadas como MP10, en Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones.

(b): Emisiones informadas como MP10 y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior, las emisiones por chimenea de MP10 de Punta Alcalde estimadas por DICTUC para el año 2018 (1,60 t/d) son levemente menores que las aprobadas (1,77 t/d), mientras que las emisiones de fuentes areales estimadas por DICTUC (0,072 t/d) son bastante mayores que las aprobadas (0,005 t/d). La diferencia radica en las emisiones generadas por el tránsito vehicular, dado que en la evaluación del proyecto Punta Alcalde no se declararon este tipo de emisiones.

Tabla 4–39: Resumen de Emisiones Proyectadas de SO₂ de Central Térmica Punta Alcalde

Fuente	Emisión SO ₂ (t/d)	
	Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012 (a)	DICTUC 2018 (b)
Chimenea 1	6,557	11,79
Chimenea 2	6,557	
Total Fuentes Fijas Puntuales	13,114	11,79
Carga y descarga de material	-	-
Manejo de pilas y erosión	-	-
Motor de maquinaria	-	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	-	0,00002
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	-
Total Fuentes Areales	-	0,00002

(a): Emisiones informadas como SO₂, en Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones.

(b): Emisiones informadas como SO_x y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a la tabla anterior, las emisiones por chimenea de SO₂ de Punta Alcalde estimadas por DICTUC para el año 2018 (11,79 t/d) son menores que las aprobadas (13,11 t/d). En cuanto a las emisiones areales, DICTUC estima un total de 0,00002 t/d de SO₂, generadas por la combustión de motores de vehículos, mientras que en la evaluación del proyecto Punta Alcalde no se declararon este tipo de emisiones.

Tabla 4–40: Resumen de Emisiones Proyectadas de NO_x de Central Térmica Punta Alcalde

Fuente	Emisión NO _x (t/d)	
	Central Punta Alcalde según Acuerdo N° 17/2012 (a)	DICTUC 2018 (b)
Chimenea 1	6,667	11,79
Chimenea 2	6,667	
Total Fuentes Fijas Puntuales	13,334	11,79
Carga y descarga de material	-	-
Manejo de pilas y erosión	-	-
Motor de maquinaria	-	-
Fuentes Móviles (combustión de motores)	-	0,008
Fuentes Fugitivas (resuspensión de polvo)	-	-
Total Fuentes Areales	-	0,008

(a): Emisiones informadas como NO_x, en Acuerdo N° 17/2012: Acuerdo Recurso de Reclamación aprueba con condiciones.

(b): Emisiones informadas como NO_x y expresadas en t/año en la presentación de DICTUC.

De acuerdo a la tabla anterior, las emisiones por chimenea de NO_x de Punta Alcalde estimadas por DICTUC para el año 2018 (11,79 t/d) son menores que las aprobadas (13,33 t/d). En cuanto a las emisiones areales, DICTUC estima un total de 0,008 t/d de SO₂, generadas por la combustión de motores de vehículos, mientras que en la evaluación del proyecto Punta Alcalde no se declararon este tipo de emisiones.

4.6. Fuentes menores en Huasco

4.6.1 Estudiadas por CENMA (2006)

4.6.1.1 Descripción general

El Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) realizó el año 2006 el “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco” que, entre otros, incluye el desarrollo y actualización de inventarios de emisiones, una estimación del impacto de fuentes emisoras de MP10 y el desarrollo de un modelo de dispersión para MP10.

En la construcción del inventario de emisiones de material particulado respirable (MP10) para la localidad de Huasco y su entorno, desarrollado por CENMA, se incorporaron las fuentes industriales más importantes de la zona (Eléctrica Guacolda, CMP y Endesa) además de fuentes de tipo urbano, como tránsito de vehículos, fuentes puntuales menores, y otras como áreas erosionables y el tránsito ferroviario.

Se identificaron otras fuentes, como canchas de carbón en el camino al sector industrial, caminos secundarios, y quemas permanentes en el vertedero municipal que no fueron cuantificados. Cualitativamente, CENMA estima que el inventario cubre al menos un 90% de las fuentes de la zona que afectan a Huasco.

Las características de las fuentes fijas menores en Huasco, correspondientes a empresas pequeñas, son las que se describen en Tabla 4-41, mientras que las características de las fuentes areales (calles de Huasco, tren y zonas erosionables), se entregan en Tabla 4-42 y Tabla 4-43.

Tabla 4-41: Características de Fuentes Fijas Menores en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Fuente	Altura de chimenea (m)	Diámetro de chimenea (m)	Velocidad de salida (m/s)	Temperatura de salida (K)	Coordenadas UTM WGS84 ^(a)	
					Este (m)	Norte (m)
Panadería Guacolda (hoy Santa Inés)	6	0,15	4	423	282.289	6.849.235
Panadería San Antonio	6	0,15	4	423	282.265	6.849.511
Supermercados Abarttal (hoy Santa Isabel)	10	0,15	4	423	282.270	6.849.350
Hospital Manuel Magallanes	10	0,15	4	423	282.996	6.849.463

(a) En el estudio CENMA no se indica Datum de las coordenadas UTM, por lo que las coordenadas en WGS84 se obtuvieron de Google Earth y MapQuest Streets.

Tabla 4-42: Características de Fuentes Areales Menores (Calles) en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Calle	Longitud Aprox. (m)
Arturo Prat	885
Astillero	678
Atacama	496
Aviador Aracena	347
Blanco Encalada	283
Cantera	1470
Colegio	866
Condell	570

Calle	Longitud Aprox. (m)
Craig	645
Eleuterio Ramírez	614
Francisco Pizarro	1323
Ignacio Carrera Pinto	299
Javiera Carrera	244
Luis Uribe	504
Las Heras	567
Latorre	839
Lautaro	1194
Manuel Rodríguez	716
Manuel Antonio Matta	320
Maestranza	714
Maipú	845
Miramar	1468
Pedro de Valdivia	771
Riquelme	1240
Serrano	870
Sargento Aldea	1495
Yerbas Buenas	173

Tabla 4–43: Características de Fuentes Areales Menores (Zonas erosionables) en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Fuente	Característica	Zona Urbana	Fuera de Zona Urbana
Ferrocarril	Longitud aprox. (m)	1000	4000
Zonas erosionables	Superficie aprox. (ha)	5	20

4.6.1.2 Emisiones

Los resultados del Inventario de MP10 para la Comuna de Huasco desarrollado por CENMA, muestran que alrededor del 97% de las emisiones proviene de las fuentes industriales principales, el resto se atribuye a fuentes fijas menores y fuentes móviles urbanas. La estimación de las emisiones de las fuentes menores se muestra a continuación.

Tabla 4–44: Estimación de Emisiones de Fuentes Menores en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Fuentes		Emisión MP10	
		kg/año	t/d
Entorno Urbano	Empresas pequeñas en Huasco	73	0,0002
	Tránsito urbano y tubo de escape	12251	0,0336
	Zonas erosionables en el entorno urbano	2713	0,0074
	Tránsito de ferrocarril (trayecto zona urbana)	496	0,0014
Fuera de Entorno Urbano	Tránsito de ferrocarril (trayecto fuera zona urbana)	991	0,0027
	Zonas erosionables lejos del entorno urbano	37663	0,1032
Total Fuentes Menores		54187	0,1485

En la tabla anterior las empresas pequeñas en Huasco corresponden a: Panadería Guacolda (hoy Santa Inés), Panadería San Antonio, Supermercados Abarttal (hoy Santa Isabel) y el Incinerador del Hospital Manuel Magallanes. El detalle de sus emisiones se presenta a continuación.

Tabla 4–45: Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas Menores en Huasco, según “Estudio de calidad de aire en la Comuna de Huasco”, CENMA, 2006

Fuente	Emisión MP10	
	kg/año	t/d
Panadería Guacolda (hoy Santa Inés)	29,0	0,000079
Panadería San Antonio	1,1	0,000003
Supermercados Abarttal (hoy Santa Isabel)	0,4	0,000001
Hospital Manuel Magallanes N.	42,5	0,000116
Total	73,0	0,000200

4.6.2 Estudiadas por GAC (2014-2015)

A fin de actualizar y/o complementar el estudio desarrollado por CENMA, a continuación se presenta una estimación propia de las fuentes emisoras menores en Huasco.

4.6.2.1 Tránsito vehicular en radio urbano de Huasco

Se realizó una nueva estimación de emisiones debida al tránsito vehicular en el radio urbano de Huasco a partir de la información de flujos vehiculares en la Ruta C-46 proporcionada por el Plan

Nacional de Censos 2012, de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas¹³. El tránsito medio anual para la Ruta C-46 durante el año 2012 se muestra a continuación para distintas categorías vehiculares.

Tabla 4-46: Volumen de Tránsito Año 2012 en Ruta C-46 Vallenar-Huasco

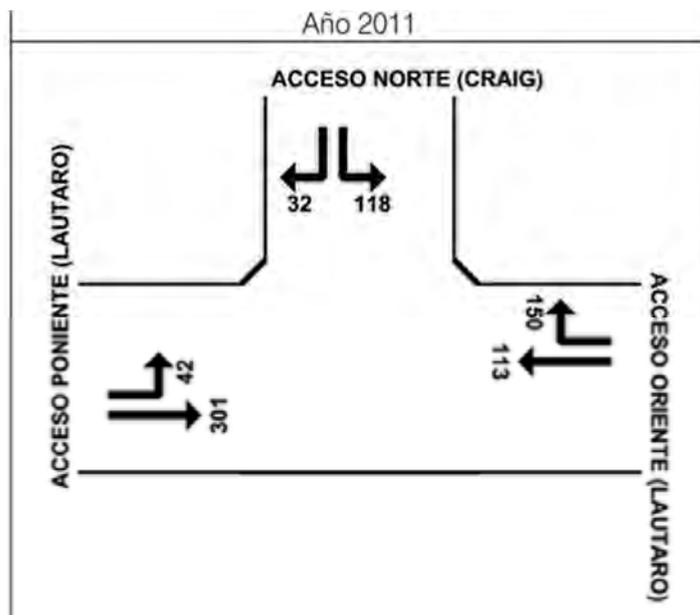
Muestra	Autos Station	Camionetas	Camiones 2 Ejes	Camiones Más 2 Ejes	Semi Remolques	Remolques	Locomoción Colectiva	Total 24 Horas
Verano	1208	954	249	156	342	37	206	3152
Invierno	1486	1514	295	277	494	15	398	4479
Primavera	1852	1215	326	612	91	4	425	4525
Transito Medio Diario Anual	1515	1228	290	348	309	19	343	4052

Fuente: Plan Nacional de Censos 2012, Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas

Para estimar la porción de flujo vial que llega a Huasco desde Vallenar, el flujo que entra y sale de Huasco por la calle principal (Craig) y el flujo que sigue desde Huasco hacia el sector industrial se consideró los resultados de la modelación de transporte desarrollada por INGENIAR en el EIA del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”. Los resultados de la Situación con Proyecto para el año 2011 se muestran en la Figura 4-3 a continuación.

¹³ DICTUC (Feb 2015) consideró el número de vehículos de acuerdo al registro de parque vehicular INE 2013.

Figura 4-3: Flujo Vehicular Año 2011 en Acceso Huasco según Modelación de Transporte del EIA “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”



Fuente: Figura 8-3: Flujo Total (veh/h), Situación con Proyecto, Temporada Estival. Anexo 6.3 Estudio de Impacto Sobre el Sistema de Transporte. EIA “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”

A partir de la figura anterior, se tiene que por el Acceso Oriente, que corresponde a la Ruta C-46 desde Vallenar, existe un flujo vehicular total de 682 vehículos por hora para la temporada estival. Mientras que para el Acceso Poniente, que corresponde a la Ruta C-468 hacia Guacolda, se obtuvo un flujo total horario de 488 vehículos, y para el Acceso Norte (calle Craig) un flujo total de 342 vehículos por hora. Si se considera esta proporción de flujos y el Transito Medio Diario Anual del año 2012 (4052 vehículos diarios por el Acceso Oriente según Tabla 4-47), se obtiene los flujos vehiculares diarios de la Tabla 4-48. Además, se presentan las distancias recorridas por dichas rutas dentro del radio urbano de Huasco. Respecto del tránsito que comienza en el Acceso por calle Craig se supuso un tránsito por diversas calles recorriendo gran parte de la ciudad¹⁴.

¹⁴ DICTUC (Feb. 2015) consideró la distancia recorrida por vehículo según la Guía Metodológica para la Elaboración de Planes de Descontaminación, CONAMA 2006. Mientras que para la distancia recorrida por camiones, se obtuvo según la distancia de los tramos y el material transportado.

Tabla 4–47: Estimación de Flujo Vehicular y Distancias Recorridas en Radio Urbano de Huasco

Camino	Flujo Medio Diario (veh/d)	Distancia Recorrida (km)	Referencia para Distancia
Tránsito interno Huasco, desde acceso por calle Craig	2032	4	Considerando un tránsito por diversas calles recorriendo gran parte de Huasco
Ruta C-46 hasta Acceso Oriente	4052	1,1	Distancia medida dentro del radio urbano de Huasco
Ruta C-468 desde Acceso Poniente	2899	1,4	Distancias medidas dentro del radio urbano de Huasco

Con la información anterior, es posible estimar las emisiones de material particulado producto de la resuspensión de polvo por el tránsito vehicular por caminos pavimentados, considerando la fórmula y las variables que se indican a continuación.

Tabla 4–48: Factor de Emisión para Resuspensión de Polvo por Tránsito Vehicular por Caminos Pavimentados

Factor de Emisión	Unidad	Variables	Referencia
$k \times (sL)^{0,91} \times (W)^{1,02}$	g/km-veh	k: Factor tamaño de partícula	Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana (Guía RM), Tabla 4.5
		W: Masa promedio de la flota (t)	
		sL: carga de finos del camino (g/m ²)	AP-42, Section 13.2.1 Paved Roads

Tabla 4–49: Valores de Variables y Cálculo de Factor de Emisión para Resuspensión de Polvo por Tránsito Vehicular por Caminos Pavimentados

Variable / Factor de Emisión	Valor	Referencia
k: Factor tamaño de partícula para MP10	0,62	AP-42, Section 13,2,1 Paved Roads
k: Factor tamaño de partícula para MP2,5	0,15	
W: Masa promedio de la flota (t)	6,9	Valor estimado de acuerdo a Flujo Vial 2012 en Ruta C-46 (Tabla 4-39)
sL: carga de finos del camino (g/m ²)	0,7	Guía RM, Tabla 4.5, Tráfico diario entre 500 y 10000 vehículos
Factor de emisión para MP10 (g/km-veh)	3,2	Estimados a partir de fórmula y variables indicadas.
Factor de emisión para MP2,5 (g/km-veh)	0,8	

A partir de los factores de emisión de la tabla anterior y de los niveles de actividad presentados en Tabla 4-48, se han estimado las emisiones que se muestran a continuación.

Tabla 4-50: Estimación de Emisiones de Material Particulado por Resuspensión de Polvo por Tránsito Vehicular en el Radio Urbano de Huasco

Camino	Emisiones (t/año)	
	MP10	MP2.5
Tránsito interno Huasco, desde acceso por calle Craig	5,3	1,3
Ruta C-46 hasta Acceso Oriente	4,8	1,2
Ruta C-468 desde Acceso Poniente	9,6	2,3
TOTAL	19,6	4,7

De acuerdo a la Tabla anterior, las emisiones de MP10 producto del tránsito vehicular en Huasco se han estimado en 19,6 toneladas anuales, sin considerar las emisiones debido a la combustión de los motores. Las emisiones estimadas por CENMA para este mismo concepto fueron de 12,3 t/año (Tabla 4-44). Por su parte, las emisiones estimadas por DICTUC para resuspensión de polvo por tránsito vehicular son de 244,8 ton/año, cerca de 12 veces mayor que las estimadas por GAC. La diferencia puede atribuirse, en parte, a que no existe información para estimar los flujos que tienen origen y destino dentro del radio urbano de Huasco, no obstante lo cual DICTUC esbozó una estimación.

4.6.2.2 Generadores de Buques en Puerto

Se estimaron las emisiones de los generadores de los buques que permanecen en puerto en alguno de los puertos del sector (Las Losas, Guacolda I y Guacolda II). Este tipo de emisiones no fueron consideradas en el estudio de CENMA. Se consideró para la estimación, que simultáneamente permanece un buque en cada uno de los tres puertos del sector y que en cada uno de ellos opera un generador Diésel de 630 kW de potencia¹⁵

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados para el estándar de emisión Tier 2, de acuerdo al modelo considerado para los generadores.

¹⁵ Se tomó como referencia el modelo WÄRTSILÄ AUXPAC 16 que se utiliza como motor auxiliar para una variedad de embarcaciones, el cual, según catálogo, cumple con estándar de emisión Tier 2.

Tabla 4–51: Factores de Emisión para Grupos Electrógenos

Combustible	Potencia (kW)	Factor de Emisión (g/kW-h)		
		MP	NO _x	SO _x
Diésel	630	0,2	6,4	0,02

Fuente: Para los factores de emisión de MP y NO_x se consideró el estándar de emisión Tier 2. Para el SO₂ se consideró el factor entregado en la Tabla 4.11 de la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana”, con un contenido de azufre en el combustible de 0,005%.

Se consideraron los niveles de actividad detallados en la siguiente tabla.

Tabla 4–52: Niveles de Actividad para Generadores de Buques en Puerto

Tiempo de operación (h/d)	Tiempo de operación (d/año)	Porcentaje de carga	Cantidad de equipos
24	150	70%	3

A partir de los factores de emisión de la Tabla 4-52 y de los niveles de actividad presentados en la tabla anterior, se han estimado las emisiones que se muestran a continuación.

Tabla 4–53: Estimación de Emisiones de Material Particulado y Gases de Generadores de Buques en Puerto

Emisión (t/año)		
MP	NO _x	SO _x
0,95	30,48	0,12

4.6.2.3 Transporte ferroviario

Se realizó una nueva estimación de emisiones debida al transporte ferroviario que realiza Ferronor desde la Mina Los Colorados, hasta la Planta de Pellets. Para efectos del cálculo de emisiones, se consideró el tramo desde Olivos de Bellavista hasta la Planta de Pellets, además de información proporcionada por CAP Minería respecto de las características de las locomotoras y de los tiempos de marcha para los distintos tramos de recorrido del tren. Las características de las locomotoras se presentan a continuación.

Tabla 4–54: Características de las Locomotoras de Ferronor que realizan el recorrido Mina Los Colorados-Planta de Pellets

Locomotoras	Año de fabricación	Cantidad	Marca	Modelo	Potencia neta (HP)
Nuevas	2013	7	EMD	GT46AC	4300
Auxiliares	1985	2	EMD	GP49	2600

Fuente: Información proporcionada por CAP Minería.

De acuerdo al año de fabricación y la potencia de las locomotoras es posible determinar su estándar de emisión. De esta forma, las locomotoras nuevas del año 2013 cumplirían con un estándar Tier 3, mientras que las auxiliares del año 1985 tendrían un estándar Tier 0. Los factores de emisión asociados a estos estándares se detallan a continuación.

Tabla 4–55: Factores de Emisión para Locomotoras

Locomotoras	Estándar de Emisión	Ciclo de trabajo	Factor de Emisión (g/bhp-h)	
			MP	NOx
Nuevas	Tier 3	Line-haul	0,10	5,50
Auxiliares	Tier 0	Line-haul	0,22	9,50

Fuente: Estándares de emisión para locomotoras según EPA, disponible en <http://www.epa.gov/otaq/standards/nonroad/locomotives.htm>, última visita 25 de junio de 2015.

Para estimar la duración del viaje de ferrocarril dentro del tramo considerado, se tomó como base la información de tiempos de marcha para los distintos tramos de recorrido del tren de Ferronor, en particular, los tramos 8 y 9 que corresponden al recorrido entre Las Tablas y Planta de Pellets, según se describe a continuación.

Tabla 4–56: Tiempos de Marcha del Ferrocarril de Ferronor entre Las Tablas y Planta de Pellets

Tramo	Descripción del tramo	Recorrido (km)	Tiempo de recorrido con restricción de velocidad (h)	Velocidad media (km/h)
8	Las Tablas - Estación CAP	7,5	0,32	23,5
9	Estación CAP - Planta de Pellets	7,1	0,28	25,4
Total Tramo 8-9		14,6	0,60	24,4

Fuente: Información proporcionada por CAP Minería

De la información anterior se obtiene que la velocidad media del ferrocarril en el tramo final de su recorrido hasta llegar a la Planta de Pellets es de 24,4 km/h, con lo cual es posible obtener la

duración del viaje desde Olivos de Bellavista hasta la Planta de Pellets, pasando por Huasco urbano.

Tabla 4–57: Estimación de la Duración del Viaje del Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets

Tramo	Recorrido (km)	Velocidad media (km/h)	Duración del viaje (h)
Olivos de Bellavista - Límite oriente Huasco urbano	2,6	24,4	0,11
Huasco urbano	2,3	24,4	0,10
Límite poniente Huasco urbano - Planta de Pellets	2,7	24,4	0,11
Total	7,6	24,4	0,31

A continuación, se presentan los niveles de actividad asociados al tránsito del ferrocarril de Ferronor en el tramo considerado, incluyendo los tiempos de viaje indicados en la tabla anterior.

Tabla 4–58: Niveles de Actividad para Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets

Locomotoras	Cantidad	Potencia neta (HP)	Viajes diarios por locomotora	Viajes anuales por locomotora	Duración del viaje ida y vuelta (h)	
					Huasco urbano	Fuera de entorno urbano
Nuevas	7	4300	1	365	0,19	0,43
Auxiliares	2	2600	1	365	0,19	0,43

A partir de los factores de emisión de la Tabla 4-56 y de los niveles de actividad presentados en la tabla anterior, se han estimado las emisiones que se muestran a continuación.

Tabla 4–59: Estimación de Emisiones de Material Particulado para Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets

Locomotoras	Emisión MP (t/año)		
	Huasco urbano	Fuera de entorno urbano	Total
Nuevas	0,21	0,47	0,68
Auxiliares	0,08	0,18	0,26
Total	0,29	0,65	0,94

Tabla 4–60: Estimación de Emisiones de NO_x para Ferrocarril de Ferronor entre Olivos de Bellavista y Planta de Pellets

Locomotoras	Emisión NO _x (t/año)		
	Huasco urbano	Fuera de entorno urbano	Total
Nuevas	11,55	26,02	37,56
Auxiliares	3,45	7,76	11,21
Total	14,99	33,78	48,77

4.6.3 Discusión

A continuación, se presenta un resumen con las emisiones de material particulado de las fuentes menores en Huasco, estimadas por CENMA; GAC y DICTUC, en particular para el tránsito vehicular en el radio urbano de Huasco, generadores de buques que permanecen en Puerto y el tránsito del ferrocarril de Ferronor.

Tabla 4–61: Resumen de Emisiones Estimadas de Material Particulado para Fuentes Menores en Huasco

Fuente	Emisión MP (t/año)		
	CENMA	GAC	DICTUC
Tránsito vehicular en radio urbano de Huasco	12,3	19,6	244,8
Generadores de buques en Puerto	-	0,95	-
Transporte ferroviario	1,49	0,94	0,64

Respecto de las emisiones de material particulado para tránsito vehicular, la estimación de GAC es mayor aunque de similar magnitud que la emisión estimada por CENMA, pero ambas difieren de las estimadas por DICTUC, siendo esta última 20 veces el valor CENMA y 12 veces el valor GAC. Esta diferencia probablemente se debe a distintos niveles de actividad considerados. Si bien se conocen las fuentes de información que utilizó DICTUC para los factores de emisión y niveles de actividad considerados (flujos vehiculares y distancias recorridas), se desconocen los valores de las variables utilizadas en el cálculo.

En cuanto a las emisiones asociadas al transporte ferroviario, las tres estimaciones son de similar magnitud, variando entre 0,64 y 1,49 t/d.

Finalmente, respecto de las emisiones de generadores en los buques que permanecen en puerto, éstas sólo fueron estudiadas por GAC, no siendo consideradas en los estudios de CENMA y DICTUC.

4.7. Estudio Cualitativo del Origen y Desplazamiento de Material Particulado en Huasco

CAP Minería solicitó a la empresa MAPSAT la realización de un registro del comportamiento del material particulado (MP) en la zona de influencia de Planta de Pellets en Huasco, mediante tecnología LIDAR. Las mediciones se llevaron a cabo entre el 29 de septiembre y el 16 de octubre del 2014.

4.7.1 Objetivos

El objetivo del estudio desarrollado por MAPSAT es encontrar posibles fuentes emisoras relevantes de material particulado dentro de la planta y en sus alrededores. Una vez identificadas las fuentes de emisión, el siguiente objetivo es determinar las posibles trayectorias del material particulado y cómo interactúan las diferentes fuentes de emisión. También es importante comparar las emisiones del área de endurecimiento térmico para el caso en que ésta esté funcionando y cuando no lo esté.

Se entenderá que una fuente es relevante cuando el material particulado sea detectada por LIDAR. Por las características de funcionalidad de este instrumento que se fijó para escanear horizontalmente la atmósfera, el barrido del láser permite obtener imágenes de colores en donde cada color representa la concentración de material particulado existente en el sector y momento del escaneo. Por lo que una fuente se interpretará como relevante si la imagen del LIDAR arroja un sector de color de tonalidad al rojo asociada a ella.

4.7.2 Metodología

El LIDAR es un sensor remoto capaz de medir la distribución espacial y temporal del material particulado en suspensión atmosférica. Este aparato emite pulsos láser a la atmósfera recibiendo posteriormente parte de la luz dispersada (reflejada) por ésta. Mediante el análisis de la luz que retorna al LIDAR (luz retrodispersada), es posible detectar la presencia de aerosoles y material particulado (MP) en suspensión. Así, el LIDAR permite detectar fuentes puntuales de emisión de aerosoles, como también hacer un seguimiento de éstas en el tiempo y el espacio. La información de retorno obtenida por el sensor LIDAR podría llegar a tener un alcance superior a los 10 km en condiciones especiales de meteorología, horario, topografía y altura. En el caso particular del presente estudio la información óptima de retornos útiles de datos, se produjo en un rango aproximado de 3 km. Los mapas arrojados por el instrumento LIDAR muestran el campo de concentración de material particulado (gráficos de intensidad) en distintos colores, que van desde

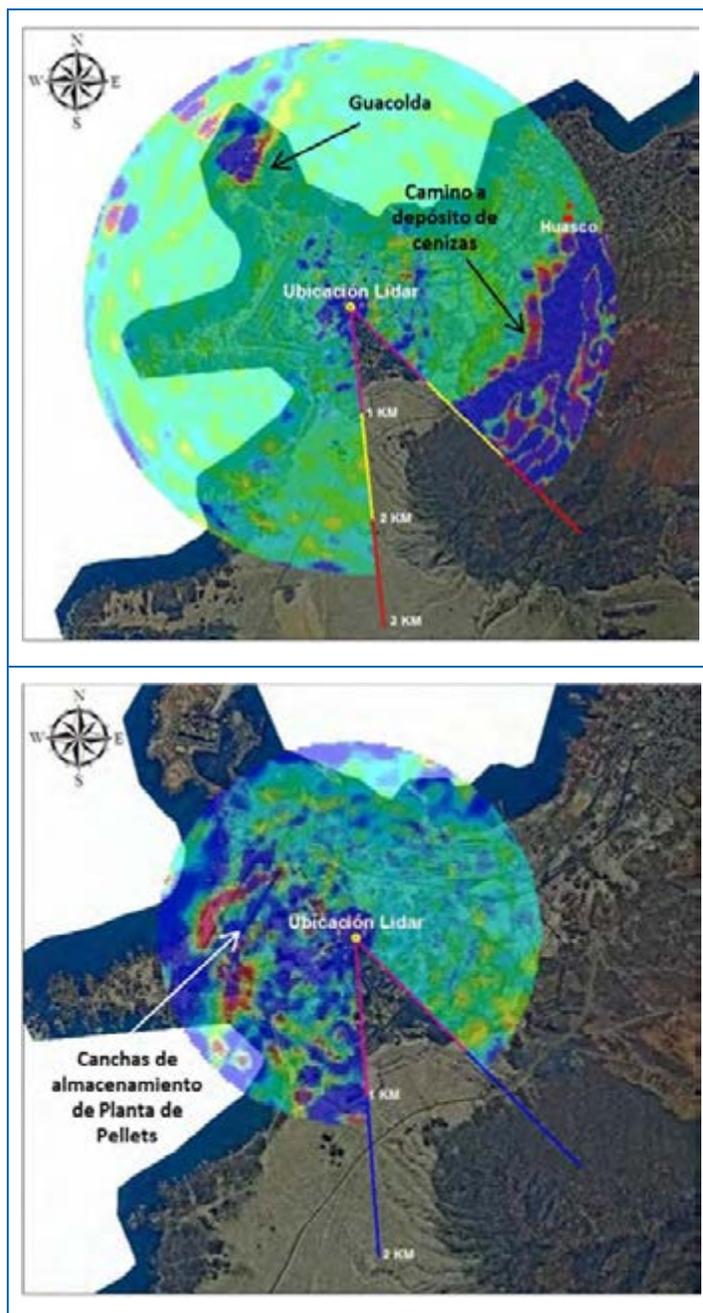
el morado al azul que revela muy baja concentración o marginal, pasando luego por colores del azul claro al verde que representan concentraciones de baja a mediana no relevantes; al amarillo y rojo que revela una concentración media a alta el que puede llegar a ser relevante.

4.7.3 Resultados

4.7.3.1 Barrido -185° a 135°, sector Planta de Pellets y Central Guacolda

Este escaneo se realiza entre el 29 de septiembre y 3 de octubre (mañana). Dentro de las imágenes registradas destaca la que se muestra a continuación, en la que es posible observar zonas en tonos amarillos y rojos, revelando concentraciones medias y altas de material particulado, sobre la Central Guacolda y en las cercanías del camino no pavimentado que va hacia el depósito de cenizas de Guacolda (primera imagen en Figura 4-4), como también sobre las canchas de acopio de Planta de Pellets (segunda imagen en Figura 4-4).

Figura 4-4: Escaneos relevantes registrados en barrido -185° a 135°

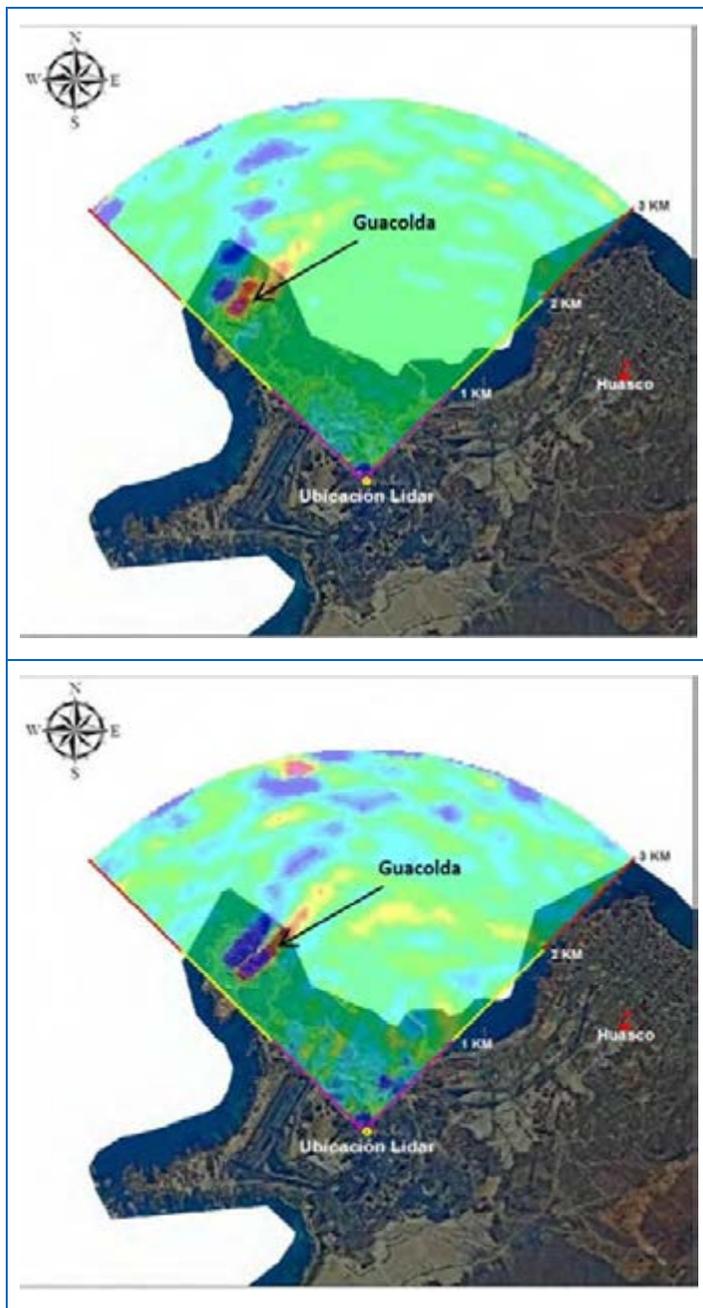


4.7.3.2 Barrido -45° a 45° , sector Central Guacolda

Este escaneo se realiza entre el 3 (tarde) y el 8 (mañana) de octubre. Dentro de las imágenes registradas destacan las que se muestran a continuación, en la que es posible observar zonas

en tonos amarillos y rojos, revelando concentraciones medias y altas de material particulado, sobre la Central Guacolda.

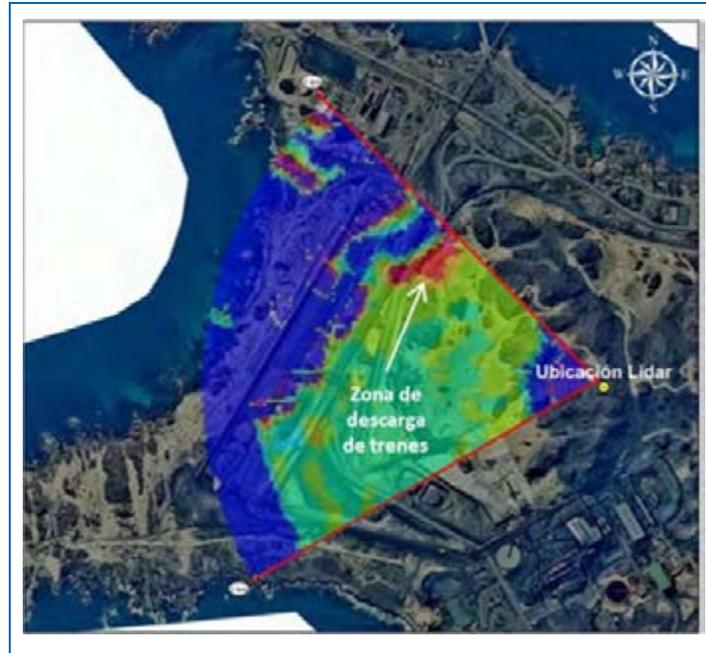
Figura 4-5: Escaneos relevantes registrados en barrido -45° a 45°



4.7.3.3 Barrido -45° a -120°, Sector Canchas de Acopio de Planta de Pellets

Este escaneo se realiza entre el 14 (media tarde) y el 16 (medio día) de octubre. Dentro de las imágenes registradas destaca la que se muestra a continuación, en la que es posible observar zonas en tonos amarillos y rojos, revelando concentraciones medias y altas de material particulado, sobre la zona de descarga de trenes de Planta de Pellets.

Figura 4-6: Escaneo relevante registrado en barrido -45° a -120°



4.7.4 Discusión

Los escaneos del LIDAR revelan como fuentes relevantes de material particulado a la Central Guacolda, el camino sin pavimentar hacia el depósito de cenizas de Guacolda, además de las canchas de acopio y la zona de descarga de trenes, ambas en Planta de Pellets. Las imágenes de escaneo revelan que el penacho sobre la Central Guacolda se desplaza hacia el cuadrante noreste-este, es decir, hacia el mar y eventualmente en dirección a Huasco.

5. ESTUDIO DE FUENTES EMISORAS DE PLANTA DE PELLETS

5.1. Descripción general

Planta de Pellets es una instalación minero-industrial de propiedad de CAP Minería que inició su operación en 1978. El proceso productivo, insumos y residuos se encuentran descritos en el marco del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”, que fue calificado favorablemente de acuerdo a lo estipulado en la RCA N°215/2010. Dicho proyecto considera la ejecución de dos fases, de las cuales actualmente se encuentra en operación la Fase I. La Fase II, consistente en una segunda línea de peletización, aún no ha sido ejecutada.

El proceso productivo de esta instalación se inicia con el transporte de preconcentrado magnético de hierro por ferrocarril desde las minas, el cual es recibido en Planta de Pellets, en una estación de descarga, para luego ser transportado mediante correas transportadoras y almacenado en pilas en el sector de canchas de acopio, cuya capacidad para esta materia prima es de 500.000 toneladas vivas. Desde dichas pilas es recuperado a través de cargadores frontales que traspasan el material a correas transportadoras que alimentan silos de almacenamiento temporal. También existe la opción de derivarlo, desde la estación de descarga directamente a los silos, la alimentación directa representa en promedio para los últimos 5 años, un 48% del material recibido.

Figura 5-1: Fuentes emisoras de Planta de Pellets



El preconcentrado se conduce desde los silos hasta las líneas de molienda, clasificación y concentración, compuestas por molinos de bolas, estanque espesador, baterías magnéticas y estanque hidroseparador. La descarga del molino alimenta, a través de bombas centrífugas, la etapa de clasificación que se realiza mediante hidrociclones donde se produce la separación de las partículas según tamaño y gravedad. Las partículas finas pasan a la etapa de concentración, mientras que las partículas gruesas son retornadas al molino como carga circulante. El proceso de concentración aprovecha las características magnéticas del mineral de hierro para separarlo de las impurezas mediante baterías de tambores magnéticos. En el proceso no se emplea la separación mediante reactivos químicos.

El mineral de hierro, una vez concentrado pasa al proceso de filtrado donde se le extrae el agua, por filtración obteniendo como producto un sólido con bajo porcentaje de humedad. Al final de esta etapa, es posible realizar la separación opcional entre los dos productos de la Planta de Pellet: Pellet o Pellet Feed.

El pellet feed es transportado mediante correa transportadora hasta el sector de canchas de acopio, donde es almacenado hasta el embarque a través de Puerto Guacolda II.

Alternativamente, el producto del área de filtrado puede enviarse a las instalaciones de pelletización, donde sigue los siguientes procesos:

- Balling: mediante el uso de discos peletizadores, se elaboran aglomerados de mineral de hierro con forma de bolas, los que se denominan “pellets verdes”, los cuales

posteriormente se clasifican mediante harneros. Aquellos pellets que se encuentran en el rango de tamaño entre 9 a 16 mm son seleccionados para su endurecimiento mediante proceso térmico. El resto es devuelto a proceso.

- Endurecimiento Térmico: Este proceso considera la exposición progresiva de los pellets verdes a flujos de gases a elevadas temperaturas para conseguir su endurecimiento y oxidación, modificando con ello su estructura molecular de magnetita a hematita. Este proceso está conformado por cuatro etapas: parrilla recta, horno rotatorio, enfriador anular y finalmente un enfriador recto. Se obtiene como resultado de este proceso esferas de concentrado de hematita, denominadas Pellets, los que son transportados y almacenados en una cancha de almacenamiento para su posterior embarque por puerto Guacolda II.

Las emisiones de material particulado producto del proceso productivo tienen lugar en las canchas de acopio de materias primas y productos, debido al fenómeno de erosión eólica y al movimiento de mineral. También se emite material particulado a través de chimeneas asociadas al proceso de endurecimiento térmico. La planta cuenta con dos chimeneas principales existentes, denominadas 2A y 2B, y una tercera chimenea aprobada, futura, para una nueva línea de endurecimiento, cuyo caudal será equivalente a la suma de las dos chimeneas existentes. Esta chimenea pertenece al proyecto tercera línea de peletización, que como ya se señaló no ha sido construida aún.

5.2. Tipos de combustible utilizados en Planta de Pellets

La operación de Planta de Pellets utiliza carbón, petróleo Diésel y petróleo IFO-380.

El carbón, del tipo bituminoso, metalúrgico, de alta pureza y bajo contenido de azufre, es utilizado exclusivamente como combustible en el horno rotatorio dentro del cual se lleva a cabo la etapa final del proceso de endurecimiento térmico de los pellets. Los gases recuperados de los procesos de enfriamiento de los pellets son alimentados al horno de parrillas para el precalentamiento de los pellets. El petróleo IFO-380 se utiliza sólo durante las partidas y detenciones del proceso de endurecimiento térmico con el propósito de lograr una curva de calentamiento/enfriamiento controlada. El objetivo de esta práctica es evitar dañar la infraestructura del horno rotatorio, en especial su cubierta interna de ladrillo refractario.

El petróleo Diésel se utiliza como combustible para operar la caldera que calienta el IFO-380 y provee vapor para la limpieza de los quemadores. Cuando la Planta se encuentra produciendo en condición normal, ésta funciona sólo con energía eléctrica suministrada por terceros.

Los combustibles (Diésel e IFO-380) son suministrados mediante camiones aljibe o desde Puerto Guacolda II y son almacenados en estanques al interior de la planta. El carbón es almacenado en una cancha, rodeada por una pantalla eólica, exclusivamente utilizada para tal fin al interior

de la planta. El carbón, que debe ser compatible con la calidad metalúrgica (bajo azufre, fósforo y otras impurezas) de los pellets, proviene del extranjero, por vía marítima, y es descargado en Puerto Las Losas para su inmediato transporte a la cancha de almacenamiento.

El consumo de combustibles depende del tiempo de operación, el cual a su vez es función de la demanda de mercado, por lo que es variable. En la siguiente tabla se presentan los consumos de los tres últimos años calendario.

Tabla 5-1: Consumo de Combustibles – Periodo 2011-2013

Año	Consumo carbón (ton/año)	Consumo Diésel (ton/año)	Consumo IFO-380 (ton/año)
2011	63.116	38	4.517
2012	45.158	68	3.685
2013	46.060	38	4.167

5.3. Fuentes fijas

5.3.1 Factores de Emisión

A fin de caracterizar de forma exhaustiva las emisiones de las distintas fuentes fijas en Planta de Pellets, se encargó su medición a la empresa SERPRAM S.A., acreditada por el INN hasta el 13 de mayo de 2018 según indica la acreditación INN LE1195 de fecha 13 de mayo de 2014.

Las chimeneas operativas (2A y 2B), pertenecientes a la línea de endurecimiento térmico, corresponden a aquellas anualmente medidas por laboratorios externos a Planta de Pellets, las cuales se reproducen en la siguiente tabla, junto a las de otras fuentes de la Planta, de mucha menor cuantía, las que disponen de sus respectivas chimeneas y fueron caracterizadas especialmente con ocasión del presente estudio.

Tabla 5-2: Posición y altura de las chimeneas de Planta de Pellets

Chimenea	Material	Coordenadas UTM (WGS84)		± (m)	Altura (m)
		Norte	Este		
Caldera para calentar IFO-380	Metal	6.847.590	279.869	4	7,5
Rotoclones en traspasos de material	Metal	6.847.560	279.857	5	15
Colector de Polvo 7263	Metal	6.847.476	279.859	4	11
2A (PPE y desulfurizador)	Metal	6.847.421	279.954	4	60
2B (Scrubber)	Metal	6.847.485	279.986	5	32

Para determinar las emisiones para las fuentes fijas, se consideran las mediciones de emisiones realizadas por SERPRAM y las horas de funcionamiento de la Planta, tal como se señala en la siguiente expresión:

$$Emisión \left(\frac{kg}{año} \right) = Emisión\ medida \left(\frac{kg}{hr} \right) * Horas\ de\ funcionamiento \left(\frac{hr}{año} \right)$$

En la siguiente tabla se presentan las mediciones realizadas por SERPRAM durante el segundo semestre de 2014.

Tabla 5-3: Medición de emisiones en Planta Pellets 2014, desarrolladas por SERPRAM

Fuente	Fecha	Caudal seco (m³N/h)	MP	CO	NO _x	SO ₂	HCNM
Chimenea 2A con Precipitador Electroestático (PPE)	03-09-14	434.811					
		Concentración (mg/m³N)	12,7	1,82	143,87	13,62	
		Emisiones horarias (kg/h)	5,519	0,79	62,56	5,92	
		Emisiones diarias (kg/día)	132,46	18,96	1.501,44	142,08	
Chimenea 2B con Scrubber	26-08-14	416.143					
		Concentración (mg/m³N)	91,34	1,96	181,18	112,87	0,02
		Emisiones horarias (kg/h)	38,023	0,82	75,4	46,97	0,01
		Emisiones diarias (kg/día)	912,55	19,68	1.809,60	1.127,28	0,24
Enfriador	01-09-14	37.033					
		Concentración (mg/m³N)	50,7				
		Emisiones horarias (kg/h)	1,873				
		Emisiones diarias (kg/día)	44,952				
Caldera partidas	21,22/10/2014	5.027					
		Concentración (mg/m³N)	264,71	365,4	283,5	627,8	10,02
		Emisiones horarias (kg/h)	1,330697	1,84	1,43	3,16	0,050
		Emisiones diarias (kg/día)	31,93673	44,16	34,32	75,84	1,210
Rotoclón 2	27-10-14	10.905					
		Concentración (mg/m³N)	7,92	0,7562	0,2968	0,605	0,190
		Emisiones horarias (kg/h)	0,0863	0,0082	0,0032	0,0066	0,002
		Emisiones diarias (kg/día)	2,071	0,197	0,077	0,158	0,050
Rotoclón 1	29-10-14	16.664					
		Concentración (mg/m³N)	10,66	0,2216	4,1751	0,2748	0,200
		Emisiones horarias (kg/h)	0,1776	0,0037	0,0696	0,0046	0,003
		Emisiones diarias (kg/día)	4,2624	0,0888	1,6704	0,1104	0,079
Planta de Cal	05-11-14	9.859					
		Concentración (mg/m³N)	5,3	0,037	0,078	1,571	0,329

Fuente	Fecha	Caudal seco (m ³ N/h)	MP	CO	NO _x	SO ₂	HCNM
	Emisiones horarias (kg/h)		0,05	0,000	0,001	0,016	0,003
	Emisiones diarias (kg/día)		1,2	0,010	0,019	0,372	0,077
Granalladora	20-11-14	5.978					
	Concentración (mg/m ³ N)		49,99	0,031	0,712	1,213	0,0002
	Emisiones horarias (kg/h)		0,30	0,000	0,004	0,007	1,2E-06
	Emisiones diarias (kg/día)		7,20	0,005	0,103	0,175	2,9E-05
Bomba de vacío	26-11-14	8.541					
	Concentración (mg/m ³ N)		5,68	0,0403	0,0952	0,0234	0,014
	Emisiones horarias (kg/h)		0,05	0,0003	0,0008	0,0002	0,0001
	Emisiones diarias (kg/día)		1,2	0,0072	0,0192	0,0048	0,002

Con la finalidad de contar con mayores antecedentes para establecer las emisiones de contaminantes por fuentes fijas, además del monitoreo realizado en el segundo semestre de 2014 presentado en la Tabla 5–3, se consideraron los monitoreos realizados en las chimeneas 2A y 2B en el primer y segundo semestre de 2013 y en el primer semestre de 2014, con el cual se construyó un factor de emisión promedio. Para las otras fuentes no fue posible realizar dicho análisis puesto que no se cuenta con mediciones anteriores a la presentada en la Tabla 5–3.

Tabla 5–4: Mediciones de emisiones en chimeneas 2A y 2B periodo 2013-2014, desarrolladas por SERPRAM

Fecha	Emisiones MP (kg/h)		Emisiones SO ₂ (kg/h)		Emisiones NO _x (kg/h)	
	2B	2A	2B	2A	2B	2A
Semestre 1 2013	58,0	3,5	94,17	7,02	2,42	2,63
Semestre 2 2013	60,1	5,5	79,17	14,04	4,65	5,56
Semestre 1 2014	49,1	5,6	87,50	13,00	85,42	106,79
Semestre 2 2014	38,0	5,5	46,97	5,92	75,40	62,56
Promedio (*)	51,31	5,04	76,95	10,00	80,41	84,68

(*) La emisión promedio para NO_x, sólo considera las emisiones del primer y segundo semestre de 2014, dado por las diferencias con las mediciones de 2013 y por considerarse un escenario más desfavorable.

5.3.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad está asociado a las horas de funcionamiento anual por actividad, tanto para el año 2013 como para el año 2014, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5–5: Horas de funcionamiento anual en Planta de Pellets

Actividad	2013	2014
Endurecimiento térmico	4.895,37	3.682,56
Caldera	2.863,00	2.232,00

5.3.3 Resultados

A continuación se presentan las emisiones anuales para cada fuente puntual. Cabe señalar que para estimar las emisiones anuales de MP10, se consideró que el 100% de las emisiones medidas de MP corresponden a MP10. Por otra parte, se consideraron cinco escenarios de emisiones, los cuales se describen a continuación:

- **2014 (Base 340 días/año):** Considera las emisiones medidas presentadas en la Tabla 5–3 para las fuentes: enfriador, caldera, rotoclón 1 y 2, planta de cal, granalladora y bomba de vacío. Para la chimenea 2A y 2B considera las emisiones promedio de las mediciones realizadas durante el año 2013 y 2014, ver Tabla 5–4. El tiempo de operación que contempla el presente escenario es de 340 días/año, excepto para las calderas en el cual se consideran 220 días al año y el proceso de granallado el cual opera en promedio 30 horas a la semana.
- **2013 (Real):** Considera las emisiones medidas presentadas en la Tabla 5–3 para las fuentes: enfriador, caldera, rotoclón 1 y 2, planta de cal, granalladora y bomba de vacío. Para la chimenea 2A y 2B considera las emisiones promedio de las mediciones realizadas durante el año 2013 y 2014, ver Tabla 5–4. El tiempo de operación que contempla el presente escenario está dado por las horas de operación real para el año 2013, ver Tabla 5–5. Se asocian las fuentes fijas chimenea 2A y 2B, enfriador y planta de cal a la actividad de endurecimiento térmico, caldera partidas a caldera, mientras que para el resto de las fuentes se mantienen la operación del escenario “2014 (Base 340 días/año)”.
- **2014 (Real):** Considera las emisiones medidas presentadas en la Tabla 5–3 para las fuentes: enfriador, caldera, rotoclón 1 y 2, planta de cal, granalladora y bomba de vacío. Para la chimenea 2A y 2B considera las emisiones promedio de las mediciones realizadas durante el año 2013 y 2014, ver Tabla 5–4. El tiempo de operación que contempla el presente escenario está dado por las horas de operación real para el año 2014, ver Tabla 5–5. Se asocian las fuentes fijas chimenea 2A y 2B, enfriador y planta de cal a la actividad de endurecimiento térmico, caldera partidas a caldera, mientras que para el resto de las fuentes se mantienen la operación del escenario “2014 (Base 340 días/año)”.
- **Aprobada EIA Fase I:** considera las emisiones declaradas en el EIA para las chimeneas 2A y 2B, con una operación de 340 días/año.

- **Aprobada EIA Fase II:** considera las emisiones declaradas en el EIA para las chimeneas 2A, 2B y chimenea nueva línea de endurecimiento, con una operación de 340 días/año.

En la siguiente tabla se presentan las emisiones de MP10 para las fuentes fijas, en base al análisis anteriormente mencionado.

Tabla 5–6: Emisiones de MP10 Fuentes Fijas Planta Pellets

Fuente	Emisión MP10 (ton/año)				
	2014 (base 340 días/año)(a)	2013 (Real)(d)	2014 (Real)(e)	Aprobada EIA Fase I	Aprobada EIA Fase II
Chimenea 2A con PPE (c)	41,1	24,7	18,6	258,4	258,4
Chimenea 2B con Scrubber (c)	418,7	251,2	188,9	669,8	669,8
Chimenea nueva línea de endurecimiento	0,0	0,0	0,0	---	476
Enfriador	15,3	9,2	6,9	---	---
Caldera partidas	7,0 (b)	3,8	3,0	---	---
Rotoclón 1	1,4	1,4	1,4	---	---
Rotoclón 2	0,7	0,7	0,7	---	---
Planta de Cal	0,4	0,24	0,18	---	---
Granalladora (f)	0,5	0,5	0,5	---	---
Bomba de vacío (g)	0,4	0,4	0,4	---	---
Total	485,5	292,1	220,6	928,2	1.404,20

- (a) De acuerdo a Anexo 2, Adenda 2, EIA "Ampliación y Mejoras Operacionales Planta de Pellets", la planta opera 340 días al año.
- (b) Para caldera se consideran 220 d/año en un año normal (aprox. 60% del tiempo de operación de la línea de endurecimiento).
- (c) Las emisiones asociadas a las chimeneas 2A y 2B, en el caso de una base de 340 días, corresponden al promedio de los cuatro muestreos isocinéticos efectuados entre 2013 y 2014 multiplicado por los días de operación.
- (d) Considerando que la línea de endurecimiento operó 4.895,37 horas (fuentes fijas asociadas: chimeneas 2A y 2B, enfriador y planta de cal), en tanto que la caldera lo hizo durante 2.863 horas durante el año 2013, ver Tabla 5–5.
- (e) Considerando que la línea de endurecimiento operó 3.682,56 horas (fuentes fijas asociadas: chimeneas 2A y 2B, enfriador y planta de cal), en tanto que la caldera lo hizo durante 2.232 horas, durante el año 2014, ver Tabla 5–5.
- (f) El proceso de granallado se ejecuta, en promedio, durante 30 horas semanales.
- (g) La bomba de vacío, asociada al proceso de filtrado, opera de forma continua.

Para estimar las emisiones de SO₂ y NO_x, se consideró los criterios del escenario **2013 (Real)**.

Tabla 5–7: Emisiones de SO₂ y NO_x Fuentes Fijas Planta Pellets

Fuente	Emisión SO ₂ (ton/año)	Emisión NO _x (ton/año)
	2013 (Real)(a)	2013 (Real)(a)
Chimenea 2A con PPE	48,93	414.52
Chimenea 2B con Scrubber	376,70	393.63
Chimenea nueva línea de endurecimiento	0,00	0.00
Enfriador		
Caldera partidas	9,05	4.09
Rotoclón 1	0,04	0.57
Rotoclón 2	0,05	0.03
Planta de Cal	0,08	0.00
Granalladora (b)	0,01	0.01
Bomba de vacío (c)	0,00	0.01
Total	434,86	812.85

- (a) Considerando que la línea de endurecimiento operó 4.895,37 horas (fuentes fijas asociadas: chimeneas 2A y 2B, enfriador y planta de cal), en tanto que la caldera lo hizo durante 2.863 horas durante el año 2013, ver Tabla 5 5.
- (b) El proceso de granallado se ejecuta, en promedio, durante 30 horas semanales.
- (c) La bomba de vacío, asociada al proceso de filtrado, opera de forma continua.

5.4. Fuentes areales

5.4.1 Factores de Emisión

A objeto de precisar los factores de emisión y, con ello, la emisión desde las fuentes areales de Planta de Pellets, en particular las canchas de acopio de insumos y productos, se llevó a cabo una medición en terreno de humedad y contenido de finos de los materiales por parte de la empresa PCM Lab, de vasta experiencia en la materia. La metodología utilizada corresponde a la propuesta por la USEPA en el Apéndice C.1 del documento Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources.

La siguiente tabla muestra la humedad y contenido de finos de los materiales en la Planta.

Tabla 5–8: Resumen de Resultados de Análisis de Muestras

Tipo de Muestra	Humedad total (%)	Contenido de finos (%)	Lugar de Muestreo
Preconcentrado básico	0,87	14,4	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios
Preconcentrado RD	0,63	16,3	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios

Tipo de Muestra	Humedad total (%)	Contenido de finos (%)	Lugar de Muestreo
Preconcentrado Sinter feed	0,74	14,9	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios
Pellet feed	8,73	90,7	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios
Pellet básico	0,15	0,3	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios
Pellet Chip	1,09	13,6	Planta Harneo
Carbón	8,03	5	Cancha de Carbón
Caliza	2,53	10,5	Cancha N° 5 (Cancha Caliza)
Granza Cristal	0,64	0,1	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios
Granza Algarrobo	0,33	0,8	Cancha Pellet Producto Puertos y Servicios
Finos reprocesos	2,17	43,4	Planta Harneo

Conocidos los valores anteriores, en la siguiente tabla se comparan los resultados de los análisis de muestras para humedad total y contenido de finos con los valores utilizados en el EIA del proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets" para estimar las emisiones asociadas a carga y descarga de material y acomodación de pila.

Tabla 5-9: Comparación de variables consideradas en EIA con resultados de análisis de muestras

Material	EIA "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets"		Valores medidos en presente proyecto de acuerdo a análisis de las muestras		Criterio de determinación de valores equivalentes a los usados en EIA para actualización de factores de emisión	
	Humedad (%)	Finos (%)	Humedad (%)	Finos (%)	Humedad	Finos
Preconcentrado	3	20	0,63	16,3	Valor mínimo de los resultados para Preconcentrado Básico y RD	Valor máximo de los resultados para Preconcentrado Básico y RD
Pellets	2	0,5	0,15	0,3	Valor del resultado para Pellet Básico	
Pellet Feed	8,75	95,3	8,73	90,7	Valor del resultado para Pellet Feed	
Pellet Chip	3	10	1,09	13,6	Valor del resultado para Pellet RD	
Carbón	3	8	8,03	5	Valor del resultado para Carbón	
Caliza	5	3	2,53	10,5	Valor del resultado para Caliza	

Material	EIA "Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets"		Valores medidos en presente proyecto de acuerdo a análisis de las muestras		Criterio de determinación de valores equivalentes a los usados en EIA para actualización de factores de emisión	
	Humedad (%)	Finos (%)	Humedad (%)	Finos (%)	Humedad	Finos
Granzas	5	10	0,33	0,8	Valor mínimo de los resultados para Granza Cristal y Granza Algarrobo	Valor máximo de los resultados para Granza Cristal y Granza Algarrobo
Sinter Feed	5	1	0,74	14,9	Valor del resultado para Preconcentrado Sinter feed	Valor del resultado para Preconcentrado Sinter feed

(*) Se destacan en rojo las diferencias que implican mayor aumento de los factores de emisión. Se destacan en azul las diferencias que implican disminución de los factores de emisión.

Según se observa en la tabla anterior, en el EIA se sobreestimó los valores del contenido de humedad para la mayoría de los materiales. Las mayores diferencias se produjeron en el caso de Pellets (2% en el EIA versus 0,15% medido), Granzas (5% en el EIA versus 0,33% medido) y Sinter Feed (5% en el EIA versus 0,74% medido). Para Pellet Feed se midió un valor de humedad muy similar al utilizado en el EIA (8,75% en el EIA versus 8,73% medido). En el caso del Carbón, en cambio, en el EIA se subestimó el contenido de humedad (3% en el EIA versus 8,03% medido).

En cuanto al contenido de finos, en cinco tipos de materiales se sobreestimó el valor en el EIA, presentándose la mayor diferencia en las Granzas (10% en el EIA versus 0,8% medido). En el caso de la Caliza, Pellet Chip y Sinter Feed, en cambio, en el EIA se subestimó el contenido de finos.

Para el caso del pellets, se decidió utilizar otro factor de emisión para carga y descarga de material respecto del utilizado en el EIA, dado que se genera una sobrestimación de los valores de emisión, puesto que si bien el porcentaje de finos medidos es muy bajo (0,3%), el parámetro utilizado en el cálculo del factor considera el porcentaje de humedad, el cual en el caso de la medición realizada en el pellet es muy bajo (0,15%) por lo que el factor aumenta y por lo tanto la emisión también.

Dicho lo anterior, es importante señalar que las diferencias obedecen a que para la última medición efectuada se siguió estrictamente la metodología de medición en acopios propuesta por la USEPA, en desmedro de las mediciones tradicionales que se realizan de forma rutinaria en Planta de Pellets con fines del proceso productivo. De esta manera, se aclara, en ningún caso ha habido mala fe en la determinación de estos valores sino sólo una diferencia en la metodología de muestreo.

A continuación se presenta el efecto de las modificaciones en los contenidos de finos y humedad en el cálculo de los factores de emisión asociados a carga y descarga de materiales y acomodación de pilas.

Tabla 5–10: Comparación de factores de emisión para MP10 considerados en EIA con los actualizados a partir de resultados de análisis de muestras

Proceso Emisor	Fórmula	Variables	Material	Factores de Emisión MP10 en EIA		Factores de Emisión MP10 Actualizados		Referencia
Carga y descarga de material	$k(0.0016) \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$	k: multiplicador por tamaño de partícula U: velocidad promedio del viento (m/s) M: contenido de humedad del material (%)	Preconcentrado	0,00072	kg/t	0,00501	kg/t	AP-42, Ch.13.2.4 "Aggregate Handling and Storage Piles". Batch drop operation
			Pellets	0,00127	kg/t	---		
			Pellets Feed	0,00016	kg/t	0,00013	kg/t	
			Pellets Chips	0,00072	kg/t	0,00232	kg/t	
			Carbón	0,00072	kg/t	0,00014	kg/t	
			Caliza	0,00035	kg/t	0,00072	kg/t	
			Granzas	0,00035	kg/t	0,01238	kg/t	
			Sinter	0,00035	kg/t	0,00400	kg/t	
	K	k: multiplicador por tamaño de partícula	Pellets	---		0,0022	kg/t	AP-42 Cap. 12.5 Table 12.5-4 para "batch drop front end loader/truck, low silt slag"
Acomodación de pila	$\alpha \cdot \frac{\beta \cdot s^\gamma}{M^\delta}$	s: contenido de finos del material (%) M: contenido de humedad del material (%) α, β, γ, δ: factores según tamaño de partícula	Preconcentrado	6,48	kg/h	42,41	kg/h	AP-42 Ch.11.9 Western Surface Coal Mining, Tabla 11.9-2. Bulldozing
			Pellets	0,05	kg/h	0,79	kg/h	
			Pellets Feed	15,07	kg/h	14,04	kg/h	
			Pellets Chips	2,29	kg/h	15,00	kg/h	
			Carbón	1,64	kg/h	0,20	kg/h	
			Caliza	0,18	kg/h	3,13	kg/h	
			Granzas	1,12	kg/h	1,14	kg/h	
			Sinter	0,04	kg/h	29,59	kg/h	

(* Se destacan en rojo los aumentos en los factores de emisión, a la vez que se destacan en azul las disminuciones en los factores de emisión.

Para calcular el factor de emisión de material particulado asociado a la carga y descarga de material se deben considerar tres variables, la primera es “k” un multiplicador que depende del tamaño de partícula (MP10 y MP2,5), “U” que corresponde a la velocidad promedio del viento en el sector, que en este caso se consideró para el EIA un valor igual a 4,14 m/s¹⁶, mientras que para la actualización se consideró un valor igual a 3,42 m/s¹⁷, y finalmente “M” que corresponde al contenido de humedad del material. Dado que, como se observó en la Tabla 5-6, las mayores diferencias de contenido de humedad se observaron en Granzas, Pellets y Sinter Feed, los factores de emisión para carga y descarga de material que presentaron las mayores diferencias fueron los de dichos materiales (destacados en rojo en Tabla 5–10). Se observa también que para el Carbón el factor de emisión disminuye dado que en el EIA se había subestimado el contenido de humedad (destacado en azul en Tabla 5–10).

Por su parte, para calcular el factor de emisión de material particulado asociado a acomodación de pila, se considera el contenido de finos y el contenido de humedad del material, además de cuatro factores asociado al tamaño de partícula. Según se observa en la Tabla 5–10, los mayores aumentos de factor de emisión de acomodación de pila se produjeron en el Sinter, seguido de los Pellets y la Caliza, además de Preconcentrado y los Pellet Chip (destacados en rojo en Tabla 5–10). En el caso de Preconcentrado y Pellets, la diferencia se debió a la sobreestimación del contenido de humedad realizada en el EIA, en cambio en el caso de Sinter Feed, Pellet Chip y Caliza se produjo el efecto conjunto de la sobreestimación de la humedad y la subestimación del contenido de finos en el EIA, que fue lo que provocó el aumento del factor de emisión.

En el caso de las Granzas la sobreestimación del contenido de humedad en el EIA se contrarrestó con la sobreestimación en el contenido de finos por lo que el factor de emisión de acomodación de pila se mantuvo en un valor muy similar al del EIA.

En el Carbón por su parte, la subestimación de la humedad y la sobreestimación de los finos en el EIA, produjo que el factor de emisión actualizado asociado a acomodación de pila sea menor al del EIA (destacado en azul en Tabla 5–10).

Por otra parte en la Tabla 5–11, se presenta la comparación de los factores de emisión considerados en el EIA y en la presente actualización, para las actividades asociadas al tránsito de vehículos, apilamiento, erosión eólica en pilas de acopio y erosión eólica en correas descubiertas.

¹⁶ Fuente: EIA del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets”. Específicamente, el Anexo 6.1 “Análisis de Impacto en la Calidad del Aire” del EIA, punto 1.3.1 Línea Base de Meteorología, además del Anexo N°2 “Análisis de Impacto en la Calidad del Aire” de la Adenda 2 del mismo EIA. De acuerdo a estos documentos el valor corresponde al promedio registrado en la Estación Planta de Pellets durante el año 2007 completo.

¹⁷ Corresponde al valor de velocidad del viento promedio medido en la Estación Playa Brava, periodo junio 2015 – abril 2015. Ver Tabla 3–3.

Tabla 5–11: Comparación de factores de emisión para MP10 considerados en EIA con los actualizados

Proceso Emisor	Fórmula	Variables	Material	Factores de Emisión MP10 en EIA		Factores de Emisión MP10 Actualizados		Referencia
Tránsito de vehículos ¹⁸	$FE_{EIA} = 0,2819 \cdot k \cdot \left(\frac{s}{12}\right)^a \cdot \left(\frac{W}{3}\right)^b$ $FE_{actualizado} = 0,2819 \cdot k \cdot \left(\frac{s}{12}\right)^a \cdot \left(\frac{W}{2,7}\right)^b$	K, a, b: Factores según tamaño de partícula S: Porcentaje (%) de finos del camino W: Peso promedio de la flota de vehículos	Pellets Feed, Pellets Chips	0,99	kg/km	0,97	kg/km	AP-42, Ch.13.2.2 "Unpaved road"
			Carbón	0,81	kg/km			
			Caliza	0,96	kg/km			
			Granzas, Sinter	1,01	kg/km			
Apilamiento	K	Sin parámetros	Preconcentrado, Pellets y Pellets feed	0,00055	kg/t	0,00055	kg/t	AP-42, Ch.12.5 Iron Steel production, Tabla 12.5-4 (pile formation stacker pellet ore)

¹⁸ Para el EIA, se utilizó el factor descrito en el AP-42, tal como se señala en la referencia, para unidades de peso de la flota en toneladas cortas, mientras que para la actualización se corrigió dicho valor a toneladas.

Proceso Emisor	Fórmula	Variables	Material	Factores de Emisión MP10 en EIA		Factores de Emisión MP10 Actualizados		Referencia
Erosión eólica	$FE \left[\frac{g}{m^2 \cdot año} \right] = k \sum_{i=1}^N P_i$ $P_i = 58 \cdot (u^* - u_i^*)^2 + 25 \cdot (u^* - u_i^*), u^* > u_i^*$ $P_i = 0, u^* \leq u_i^*$ $u^* = \left(\frac{u_s}{u_r} \right) \cdot u_{10}^+, si \left(\frac{altura}{ancho\ basal} \right) < 0,2$ $u^* = 0,053 \cdot u_{10}^+, si \left(\frac{altura}{ancho\ basal} \right) \geq 0,2$ $u_i^* = 1$	<p>k: Multiplicador del tamaño de partícula. N: Número de perturbaciones por año.</p> <p>P_i: Potencial de erosión correspondiente a viento fuerte (g/m²).</p> <p>u*: Velocidad de fricción (m/s).</p> <p>u_i*: Velocidad de fricción umbral (m/s).</p> <p>u_s/u_r: Coeficiente adimensional asociado a una determinada porción de la pila expuesta al viento.</p> <p>u₁₀⁺: Velocidad de la ráfaga máxima de viento durante el período de perturbación a 10 m de altura (m/s).</p>	<p>Pilas de acopio: Preconcentrado, Pellets, Pellets chips, Pellet feed, Granzas, Sinter, Carbón y Caliza</p> <p>Correas descubiertas: Preconcentrado, Pellets, Pellets chips, Pellet feed, Granzas y Sinter,</p>	65,7	g/m ² /año	67,9	g/m ² /año	<p>AP-42, Ch.13.2.5 "Industrial Wind Erosion".</p>
				200,2	g/m ² /año	347	g/m ² /año	

(*) Se destacan en rojo los aumentos en los factores de emisión, a la vez que se destacan en azul las disminuciones en los factores de emisión.

Para calcular el factor de emisión por tránsito vehicular, se deben considerar tres variables, la primera es “k” un multiplicador que depende del tamaño de partícula (MP10, MP2,5, etc.), “s” que corresponde al porcentaje de finos en el camino y finalmente “W” que corresponde al peso promedio de la flota. Tal como se observa en la Tabla 5–11, para el caso del EIA se estimó un factor diferente por cada tipo de material transportando asociado al peso de cada camión por separado, mientras que para la actualización se consideró el peso promedio de la flota de camiones. Otra diferencia está dada en el factor utilizado, dado que en el EIA se consideró la ecuación en la cual el peso de los camiones se considera en toneladas cortas y no en toneladas métricas, como se presenta para la actualización.

Para el caso del factor de emisión por apilamiento para la actualización se consideró el mismo factor del EIA.

Finalmente para la emisión por erosión eólica en pilas de acopio y en correas descubiertas, el factor actualizado se calcula en base a la meteorología medida en la Estación Playa Brava en el periodo junio 2014 – abril 2015, mientras que en el EIA se utilizó la meteorología medida en la estación Planta de Pellets durante el año 2007.

Para construir el escenario de emisiones “**2013 (Real)**”, mencionado en la estimación de emisiones para fuentes puntuales de la Planta Pellets, se consideraron los factores de emisión actualizados.

5.4.2 Nivel de actividad

Respecto de los niveles de actividad considerados en la estimación de emisión, asociados a la carga y descarga de material, tránsito de vehículos asociado al transporte de material y apilamiento, en la Tabla 5–12 se presenta las toneladas de material considerados para estimar las emisiones. Cabe señalar que para estimar las emisiones para el escenario EIA actualizado (considerando los factores de emisión de MP10 actualizados) y para el escenario 2013 (Real), se consideraron las cantidades de material ambientalmente aprobadas, las cuales se señalan a continuación.

Tabla 5–12: Cantidad de material (t/año)

Material	Cantidad de material (t/año)
Preconcentrado	9,150,000
Pellets	6,274,800
Pellet Feed	664,770
Pellets Chips	627,480
Carbón	141,497
Caliza	193,264
Granzas	665,000
Sinter	15,000

En cuanto a las emisiones producto de la erosión en pilas de acopio, en la Tabla 5–13 se muestran las superficies consideradas en la estimación de emisión evaluadas en el EIA, EIA actualizado y escenario 2013 (Real).

Tabla 5–13: Comparación de niveles de actividad para emisión por erosión eólica en pilas de acopio

N°	Acopios	Superficie EIA (m ²)	Superficie EIA actualizado (m ²)	Superficie 2013 (Real) (m ²)
1	Preconcentrado	12400	12400	12400
2	Pila intermedia (pellets feed)	400	400	400
3	Pila emergencia (pellets)	1200	1200	1200
4	Pellet feed (descarga filtrado)	400	400	400
5	Pellet producto (básico o RD)	25400	25400	25400
6	Pellet feed en cancha	8800	8800	8800
7	Pellet feed interior planta	3000	3000	---
8	Pellet feed sector salvataje	4800	4800	4800
9	Pellet chips en cancha	1200	1200	1200
10	Pila acopio emergencia	4500	4500	4500
11	Pellet chips sector capacitación	4100	4100	---
12	Pellet chips sector salvataje	9000	9000	68000
13	Pellet chips sector salvataje	2800	2800	
14	Pellet chips o granzas	3200	3200	3200
15	Sinter feed o granzas	4500	4500	4500
16	Carbón	14400	14400	14400
17	Área acopio caliza	12800	12800	12800
18	Caliza frente remolienda	2900	2900	---

Con respecto a las pilas de acopio anteriores, se observa un aumento en la superficie evaluada en la situación real en las pilas número 12 y 13, “Pellet Chip en sector salvataje”, dado que el área real de pilas de acopio tiene una superficie aproximada de 68.000 m², en circunstancias que lo declarado alcanza 11.800 m². Por otra parte, las pilas número 7, 11 y 18 no son evaluadas en el escenario 2013 (Real), considerando que lo que se acopiaba en la pila 7 “Pellet feed interior planta” se acopía en la pila 4 “Pellet feed (descarga filtrado)” y en la pila 8 “Pellet feed sector salvataje”, lo que se acopiaba en la pila 11 “Pellet chips sector capacitación” se acopía en la pila 12 “Pellet chips sector salvataje” y en la pila 13 “Pellet chips sector salvataje” y lo que se acopiaba en la pila 18 “Caliza frente remolienda” se acopía en la pila 17 “Área acopio caliza”.

Por otra parte, para la estimación de emisiones por transporte vía camiones, se consideran ocho caminos internos a través de los cuales se transportan los distintos materiales.

Para determinar el nivel de actividad (kilómetros totales recorridos) se requiere el número de viajes y la distancia del tramo recorrido. Para determinar el número de viajes se considera la cantidad de material a transportar dividido por la capacidad del camión. En la siguiente tabla se comparan los parámetros utilizados para determinar el nivel de actividad para cada escenario considerado.

Tabla 5-14: Comparación parámetros para determinar nivel de actividad para tránsito de camiones

Camino	Material	Ruta	Longitud (m)	Capacidad camión (t)	Material transportado EIA (ton)	Material transportado EIA actualizado (ton)	Material transportado 2013 (Real) (ton)
1	Pellet Chips	Transporte vía camiones desde pilas intermedias a canchas	1,37	40	627480	627480	0
2	Granzas	Transporte vía camiones hasta cancha desde acceso a Planta	0,5	30	665000	665000	665000
	Sinter	Transporte vía camiones hasta pila 15 desde acceso a Planta	0,5	30	15000	15000	15000
3	Sinter	Transporte vía camiones hasta pila 10 desde acceso a Planta	1,35	30	15000	15000	15000
4	Carbón	Transporte vía camiones hasta cancha desde puerto	1,9	20	141497	141497	141497
5	Carbón	Transporte vía camión a tolva de quemado	1,2	20	141497	141497	141497
6	Caliza	Transporte vía camiones hasta pilas	2,58	36	193264	193264	193264
7	Caliza	Transporte vía camión a planta de cal	0,56	36	193264	193264	0

De la tabla anterior, al comparar entre escenarios, se observa que no existe movimiento en los caminos 1 y 7 en el Escenario 2013 (Real) respecto del EIA y del EIA actualizado.

Finalmente, se incorporó una actividad que no había sido considerada en el EIA, que corresponde al chancado de Pellet Chip en el sector de Planta de Harneo/Chancado, con un nivel de actividad de 1000 tpd.

5.4.3 Resultados

A continuación se entregan los resultados de la actualización de emisiones de fuentes areales para el EIA actualizado y escenario 2013 (Real), estimadas a partir de las modificaciones a factores de emisión y niveles de actividad recién descritos.

Tabla 5-15: Emisiones de MP10 de Fuentes Areales según EIA, Actualización y escenario 2013 (Real)

Material	Emisión MP10 EIA (kg/d)						Emisión MP10 EIA actualizada (kg/d)						Emisión MP10 escenario 2013 (Real) (kg/d)						
	Tpte, via camiones	Trasposos de material	Manejo de pilas	Erosión eólica pilas	Erosión eólica correas	Total	Tpte, via camiones	Trasposos de material	Manejo de pilas	Erosión eólica pilas	Erosión eólica correas	Total	Tpte, via camiones	Trasposos de material	Manejo de pilas	Erosión eólica pilas	Erosión eólica correas	Chancado	Total
Preconcentrado	-	60,8	0,0	1,1	0,7	62,7	-	344,3	0,0	1,2	1,2	346,7	-	553,9	70,1	1,6	1,2	80,0	706,8
Pellets	-	51,1	0,0	2,4	1,9	55,4	-	84,5	0,0	2,5	3,2	90,2	-	142,6	3,4	3,5	3,2	-	152,7
Pellet Chip	54,4	6,3	0,0	1,5	0,9	63,3	52,4	20,4	0,0	1,6	1,6	76,0	0,0	25,7	122,4	12,8	1,6	-	162,6
Pellets Feed	-	1,0	180,8	1,1	0,9	183,8	-	0,8	168,4	1,1	1,6	171,9	-	0,5	16,5	1,1	1,6	-	19,7
Granzas	26,7	1,6	0,6	0,3	0,3	29,4	25,3	54,5	0,6	0,3	0,4	81,0	24,5	72,7	0,5	0,4	0,4	-	98,4
Sinter Feed	3,3	0,1	0,0	0,8	1,2	5,5	1,6	0,9	29,6	0,8	2,0	34,9	1,6	1,1	35,5	1,2	2,0	-	41,3
Carbón	45,0	1,0	0,8	1,3	-	48,1	53,7	0,2	0,1	1,3	-	55,4	52,0	0,2	1,6	1,9	-	-	55,7
Caliza	57,7	1,0	0,2	1,4	-	60,2	39,1	1,3	3,1	1,5	-	45,0	31,1	1,2	22,3	1,7	-	-	56,2
Total	187,1	122,9	182,4	10,0	5,9	508,3	172,1	506,9	201,8	10,3	10,0	901,1	109,0	797,9	272,3	24,2	10,0	80,0	1293,4

De acuerdo a los resultados de la Tabla 5–15, y al comparar las emisiones del EIA con las emisiones EIA actualizado, el cual considera cambios en los factores de emisión pero idénticos niveles de actividad en ambos escenarios, se produce un aumento de las emisiones actualizadas de MP10 respecto de las estimadas en el EIA (901,1 kg/d actualizada versus 508,3 kg/d en el EIA). El mayor aumento se produce en las emisiones asociadas a traspasos de material, cuyos cambios se producen debido a la sobreestimación del contenido de humedad realizada en el EIA para algunos materiales, principalmente las emisiones de preconcentrado (60,8 kg/d en el EIA versus 344,3 kg/d actualizados).

Otros aumentos de emisiones importantes son aquellos asociados a Granzas, Sinter Feed y Pellet Chip. Para el primero se produce un aumento de las emisiones por traspasos de material, desde 1,6 kg/d en el EIA a un valor actualizado de 54,5 kg/d. Al igual que en el caso del Preconcentrado, el aumento se debe a la sobreestimación de la humedad (5% en el EIA versus 0,33% medido).

Al comparar las emisiones del EIA actualizado con las emisiones del escenario 2013 (Real) el cual considera los mismos factores de emisión pero cambios en algunos niveles de actividad asociadas a las superficies de las pilas de acopio de material y al transporte de material, se observa un aumento en las emisiones (1293,4 kg/d para 2013 (Real) y 901,1 kg/d para EIA actualizado). Además de las diferencias en los niveles de actividad anteriormente señalados, la diferencia entre los resultados se explica también por el porcentaje de eficiencia aplicado según medida considerada en cada actividad.

Respecto de las eficiencias de abatimiento consideradas, a fin de analizar la sensibilidad con respecto a esta última, se calcularon las emisiones considerando eficiencia 0% y la mitad de la eficiencia considerada en el EIA. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 5–16: Eficiencias de Emisiones de MP10 de Fuentes Areales según EIA, EIA Actualizado y 2013 (Real)

Escenario	EIA		EIA Actualizado		2013 (Real)	
	Emisión MP10 (kg/d)	Eficiencia	Emisión MP10 (kg/d)	Eficiencia	Emisión MP10 (kg/d)	Eficiencia
Fase II	508	61,4%	901	51,9%	1293	11,2%
Mitad eficiencia	912	30,7%	1387	25,9%	1375	5,6%
Eficiencia = 0%	1317	0%	1873	0%	1456	0%

Las eficiencias equivalentes de la Fase II se obtuvieron a partir de las emisiones totales con eficiencia cero y las emisiones con las eficiencias consideradas en el EIA, obteniéndose así una eficiencia global equivalente.

De la tabla anterior se observa que las emisiones obtenidas sin aplicación de medidas de control de polvo (eficiencia: 0%) son mayores en el Escenario EIA actualizado (1873 k/d), respecto del EIA y del escenario 2013 (Real), mientras que entre estos últimos las emisiones son parecidas siendo las del escenario 2013 (Real) levemente mayores a las presentadas en el EIA (1456 kg/d 2013 (Real) versus 1317 kg/d EIA).

Al comparar las emisiones obtenidas con medidas de control de polvo (Eficiencia Fase II equivalente) se observa que el porcentaje de eficiencia equivalente aplicado en el escenario 2013 (Real) es significativamente menor al aplicado en el EIA y EIA actualizado, lo cual explica entre otros factores tal como se mencionó anteriormente, la diferencia en las emisiones resultantes

6. MODELACIÓN DE EMISIONES

Identificadas las fuentes emisoras más relevantes en la localidad de Huasco, a fin de analizar su efecto sobre la calidad del aire de la ciudad se ha diseñado una estrategia de análisis utilizando una herramienta de modelación y en función de la información disponible así como también de aquella que CAP Minería se encuentra actualmente recopilando.

6.1. Modelo meteorológico

Para un adecuado modelo de calidad del aire, se requiere en primer lugar de información meteorológica en el área de estudio. Para este propósito, se ha considerado como base el modelo meteorológico desarrollado por la Dirección Ejecutiva del SEA para el año 2011, en el marco de la modelación de dispersión atmosférica del Proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde”, y se han desarrollado modelos análogos para los años 2012, 2013 y 2014-2015 utilizando el modelo de pronóstico meteorológico WRF.

El resultado de dichos modelos es analizado cotejándolos con la meteorología de superficie medida en las distintas estaciones del Valle del Huasco durante cada año, en la medida en que se cuenta con la información adecuada, determinando estadísticamente las diferencias y similitudes.

6.1.1 Descripción de Modelos Meteorológicos Disponibles

6.1.1.1 SEA 2011

El modelo meteorológico utilizado por el Servicio de Evaluación Ambiental al desarrollar la modelación de la dispersión atmosférica de material particulado del Proyecto “Central Termoeléctrica Punta Alcalde”, corresponde a la meteorología de pronóstico WRF, configurada según formato de entrada (CALMET.DAT) para el módulo de procesamiento CALPUFF, esto quiere decir que el archivo WRF se utiliza directamente como archivo de entrada en el modelo CALPUFF.

A continuación se presentan las características del dominio de modelación y de las coordenadas locales que definen este modelo, dado que la meteorología se encuentra en proyección cónica conforme de Lambert (LCC) usando el Datum NWS84.

Tabla 6–1: Características del Dominio de Modelación – Modelo Punta Alcalde 2011

Características del Modelo	
Período modelado	01-Enero-2011 00:00 a 31-Diciembre- 2011 00:00
Datum	NWS84
Resolución	1 km
Tamaño del dominio	62 x 62 km
Zona Horaria	UTC/GMT UTC - 4 horas

Fuente: Modelo utilizado en el Informe Técnico “Modelación de la Dispersión Atmosférica de Material Particulado Proyecto Central Termoeléctrica Punta Alcalde”, Dirección Ejecutiva Servicio de Evaluación Ambiental, Noviembre de 2012.

Tabla 6–2: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo Punta Alcalde 2011

Característica	Eje X	Eje Y
Coordenadas de origen (Centro, LCC, NWS84)	71,289 W	28,562 S
Paralelos Estándar (LCC, NWS84)	---	28,362 S
		28,762 S
Punto de Origen (Local, m)	0	0

Fuente: Modelo utilizado en el Informe Técnico “Modelación de la Dispersión Atmosférica de Material Particulado Proyecto Central Termoeléctrica Punta Alcalde”, Dirección Ejecutiva Servicio de Evaluación Ambiental, Noviembre de 2012.

6.1.1.2 CAP Minería 2012

Como parte de la presente asesoría, GAC ha modelado la meteorología de pronóstico WRF para el año 2012. A continuación se presentan las características del dominio de modelación y de las coordenadas locales que definen este modelo, dado que la meteorología se encuentra en proyección cónica conforme de Lambert (LCC) usando el Datum NWS84.

Tabla 6–3: Características del Dominio de Modelación – Modelo CMP 2012

Características del Modelo	
Período modelado	1 Enero 2012 00:00 a 31 Diciembre 2012 00:00
Datum	NWS84
Resolución	1 km
Tamaño del dominio	63 x 63 km
Zona Horaria	UTC/GMT UTC - 4 horas

Fuente: Modelo procesado por GAC a partir de información proporcionada por el SEA.

Tabla 6–4: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo CMP 2012

Característica	Eje X	Eje Y
Coordenadas de origen (Centro, LCC, NWS84)	71,29 W	28,56 S
Paralelos Estándar (LCC, NWS84)	---	28,36 S
		28,76 S
Punto de Origen (Local, m)	0	0

Fuente: Modelo procesado por GAC a partir de información proporcionada por el SEA.

6.1.1.3 CAP Minería 2013

Tal como en el caso anterior, como parte de la presente asesoría, GAC ha modelado meteorología de pronóstico WRF para el año 2013. A continuación se presentan las características del dominio de modelación y de las coordenadas locales que definen este modelo, dado que la meteorología se encuentra en proyección cónica conforme de Lambert (LCC) usando el Datum NWS84.

Tabla 6–5: Características del Dominio de Modelación – Modelo CMP 2013

Características del Modelo	
Período modelado	1 Enero 2013 00:00 a 31 Diciembre 2013 00:00
Datum	NWS84
Resolución	1 km
Tamaño del dominio	63 x 63 km
Zona Horaria	UTC/GMT UTC - 4 horas

Fuente: Modelo procesado por GAC a partir de información proporcionada por el SEA.

Tabla 6–6: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo CMP 2013

Característica	Eje X	Eje Y
Coordenadas de origen (Centro, LCC, NWS84)	71,29 W	28,56 S
Paralelos Estándar (LCC, NWS84)	---	28,36 S
		28,76 S
Punto de Origen (Local, m)	0	0

Fuente: Modelo procesado por GAC a partir de información proporcionada por el SEA.

6.1.1.4 CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015

Tal como en el caso anterior, como parte de la presente asesoría, GAC ha modelado meteorología de pronóstico WRF para el periodo junio 2014 – mayo 2015. A continuación se presentan las características del dominio de modelación y de las coordenadas locales que definen este modelo, dado que la meteorología se encuentra en proyección cónica conforme de Lambert (LCC) usando el Datum NWS84.

Tabla 6–7: Características del Dominio de Modelación – Modelo CMP 2013

Características del Modelo	
Período modelado	1 Junio 2014 00:00 a 31 Mayo 2015 00:00
Datum	NWS84
Resolución	1 km
Tamaño del dominio	63 x 63 km
Zona Horaria	UTC/GMT UTC - 4 horas

Fuente: Modelo procesado por GAC a partir de información proporcionada por el SEA.

Tabla 6–8: Coordenadas de Origen Proyección LCC - Modelo CMP 2013

Característica	Eje X	Eje Y
Coordenadas de origen (Centro, LCC, NWS84)	71,29 W	28,56 S
Paralelos Estándar (LCC, NWS84)	---	28,36 S
		28,76 S
Punto de Origen (Local, m)	0	0

Fuente: Modelo procesado por GAC a partir de información proporcionada por el SEA.

6.1.2 Estaciones meteorológicas de superficie con información disponible

Para evaluar el desempeño de las distintas modelaciones meteorológicas disponibles en la representación de las condiciones atmosféricas de las áreas de interés, se han utilizado estaciones meteorológicas de superficie para realizar un análisis estadístico con los resultados obtenidos en los años calendarios que corresponden a cada modelo, es decir, 2011, 2012 y 2013. Para ello se han extraído los resultados de los modelos meteorológicos para las coordenadas (x,y) donde se emplazan las estaciones meteorológicas.

En la Tabla 6–9 se presentan las coordenadas de ubicación de las estaciones, las variables consideradas para la evaluación (dependiendo de la información disponible en cada estación) y los años para los que cada estación cuenta con información.

Tabla 6–9: Características de las Estaciones Meteorológicas Utilizadas para la Evaluación

Estación Meteorológica	Coordenadas UTM (*)		Variables Evaluadas		Periodo con información disponible
	Este	Norte	Veloc. del Viento	Dir. del Viento	
EME ME	279.022	6.849.210	✓	s/i	01-Ene-2012 a 31-Dic-2012
PUNTA MARIPOSA	278.815	6.847.674	✓	✓	22-Feb-2011 a 19-Jun-2013
HUASCO BAJO	285.188	6.849.546	✓	✓	01-Jun-2014 a 31-May-2015
HUASCO II	281.593	6.849.068	✓	✓	01-Jun-2014 a 31-May-2015
PLANTA PELLETS	280.311	6.847.964	✓	✓	01-Jun-2014 a 31-May-2015
PLAYA BRAVA	278.526	6.845.032	✓	✓	01-Jun-2014 a 30-Abr-2015
OLIVOS DE BELLAVISTA	285.923	6.848.809	✓	✓	01-Jul-2014 a 31-May-2015
LAS LOSAS	280.159	6.848.379	✓	✓	01-Jun-2014 a 30-Abr-2015

(*) Datum WGS84, Huso 19 S

De acuerdo a la Tabla anterior, no es posible realizar la evaluación del modelo meteorológico para el año 2013, dado que no se cuenta con suficiente información medida para ese año.

Por otra parte, para el Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015, no se considera la evaluación del modelo en la estación Ferrocarriles, dado que presenta una falta de datos de 4 meses, representativos del periodo de invierno.

6.1.3 Evaluación de los Modelos Meteorológicos

Para la evaluación de los modelos se han utilizado tres distintos tipos de medidas de error, estos corresponden al sesgo, error cuadrático medio (ECM) y el coeficiente de correlación (r). Estos tres tipos de medidas de error son comúnmente usados en la evaluación de modelos. La descripción de ellos se presenta a continuación:

- **Sesgo:** Este representa la tendencia del modelo a sobrestimar o subestimar las condiciones reales. Para valores negativos el modelo tiende a subestimar el valor de las variables modeladas, y para valores positivos, el modelo tiende a sobreestimar.

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$$

Donde:

M_i = Datos Modelados.

O_i = Datos Observados.

N = Número de Datos

- **Error Cuadrático Medio (ECM):** Este entrega la diferencia promedio entre los valores modelados y observados. Indicando el ajuste del modelo a los datos observados y la variación que presenta.

$$ECM = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(M_i - O_i)^2}{N}}$$

Donde:

M_i = Datos Modelados.

O_i = Datos Observados.

N = Número de Datos

- **Coefficiente de Correlación (r):** Este coeficiente entrega una medida de la relación lineal entre la variable modelada y la observada. El valor del coeficiente varía en el intervalo [-1, 1]. Para el caso de la modelación, entre más cercano a 1, mejor es la capacidad del modelo de representar las condiciones atmosféricas.

$$r = \frac{1}{(1 - N)} \sum_{i=1}^N \frac{(M_i - \bar{M})}{\sigma_M} \frac{(O_i - \bar{O})}{\sigma_O}$$

Donde:

M_i = Datos modelados

\bar{M} = Promedio de datos modelados.

σ_M = Desviación estandar de datos modelados

O_i = Datos observados

\bar{O} = Promedio de datos observados

σ_O = Desviación estandar de datos observados

N = Número de datos

A continuación se presenta un análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados para las usando los tres estadísticos considerados (sesgo, ECM y r).

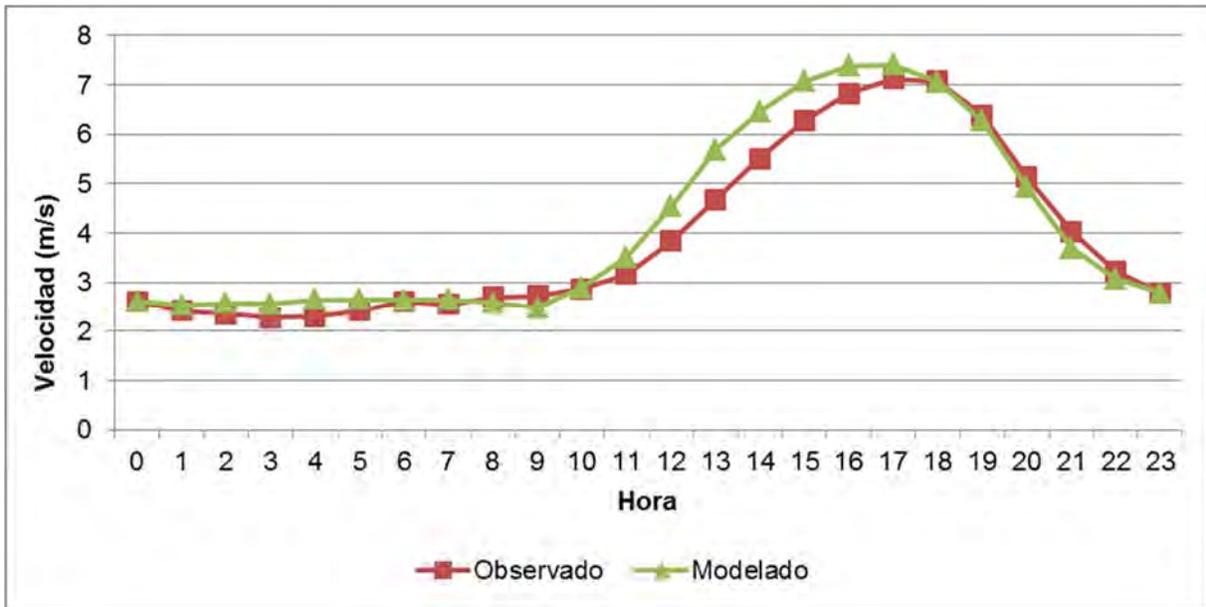
6.1.3.1 Punta Alcalde 2011

De acuerdo a la Tabla 6–9, para el año 2011 se cuenta con información de velocidad y dirección del viento desde febrero a diciembre, en la estación Punta Mariposa ubicada en Bahía Chapaco.

i. Velocidad del Viento

A continuación se presenta el gráfico de los ciclos diarios de la velocidad del viento horaria modelada y observada para la Estación Punta Mariposa durante el año 2011.

Figura 6-1: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Punta Mariposa 2011) y modelada (Modelo Punta Alcalde 2011)



En la Tabla 6–10 se presentan los estadísticos que dan cuenta de las diferencias cuantitativas entre los ciclos diarios de los datos de velocidad del viento observados en la Estación Punta Mariposa el año 2011 y los modelados por el modelo Punta Alcalde 2011 en dicha estación.

Tabla 6–10: Estadísticos para el ciclo diario de velocidad del viento obtenido a partir del modelo Punta Alcalde 2011

Estadístico	Estación Punta Mariposa 2011
Error Cuadrático Medio	0,42
Sesgo	0,20
Coefficiente de Correlación	0,9816

De acuerdo a lo anterior, se observa un sesgo positivo de 0,2, lo que indica que el modelo sobrestima levemente las velocidades del viento, acentuándose en el rango horario entre las 12 y las 16 horas. El resto del tiempo se observa similitud entre los valores modelados y los observados. Para el coeficiente de correlación (r), el ciclo diario presenta un buen ajuste lineal siendo su valor cercano a 1.

ii. **Dirección del Viento**

A continuación se presentan los gráficos de los ciclos diarios de la dirección del viento horaria modelada y observada para la Estación Punta Mariposa durante el año 2011.

Figura 6-2: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Punta Mariposa 2011

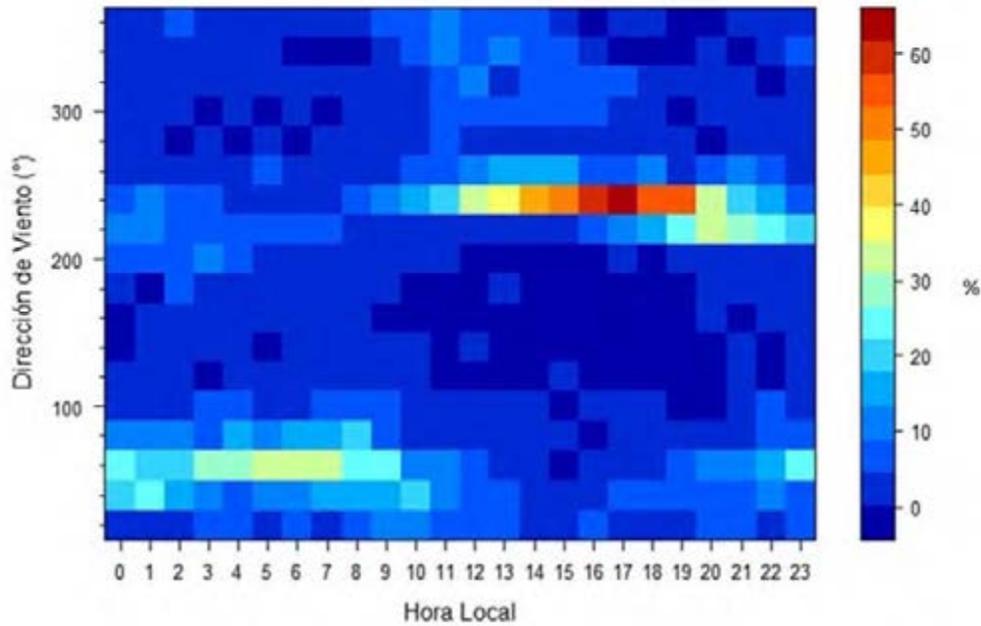
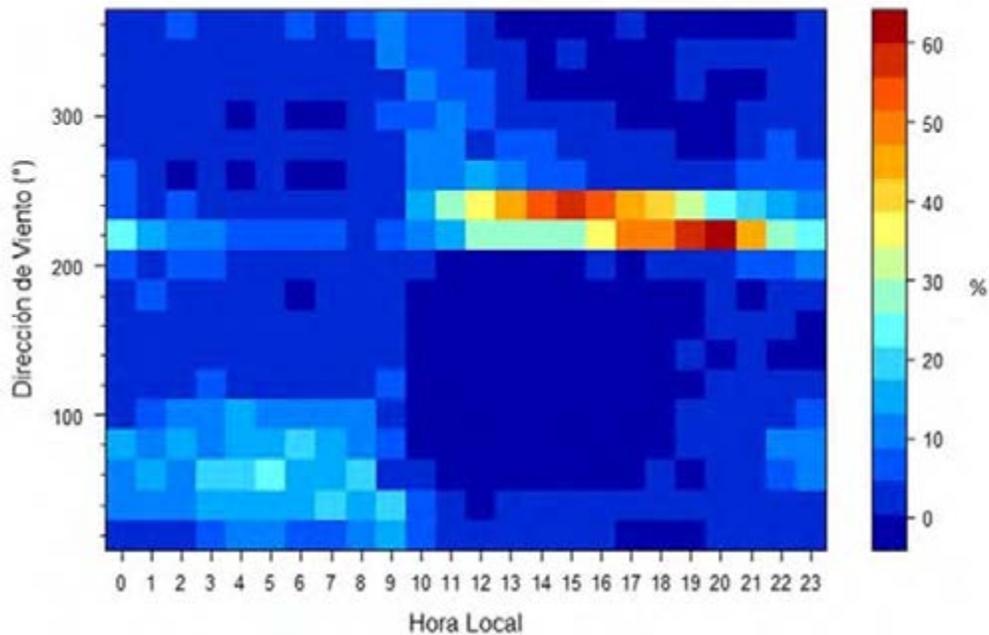


Figura 6-3: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo Punta Alcalde 2011. Estación Punta Mariposa

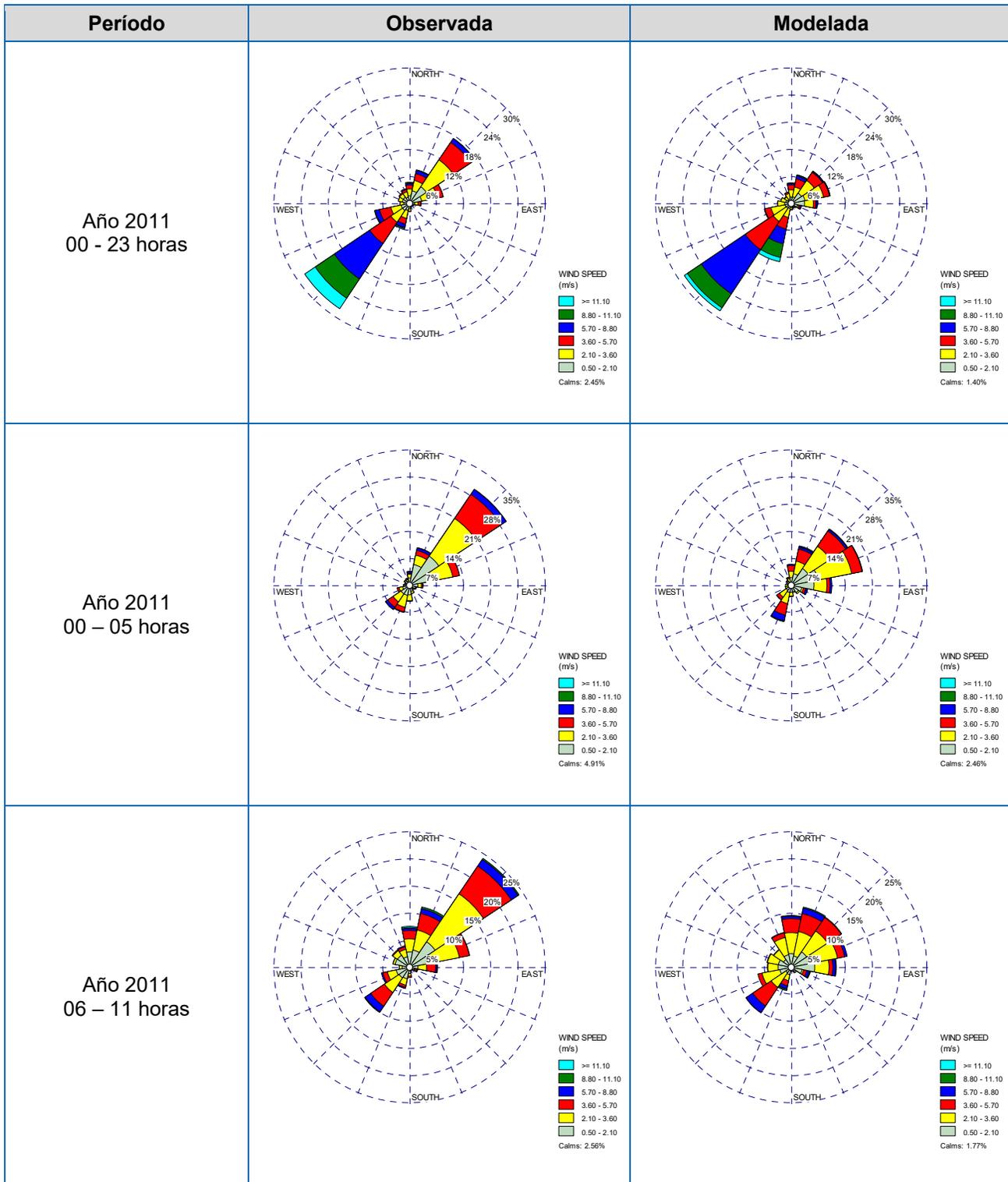


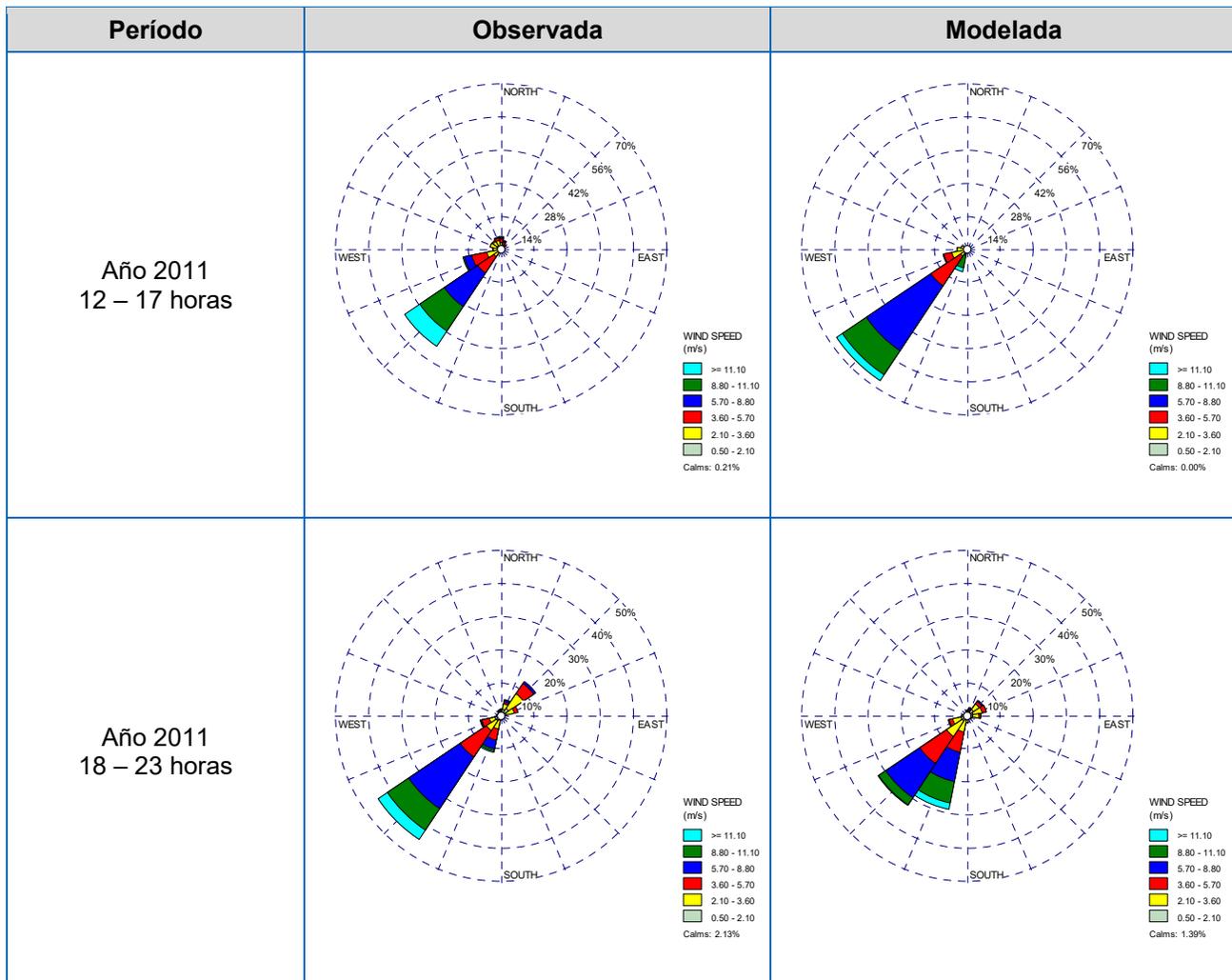
En la Figura 6-2 es posible observar que para el ciclo diario de la dirección del viento observada, se observa una predominancia de la dirección WSW (240°) entre las 12:00 y las 19:00 horas, y de la dirección ENE entre las 23:00 y las 9:00 horas. Mientras que para el ciclo diario de la dirección del viento modelada, existe una predominancia de la dirección SW (220°) entre las 12:00 y las 16:00 horas, WSW (240°) entre las 17:00 y las 21:00 horas, y NE, ENE y E entre las 3:00 y las 9:00 horas.

iii. Rosas de los vientos

Para una mejor comparación de las direcciones del viento observadas y modeladas, a continuación se presentan las rosas de viento anuales y cada 6 horas obtenidas para el año 2011.

Figura 6-4: Rosa de los Vientos Observada (Estación Punta Mariposa 2011) y Modelada (Modelo Punta Alcalde 2011)





De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento es la SW tanto para el viento observado (27,9% del tiempo) como para el viento modelado (28,5% del tiempo). Para el caso del viento observado la segunda predominancia corresponde a la dirección NE (17,4%), mientras que para el viento modelado la segunda dirección predominante es la SSW (13,2%).

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado son NE (29,9%), ENE (13,2%) y NNE (10%), sumando 53% del tiempo desde el sector Nor Este. El viento modelado en tanto, si bien muestra también una predominancia desde el sector Nor Este, presenta un abanico más amplio de direcciones predominantes, incluyendo la dirección ENE (18,7%), NE (17,6%), E (10,6%) y NNE (10,4%), sumando 57% desde ese sector.

Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección NE (24,2%), seguida de las direcciones NNE (11,4%) y ENE (11,3%), además de la

dirección SW (10%). Por su parte, el viento modelado presenta las mismas direcciones predominantes, NNE (11,3%), NE (11,2%), ENE (10,5%) y SW (10,1%), pero con frecuencias más similares entre sí.

Entre las 12:00 y las 17:00 se presenta una dirección claramente predominante para ambas situaciones, correspondiente a la dirección SW que en el caso del viento observado se presenta un 49,1% del tiempo, seguida de la dirección WSW (16,6%), sumando 66% del tiempo desde ese sector. Mientras que en el caso del viento modelado, la dirección SW se presenta en un 66,5% del tiempo, no presentando otras direcciones predominantes.

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento predominante proviene del SW (44,7%) en el caso del viento observado, mientras que en el caso del viento modelado, las direcciones predominantes provienen del mismo sector, pero de las direcciones SW (32,4%) y SSW (28,8%).

iv. Ciclos estacionales de velocidad y dirección del viento

En las siguientes figuras de ciclos estacionales, se obtiene información del comportamiento promedio de la estación en cuanto a velocidad y dirección del viento para cada mes del año a toda hora del día, en la Estación PUNTA MARIPOSA durante el año 2011.

Figura 6-5: Ciclo estacional del viento observado en Estación Punta Mariposa 2011

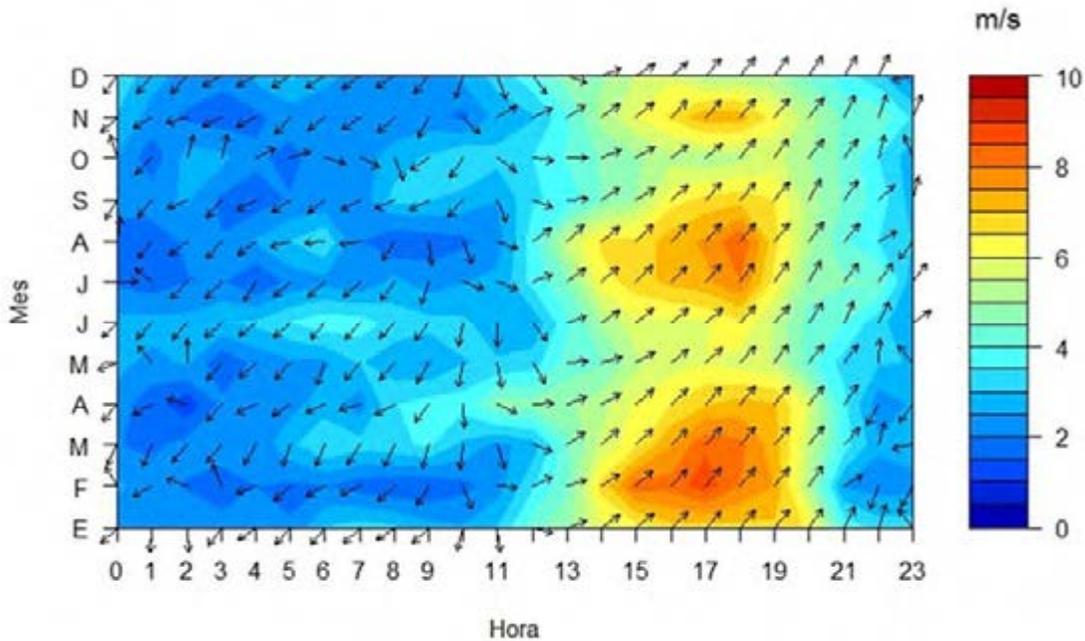
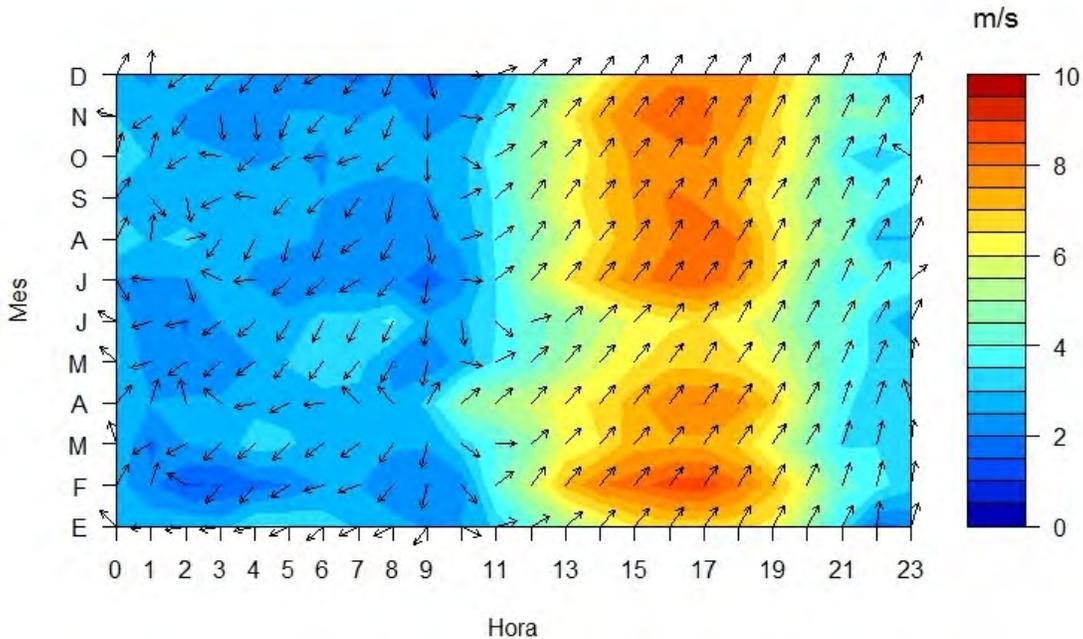


Figura 6-6: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Punta Mariposa 2011



En la Figura 6-6, que muestra el ciclo estacional del viento modelado, se observa una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 12 y las 22 horas. Mientras que para el ciclo estacional del viento observado (Figura 6-5), esta misma predominancia se presenta entre las 14 y las 21 horas.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento, tal como se señaló anteriormente, con valores máximos modelados en los meses de febrero, julio, agosto y noviembre, mientras que los máximos observados se presentan en los meses de febrero y agosto.

6.1.3.2 CAP Minería 2012

De acuerdo a la Tabla 6-9, para el año 2012 se cuenta con información de velocidad del viento en la estación EME ME ubicada en la Central Guacolda y de velocidad y dirección del viento en la estación PUNTA MARIPOSA ubicada en Bahía Chapaco.

i. Velocidad del Viento

A continuación se presentan los gráficos de los ciclos diarios de la velocidad del viento horaria modelada y observada para cada estación considerada en la evaluación del modelo CAP Minería 2012.

Figura 6-7: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación EME ME 2012) y modelada (Modelo CAP Minería 2012)

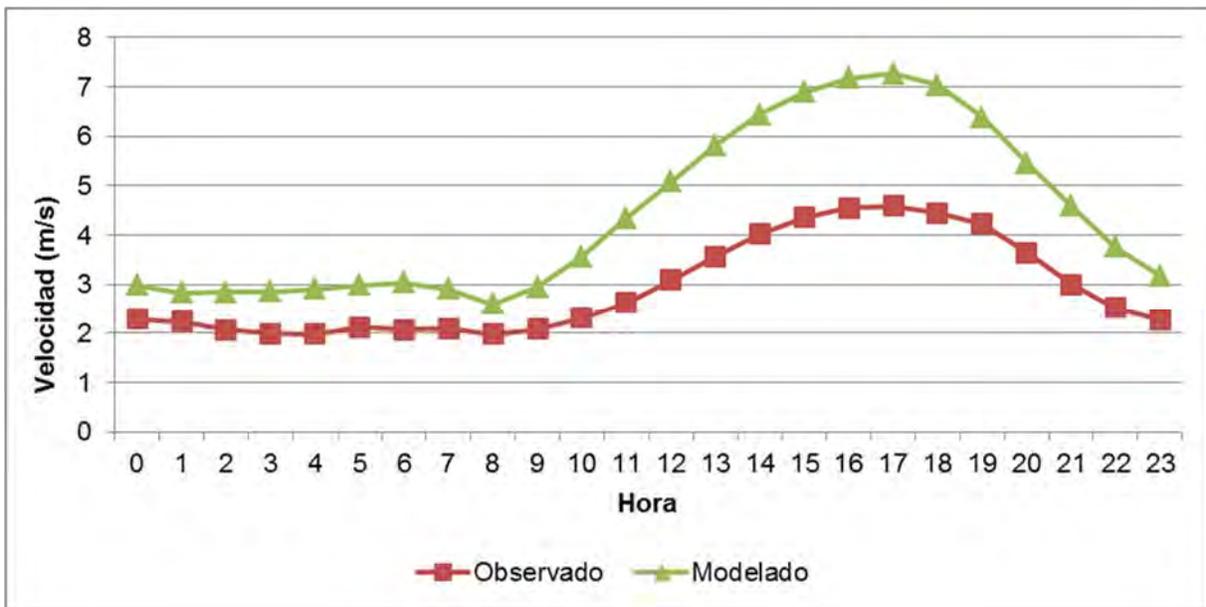
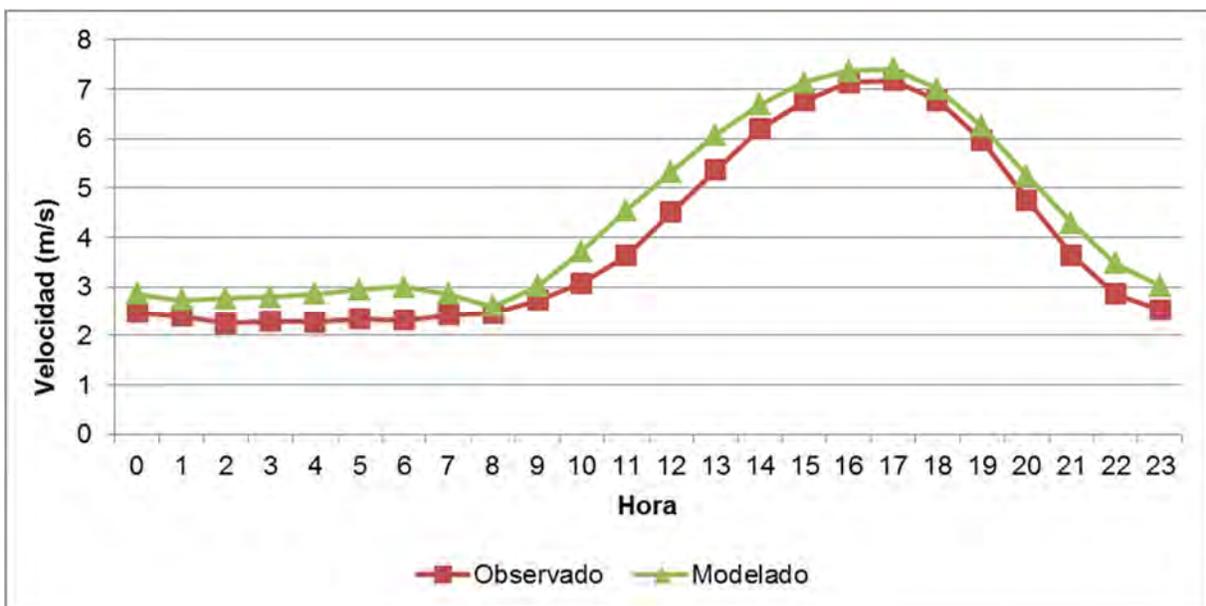


Figura 6-8: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Punta Mariposa 2012) y modelada (Modelo CAP Minería 2012)



En la Tabla 6–11 se presentan los estadísticos que dan cuenta de las diferencias cuantitativas entre los ciclos diarios de los datos observados y los modelados por el modelo CAP Minería 2012.

Tabla 6–11: Estadísticos para el ciclo diario de velocidad del viento obtenido a partir del modelo CAP Minería 2012

Estadístico	Estación EME ME 2012	Estación Punta Mariposa 2012
Error Cuadrático Medio	1,66	0,52
Sesgo	1,49	0,48
Coefficiente de Correlación	0,9927	0,9942

De acuerdo a lo anterior, se observa un sesgo positivo de 1,49 para la estación EME ME y de 0,48 para la estación Punta Mariposa, lo que indica que el modelo sobrestima las velocidades del viento, especialmente en el primer caso, tal como se muestra en la Figura 6-7, y en el error cuadrático medio, que tiene un valor de 1,66 para EME ME y de 0,52 para Punta Mariposa. Para el coeficiente de correlación (r), el ciclo diario para ambas estaciones presenta un buen ajuste lineal con valores cercanos a 1.

ii. Dirección del Viento

A continuación se presentan los gráficos de los ciclos diarios de la dirección del viento horaria modelada y observada para la estación Punta Mariposa durante el año 2012. Cabe recordar que no se cuenta con la información de dirección del viento horaria en la estación EME ME.

Figura 6-9: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Punta Mariposa 2012

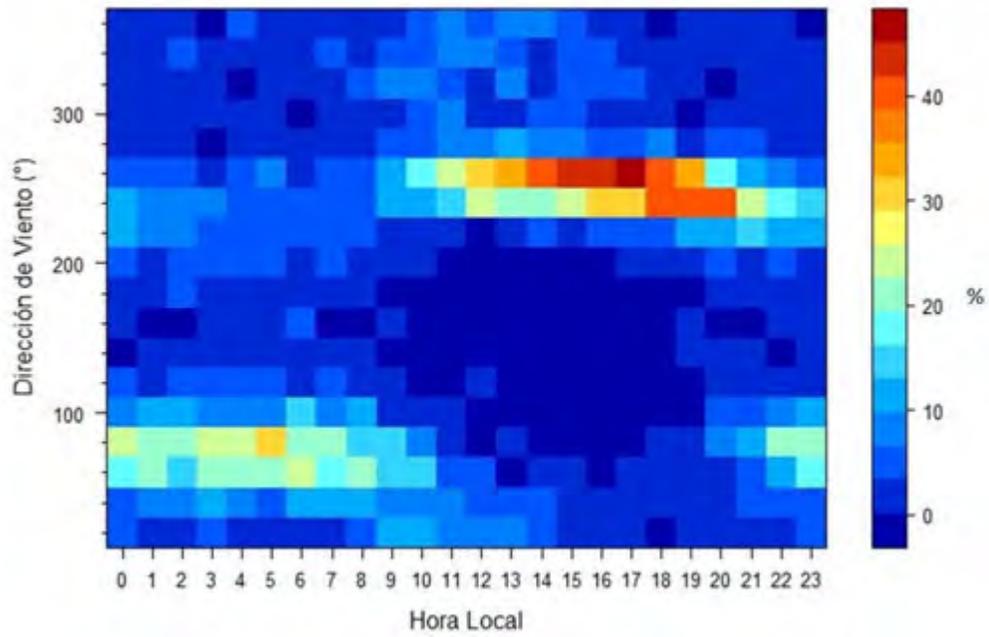
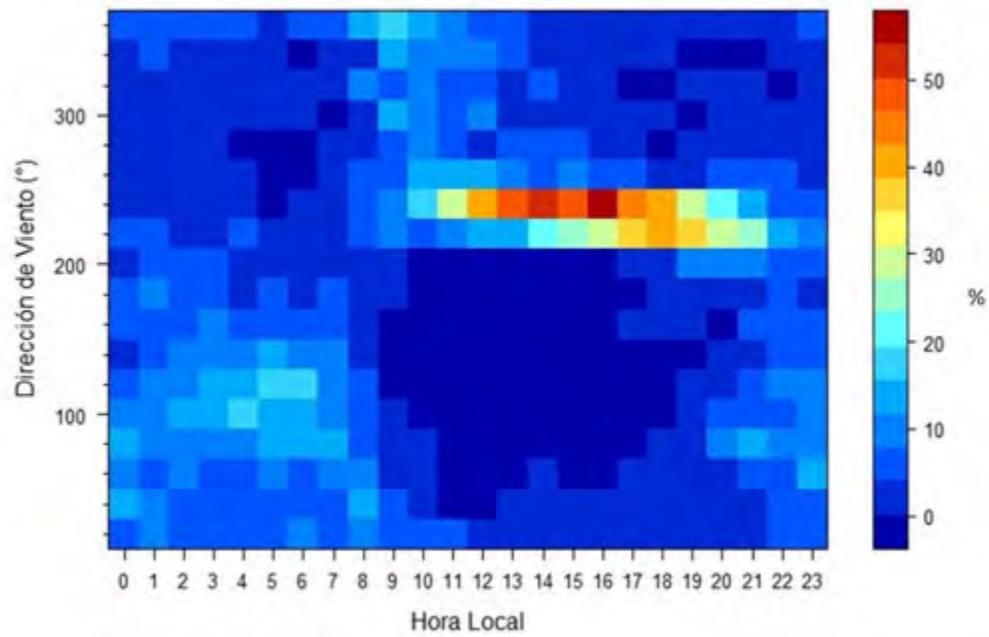


Figura 6-10: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería 2012. Estación Punta Mariposa 2012

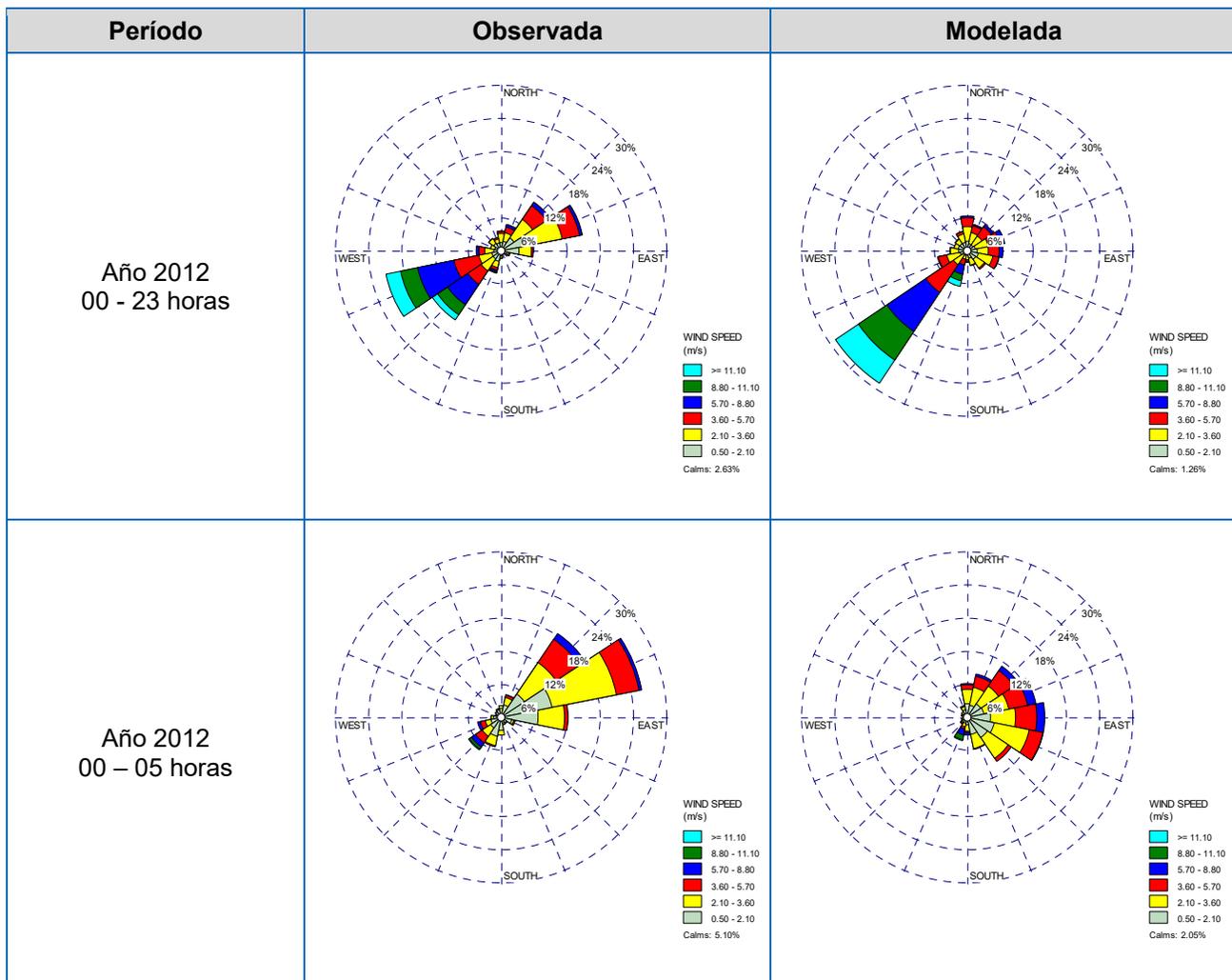


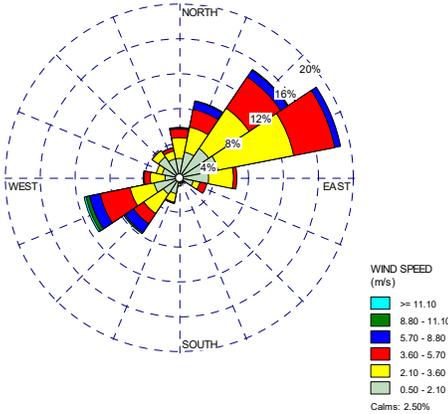
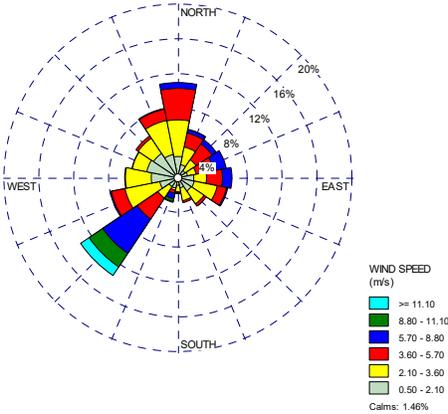
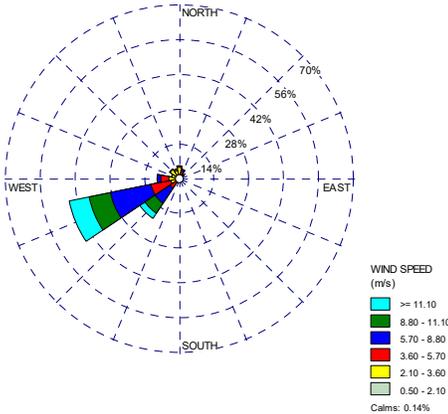
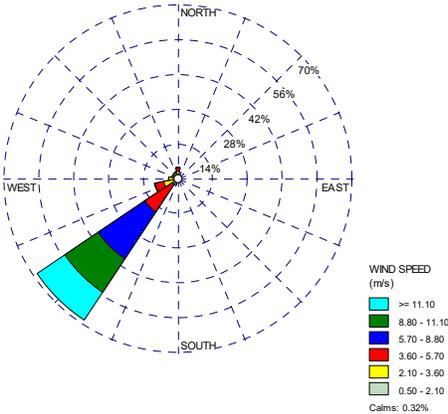
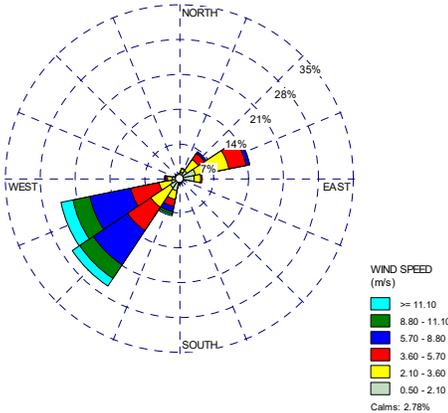
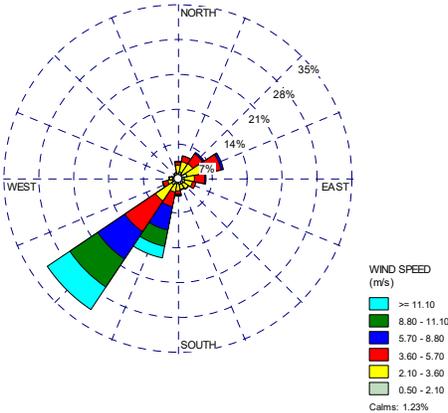
En la Figura 6-9 se observa que para el ciclo diario de la dirección del viento observada, existe una predominancia de la dirección Oeste entre las 11 y las 18 horas (260°) y de la dirección Sur Oeste entre las 18 y las 21 horas (240°), además se observa una predominancia más leve de la dirección Este (80°) en horas de la madrugada. Mientras que en la Figura 6-10 es posible observar que para el ciclo diario de la dirección del viento modelada, existe una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 11 y las 20 horas (240° entre las 11 y las 18 horas, y 220° entre las 18 y las 20 horas).

iii. Rosas de los vientos

Para una mejor comparación de las direcciones del viento observadas y modeladas, a continuación se presentan las rosas de viento anuales y cada 6 horas obtenidas para el año 2012.

Figura 6-11: Rosa de los Vientos Observada (Estación Punta Mariposa 2012) y Modelada (Modelo CAP Minería 2012)



Período	Observada	Modelada
<p>Año 2012 06 – 11 horas</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 11.10 8.80 - 11.10 5.70 - 8.80 3.60 - 5.70 2.10 - 3.60 0.50 - 2.10 <p>Calms: 2.50%</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 11.10 8.80 - 11.10 5.70 - 8.80 3.60 - 5.70 2.10 - 3.60 0.50 - 2.10 <p>Calms: 1.46%</p>
<p>Año 2012 12 – 17 horas</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 11.10 8.80 - 11.10 5.70 - 8.80 3.60 - 5.70 2.10 - 3.60 0.50 - 2.10 <p>Calms: 0.14%</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 11.10 8.80 - 11.10 5.70 - 8.80 3.60 - 5.70 2.10 - 3.60 0.50 - 2.10 <p>Calms: 0.32%</p>
<p>Año 2012 18 – 23 horas</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 11.10 8.80 - 11.10 5.70 - 8.80 3.60 - 5.70 2.10 - 3.60 0.50 - 2.10 <p>Calms: 2.78%</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 11.10 8.80 - 11.10 5.70 - 8.80 3.60 - 5.70 2.10 - 3.60 0.50 - 2.10 <p>Calms: 1.23%</p>

De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento observado es la WSW con un 21,3% del tiempo, seguida de las direcciones SW y ENE, ambas con 15,0% del tiempo, y luego la dirección NE (10,6%). En el caso del viento modelado, la dirección predominante es la SW con un 28,7% del tiempo.

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado son ENE (25,9%), NE (18,3%) y E (12,2%), sumando 56% del tiempo desde el sector Nor Este. El viento modelado en tanto, muestra una predominancia desde el sector Este, incluyendo componentes del ESE, las direcciones predominantes del viento modelado son E (14,1%), ESE (14,1%), ENE (12,7%) y NE (11,2%), sumando 52% desde ese sector.

Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección ENE (18,8%), seguida de la dirección NE (15,0%), además de la dirección WSW (11,2%). Por su parte, el viento modelado presenta distintas direcciones predominantes, siendo las principales las direcciones SW (13,5%) y N (11,0%).

Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la WSW con un 45,2% del tiempo, seguida de la dirección SW (19,3%), sumando 65% del tiempo desde ese sector. Mientras que en el caso del viento modelado, la dirección SW se presenta en un 68,1% del tiempo, no presentando otras direcciones predominantes.

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene del SW (25,9%), seguido de WSW (24,3%), sumando 50% del tiempo desde ese sector. Mientras que en el caso del viento modelado, las direcciones predominantes provienen del mismo sector, pero de las direcciones SW (31,6%) y SSW (16,3%), totalizando 45% del tiempo desde ese sector.

Las mayores velocidades del viento se producen entre las 12:00 y las 23:00 horas, que es cuando existe mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado, aunque con una tendencia más hacia el WSW por parte del viento observado, a diferencia del viento modelado donde la predominancia es de la dirección SW, tal como se verá más adelante en las figuras de ciclos estacionales del viento.

iv. Ciclos estacionales de velocidad y dirección del viento

En las siguientes figuras de ciclos estacionales, se obtiene información del comportamiento promedio de cada estación en cuanto a velocidad y dirección del viento para cada mes del año a toda hora del día. Cabe recordar que no se cuenta con la información de dirección del viento horaria en la estación EME ME.

Figura 6-12: Ciclo estacional del viento observado en Estación Punta Mariposa 2012

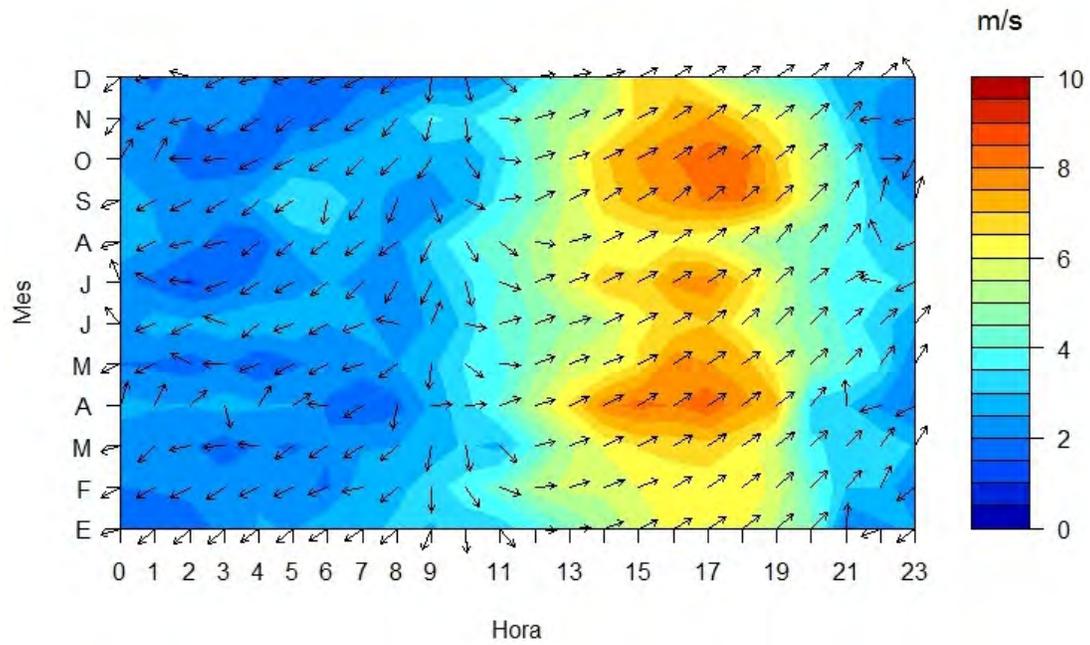
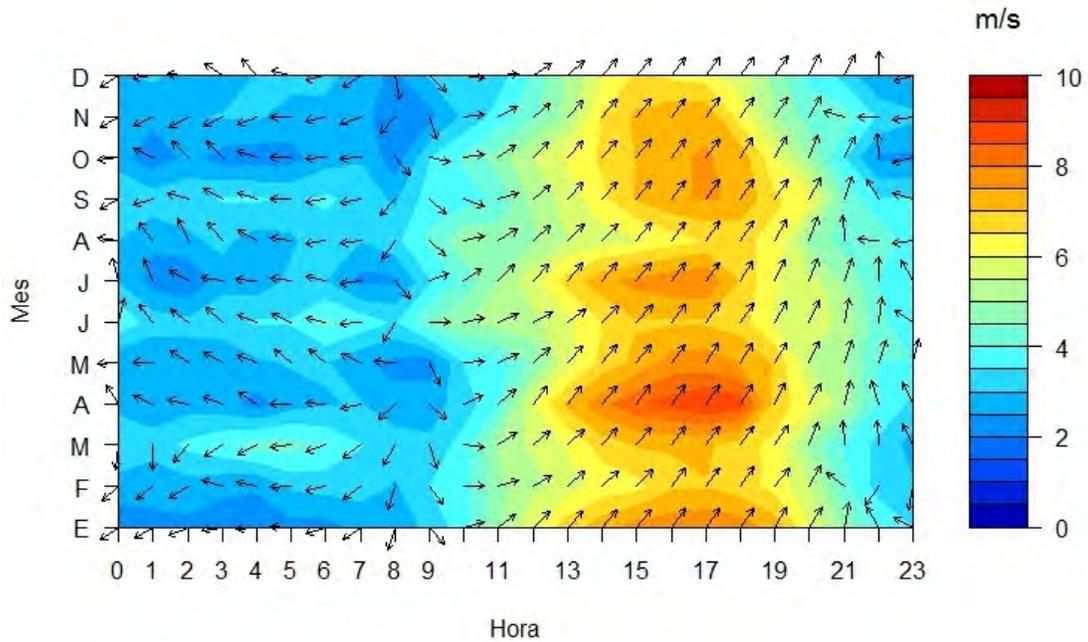


Figura 6-13: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Punta Mariposa 2012



En la Figura 6-12 que muestra el ciclo estacional del viento observado, se ve una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 12:00 y las 20:00 horas, originándose con una dirección Oeste con tendencia a Sur Oeste conforme pasan las horas. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-13) se observa una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 11:00 y las 20:00 horas, la que se origina con dirección Sur Oeste, pero con tendencia a la dirección Sur Sur Oeste a medida que pasan las horas.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento, especialmente los valores máximos en el mes de abril. Los valores máximos modelados se presentan en los meses de enero, abril, julio, septiembre y octubre, mientras que los máximos observados se presentan en los mismos meses exceptuando enero.

6.1.3.3 CAP Minería 2013

Como se señaló anteriormente, no es posible realizar la evaluación del modelo meteorológico para el año 2013, dado que no se cuenta con suficiente información medida para ese año.

6.1.3.4 CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015

De acuerdo a la Tabla 6–9, para el periodo junio 2014 – mayo 2015 se cuenta con información de velocidad y dirección del viento en la estación Huasco Bajo, estación Población Huasco II y en la estación Planta Pellets. Por otra parte, en la estación Olivos de Bellavista se cuenta con información de velocidad y dirección del viento para el periodo julio 2014 – mayo 2015 y en la estación Playa Brava y Las Losas se cuenta con información de velocidad y dirección del viento para el periodo junio 2014 – abril 2015.

i. Velocidad del Viento

A continuación se presentan los gráficos de los ciclos diarios de la velocidad del viento horaria modelada y observada para cada estación considerada en la evaluación del modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015.

Figura 6-14: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Huasco Bajo) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)

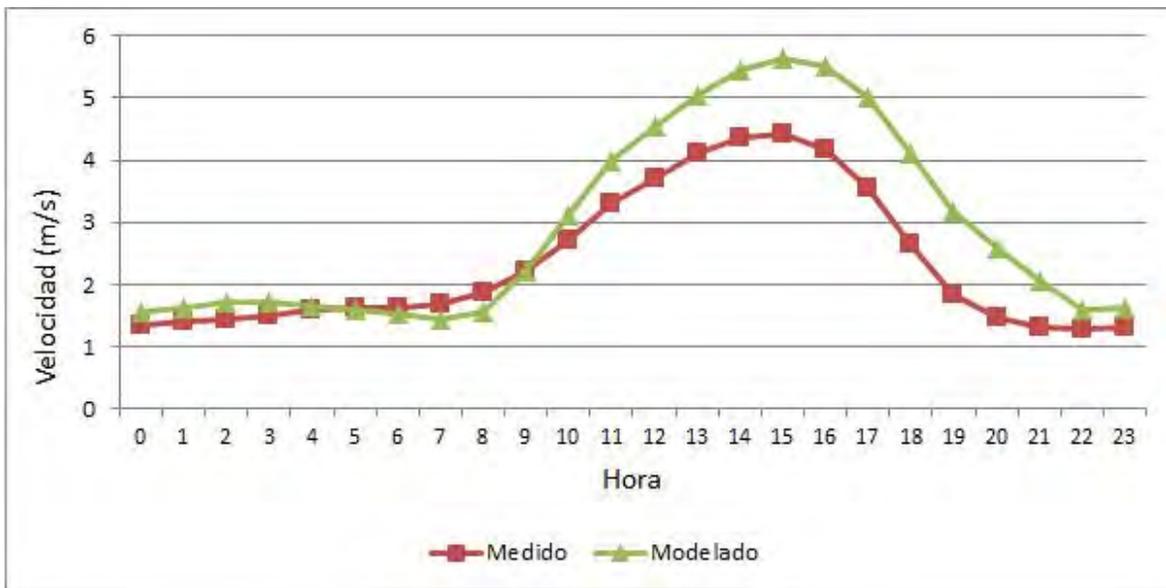


Figura 6-15: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Población Huasco II) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)

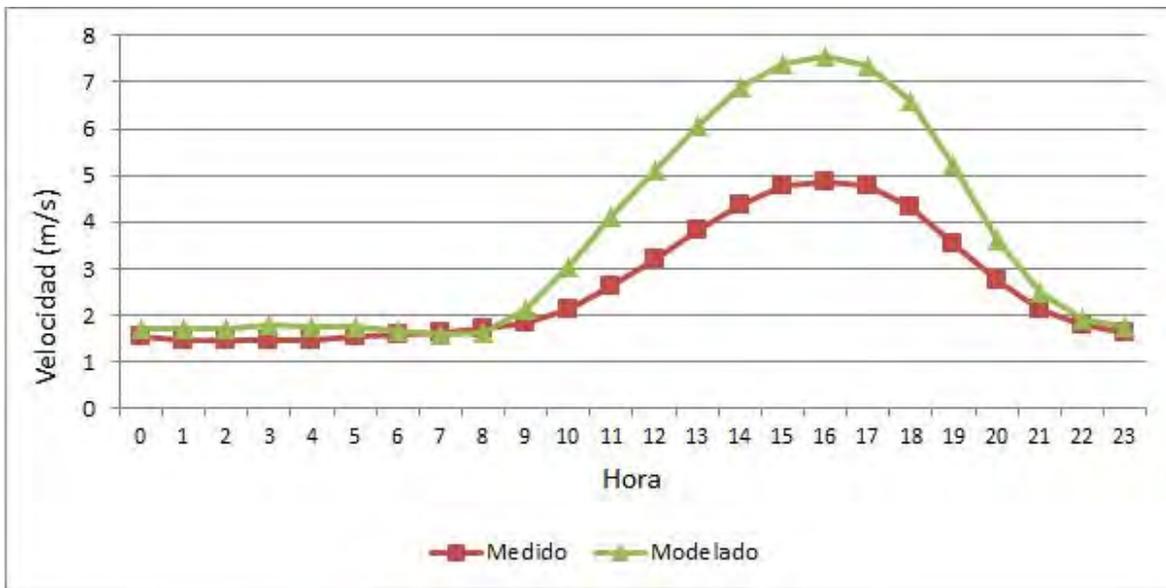


Figura 6-16: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Planta Pellets) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)

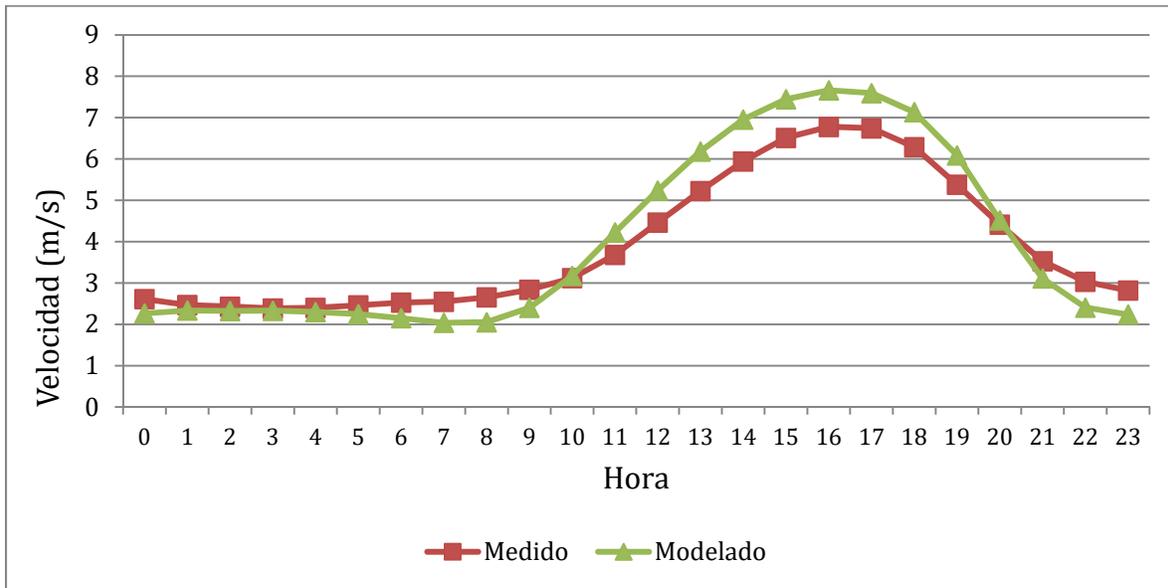


Figura 6-17: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Playa Brava) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)

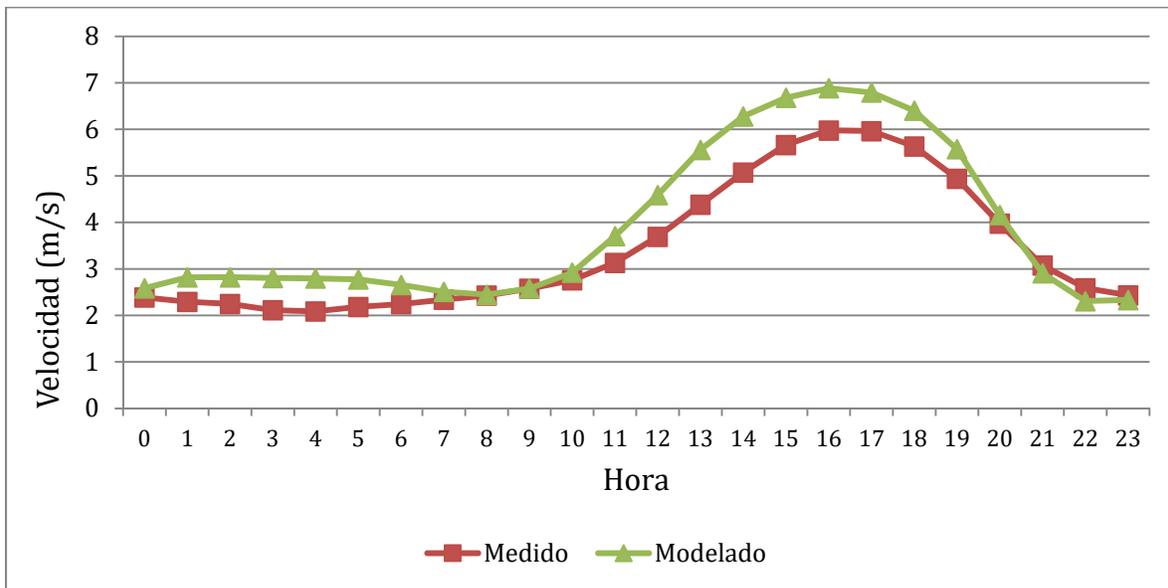


Figura 6-18: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Olivos de Bellavista) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)

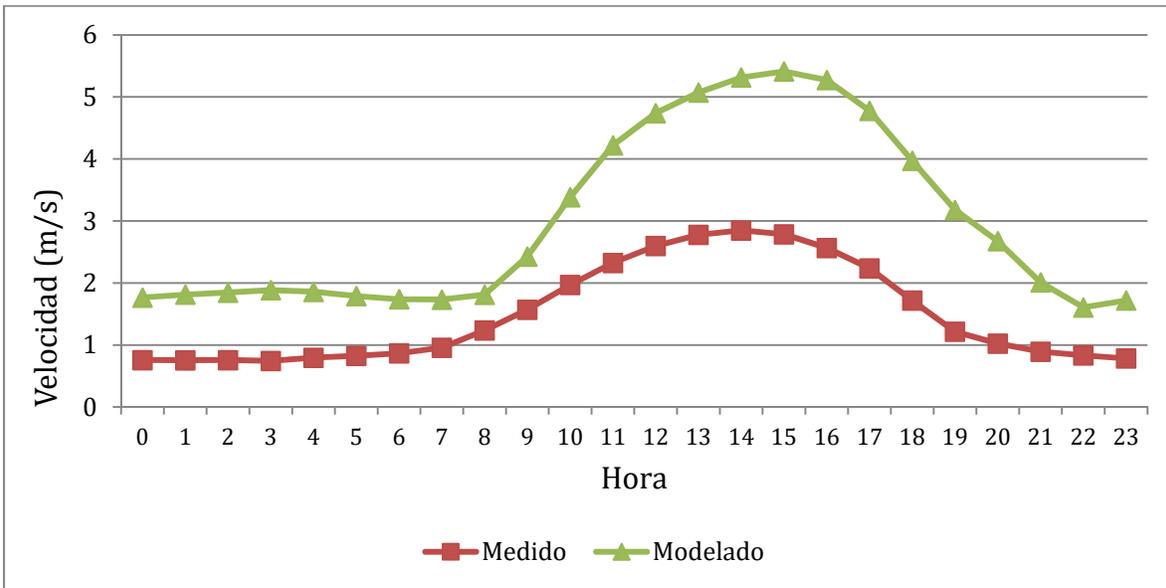
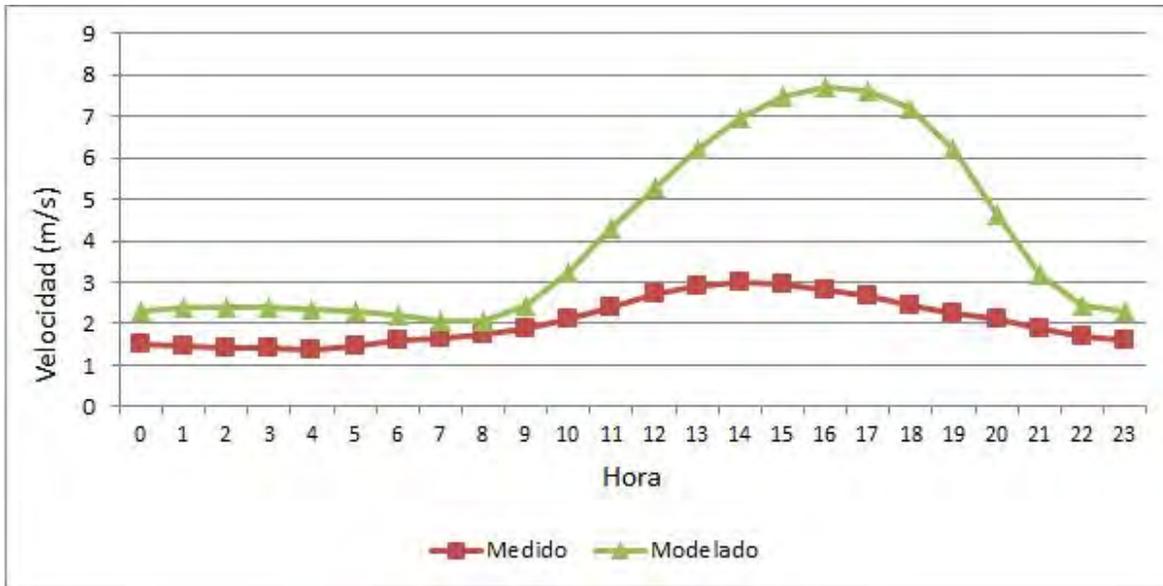


Figura 6-19: Ciclo diario de la velocidad del viento observada (Estación Las Losas) y modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)



En la Tabla 6–12 se presentan los estadísticos que dan cuenta de las diferencias cuantitativas entre los ciclos diarios de los datos observados y los modelados por el modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015.

Tabla 6–12: Estadísticos para el ciclo diario de velocidad del viento obtenido a partir del modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015

Estadístico	Estación Huasco Bajo	Estación Población Huasco II	Estación Planta Pellets	Estación Playa Brava	Estación Olivos de Bellavista	Estación Las Losas
Error Cuadrático Medio	0,79	1,42	0,60	0,64	1,65	2,59
Sesgo	0,56	1,01	0,13	0,49	1,51	2,03
Coefficiente de Correlación	0,9575	0,9946	0,9914	0,9794	0,9669	0,9166

De acuerdo a lo anterior, se observa un sesgo positivo para todas las estaciones descritas, lo que indica que el modelo sobrestima las velocidades del viento, especialmente el caso de la estación Las Losas, tal como se muestra en la Tabla 6–12, y en el error cuadrático medio, que tiene un valor de 2,59 para dicha estación. Para el coeficiente de correlación (r), el ciclo diario para todas las estaciones presenta un buen ajuste lineal con valores sobre 0,9.

ii. Dirección del Viento

A continuación se presentan los gráficos de los ciclos diarios de la dirección del viento horaria modelada y observada.

**Figura 6-20: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Huasco Bajo
Junio 2014 – Mayo 2015**

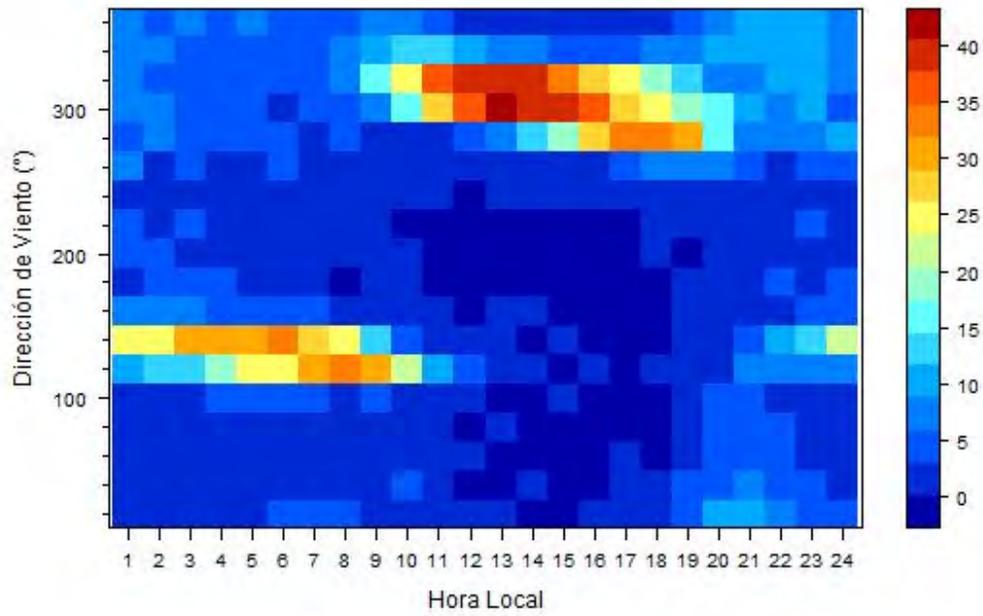
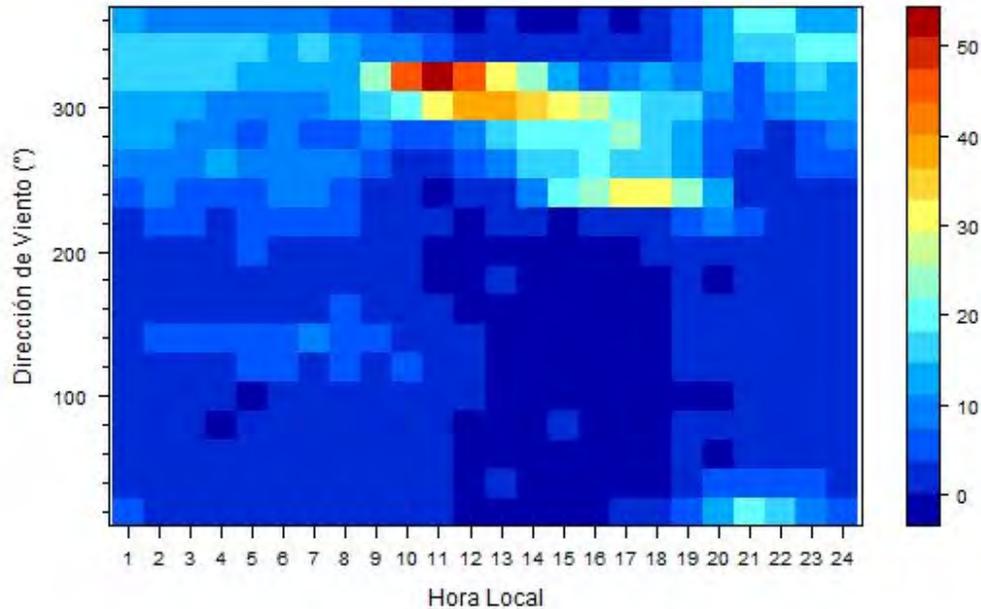


Figura 6-21: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015



En la Figura 6-20 se muestra que para el ciclo diario de la dirección del viento observada en la Estación Huasco Bajo existe un dominio de las direcciones provenientes del cuadrante Noroeste durante el período diurno, aproximadamente entre las 9 y las 21 horas (entre 280 a 320°), en tanto durante las horas de la noche y madrugada predominan las direcciones de origen Este Sureste y Sureste (entre 120° y 140°). Mientras que en la Figura 6-21 es posible observar que existe una predominancia de la dirección Nor Oeste entre las 9 y las 13 horas (320°) y de la dirección Oeste Noroeste entre las 14 y las 18 horas (300°), además se observa una predominancia más leve de la dirección Oeste Suroeste (240°) entre las 15 y las 20 horas.

**Figura 6-22: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Población Huasco II
Junio 2014 – Mayo 2015**

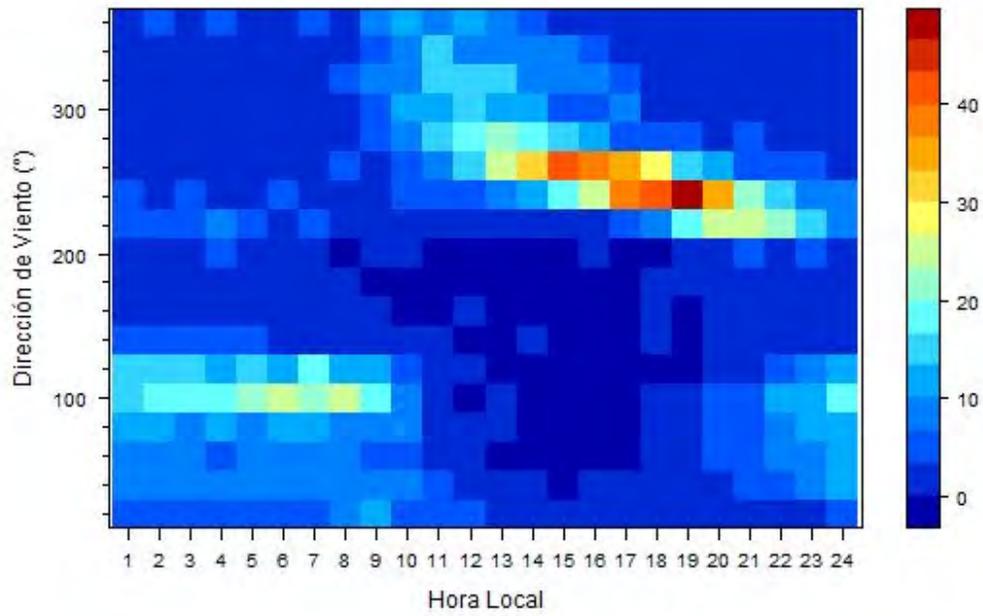
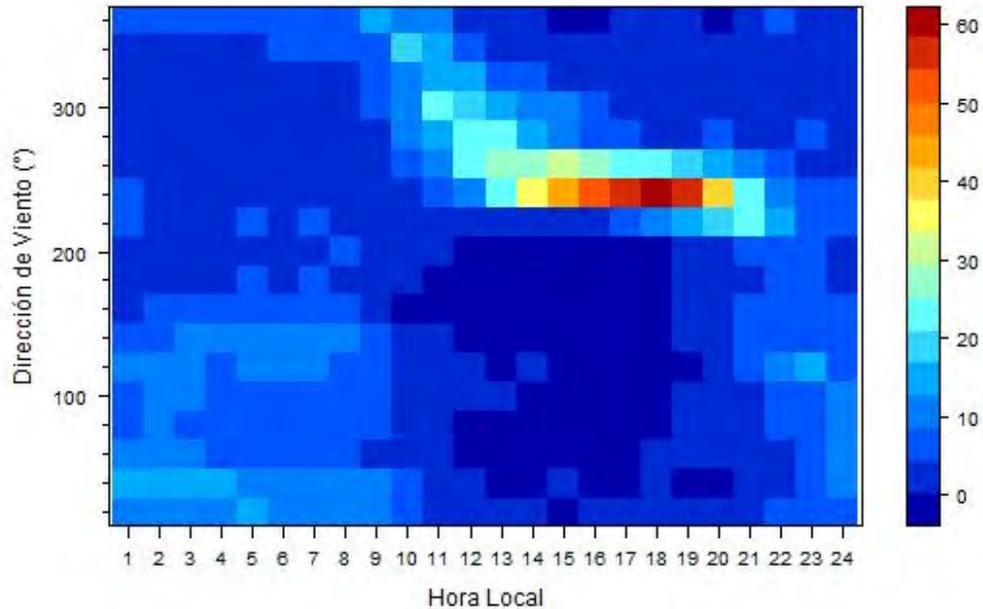


Figura 6-23: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015



En la Figura 6-20 se muestra que para el ciclo diario de la dirección del viento observada en la Estación Población Huasco II existe un dominio de las direcciones provenientes desde el Oeste y Oeste Suroeste entre las 13 a las 20 horas (entre 240° y 260°), en tanto durante las horas de la noche y madrugada, entre las 23 a las 9 horas, predomina la dirección de origen Este (100°). Mientras que en la Figura 6-21 es posible observar que existe una predominancia bastante marcada Oeste Suroeste entre las 13 y las 21 horas (240°).

**Figura 6-24: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Planta Pellets
Junio 2014 – Mayo 2015**

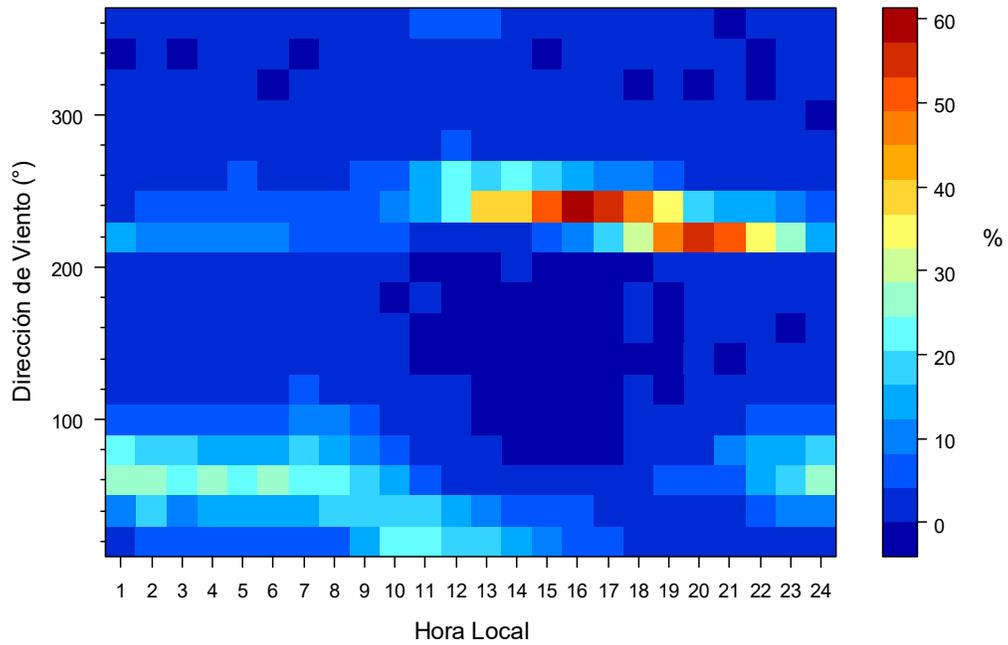
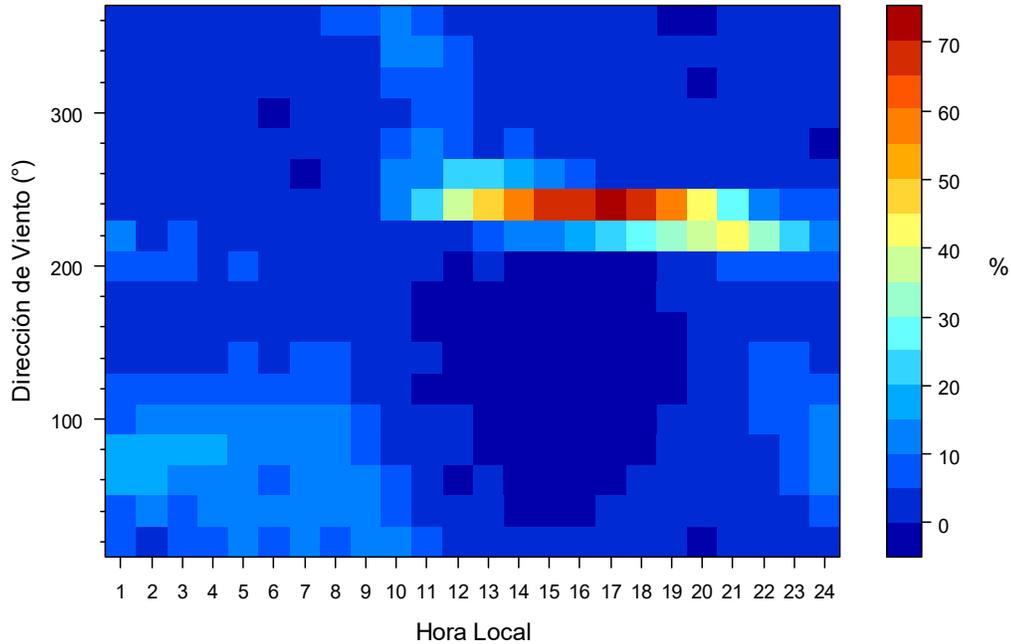


Figura 6-25: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015



En la Figura 6-24 se muestra que para el ciclo diario de la dirección del viento observada en la estación Planta de Pellets, existe una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 13 y las 18 horas (240°) y de la dirección Sur Suroeste entre las 19 y las 22 horas (220°), además se observa una predominancia más leve de la dirección Este Noreste (60°) en horas de la madrugada. Mientras que en la Figura 6-25 es posible observar que para el ciclo diario de la dirección del viento modelada, existe una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 11 y las 20 horas (240°).

**Figura 6-26: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Playa Brava
Junio 2014 – Abril 2015**

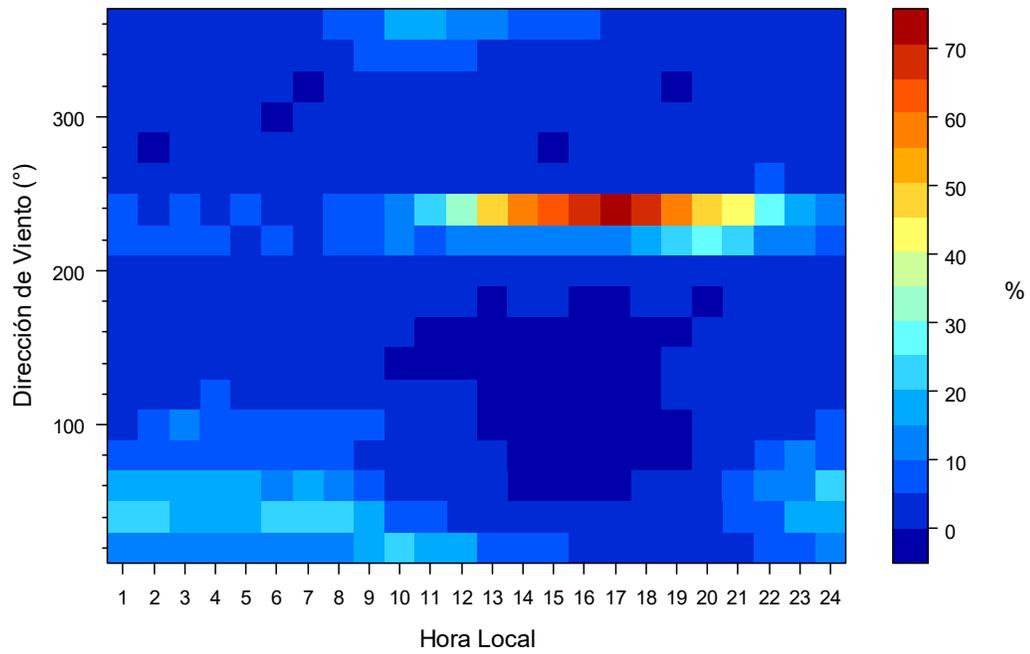
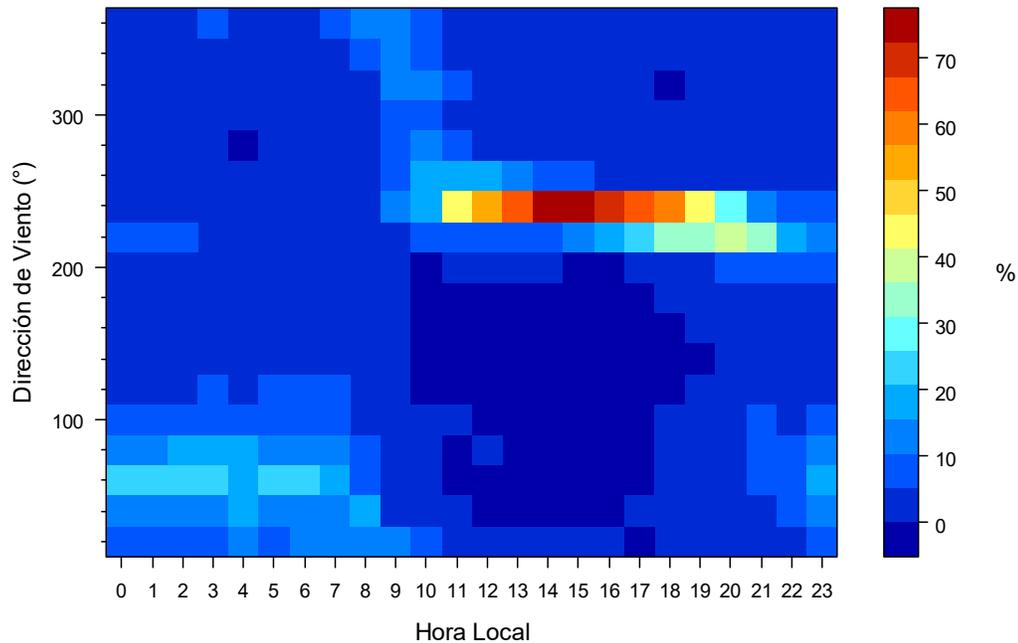


Figura 6-27: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015



En la Figura 6-26 se muestra que para el ciclo diario de la dirección del viento observada en la estación Playa Brava, existe una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 12 y las 22 horas (240°), además se observa una predominancia más leve de la dirección Noreste (40°) en horas de la madrugada. Mientras que en la Figura 6-27 es posible observar que para el ciclo diario de la dirección del viento modelada, existe una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 11 y las 19 horas (240°) y Sur Suroeste entre las 20 y las 21 (220°).

**Figura 6-28: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Olivos de Bellavista
Julio 2014 – Mayo 2015**

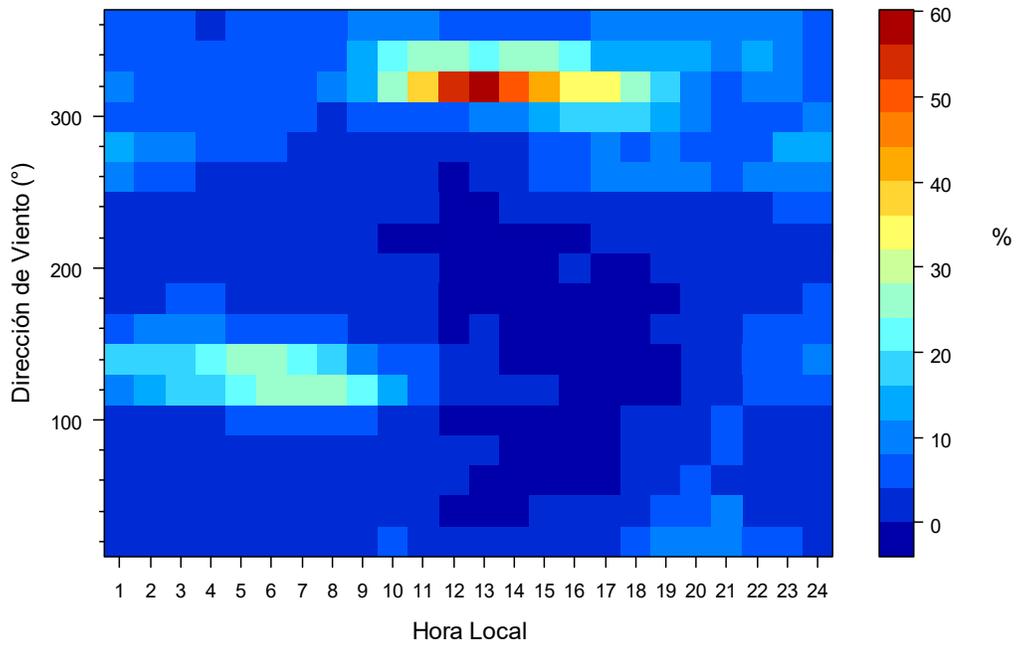
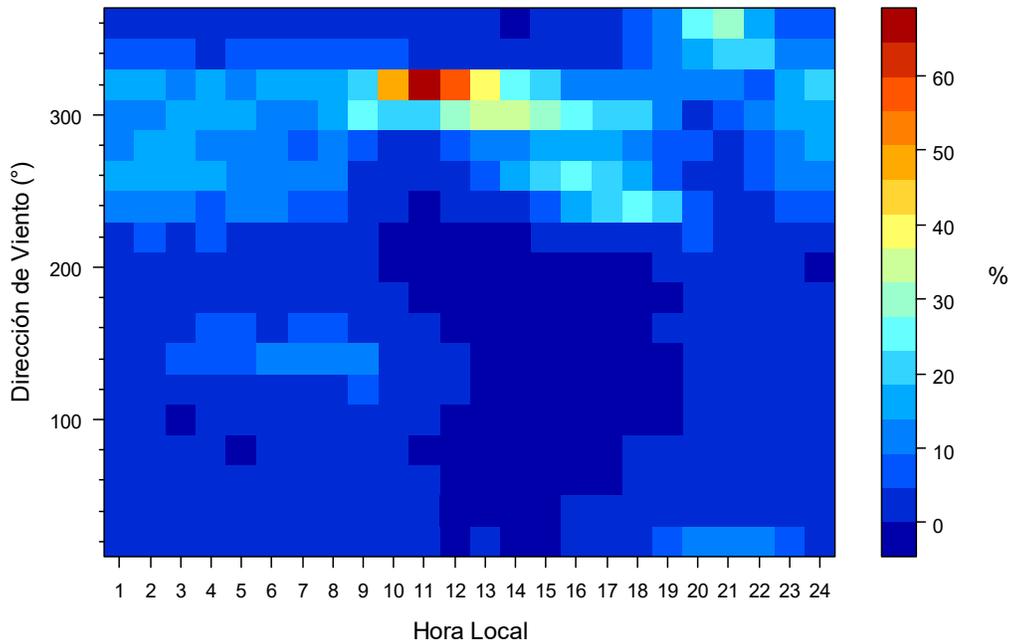
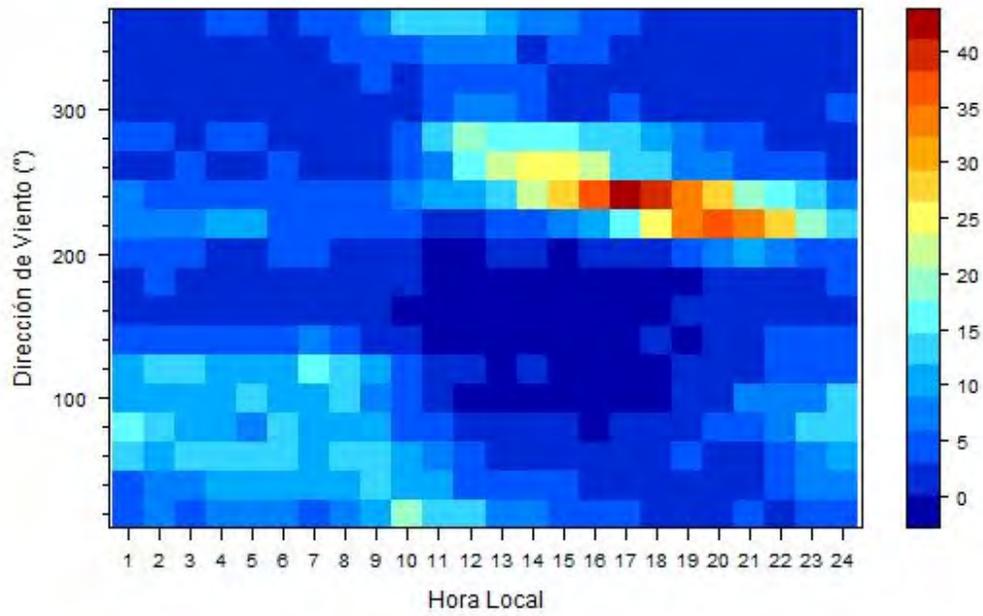


Figura 6-29: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015. Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015

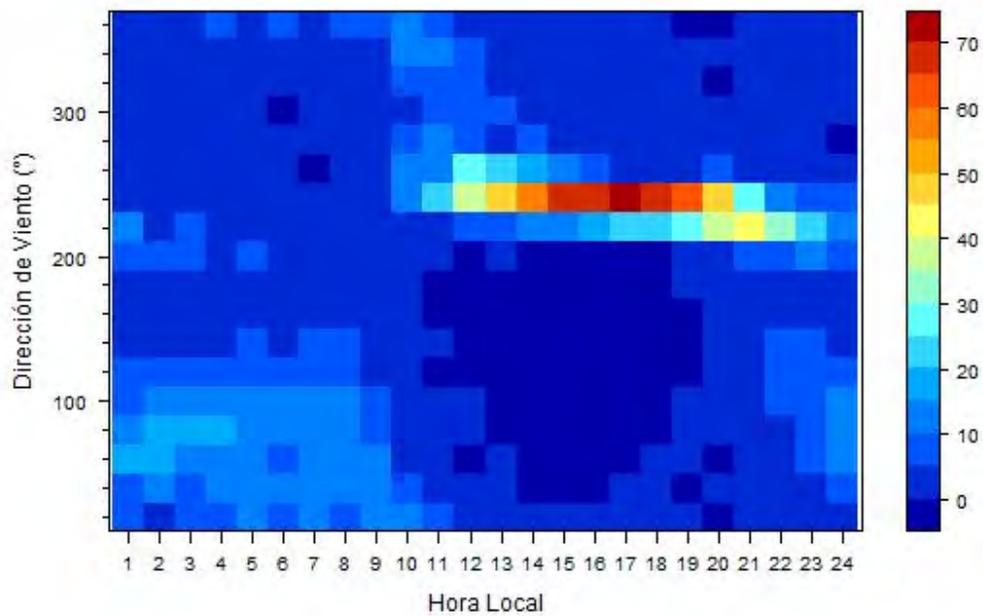


En la Figura 6-28 se muestra que para el ciclo diario de la dirección del viento observada en la estación Olivos de Bellavista, existe una predominancia de la dirección Noroeste entre las 9 y las 18 horas (320°), además se observa una predominancia más leve de la dirección Este Sureste (120°) y Sureste (140°) en horas de la madrugada. Mientras que en la Figura 6-29 es posible observar que para el ciclo diario de la dirección del viento modelada, existe una predominancia de la dirección Noroeste entre las 9 y las 17 horas (320°).

**Figura 6-30: Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Las Losas
Junio 2014 – Abril 2015**



**Figura 6-31: Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo
2015. Estación Las Losas Junio 2014 – Abril 2015**

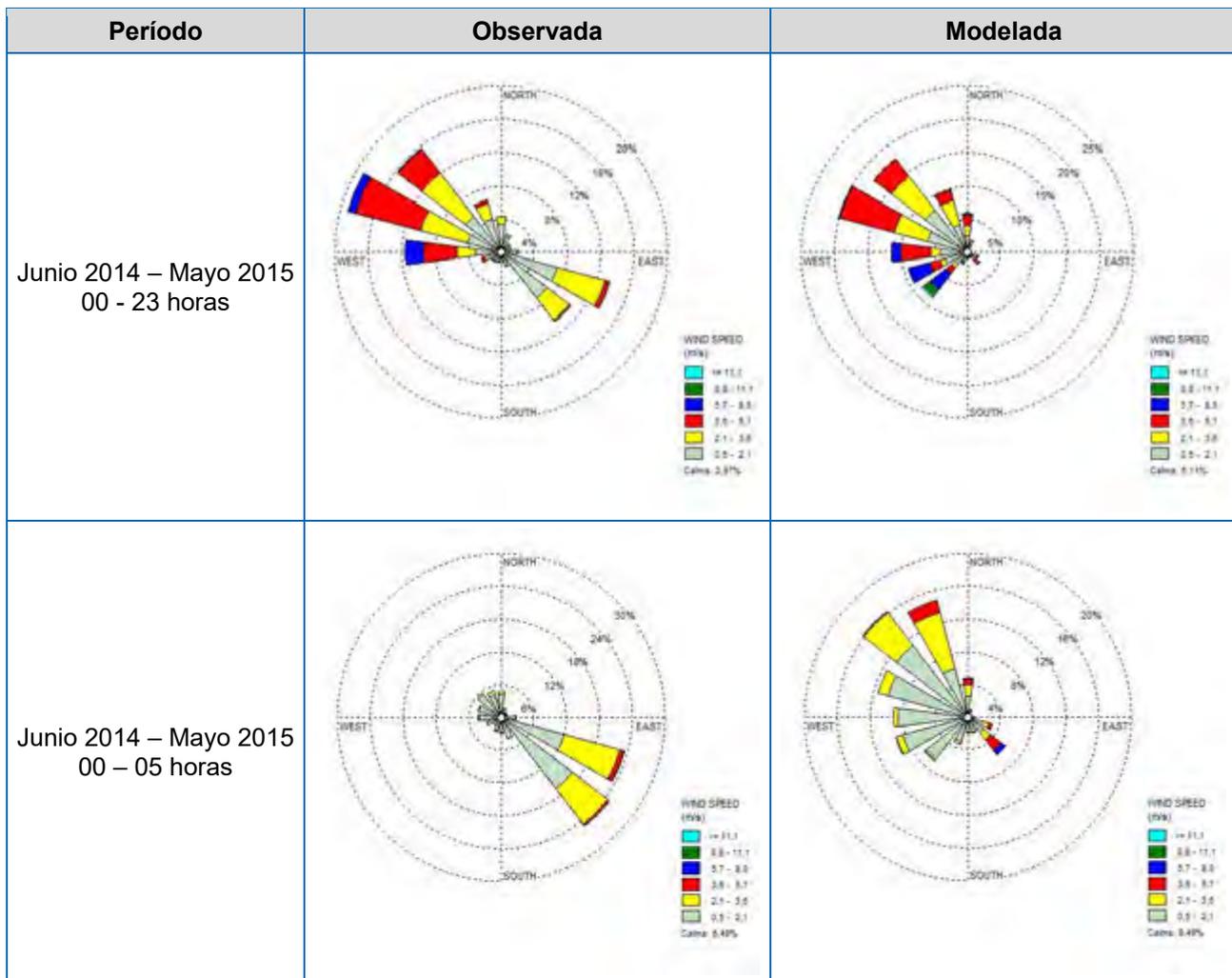


En la Figura 6-30 se muestra que para el ciclo diario de la dirección del viento observada en la estación Las Losas, existe una predominancia de las direcciones Suroeste entre las 18 y las 22 horas (220°) y de la dirección Oeste Suroeste entre las 14 y las 20 horas (240°). Mientras que en la Figura 6-31 es posible observar que para el ciclo diario de la dirección del viento modelada, existe una predominancia marcada de la dirección Oeste Suroeste entre las 12 y las 20 horas (240°).

iii. Rosas de los vientos

Para una mejor comparación de las direcciones del viento observadas y modeladas, a continuación se presentan las rosas de viento anuales y cada 6 horas obtenidas para el año 2014-2015.

Figura 6-32: Rosa de los Vientos Observada (Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)



Período	Observada	Modelada
Junio 2014 – Mayo 2015 06 – 11 horas	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 11.1 0.0 - 11.1 0.7 - 0.8 0.6 - 0.7 2.1 - 3.6 0.0 - 2.1 <p>Calms: 2.9%</p>	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 11.1 0.0 - 11.1 0.7 - 0.8 0.6 - 0.7 2.1 - 3.6 0.0 - 2.1 <p>Calms: 4.9%</p>
Junio 2014 – Mayo 2015 12 – 17 horas	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 11.1 0.0 - 11.1 0.7 - 0.8 0.6 - 0.7 2.1 - 3.6 0.0 - 2.1 <p>Calms: 0.0%</p>	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 11.1 0.0 - 11.1 0.7 - 0.8 0.6 - 0.7 2.1 - 3.6 0.0 - 2.1 <p>Calms: 0.0%</p>
Junio 2014 – Mayo 2015 18 – 23 horas	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 11.1 0.0 - 11.1 0.7 - 0.8 0.6 - 0.7 2.1 - 3.6 0.0 - 2.1 <p>Calms: 0.0%</p>	<p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 11.1 0.0 - 11.1 0.7 - 0.8 0.6 - 0.7 2.1 - 3.6 0.0 - 2.1 <p>Calms: 0.4%</p>

De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento observado es la WNW con un 19,0% del tiempo, seguida de las direcciones NW y ESE, con un 15,8% y 13,5% del tiempo respectivamente, y luego la dirección W (11,6%). En el caso del viento modelado, la dirección predominante es la WNW con un 20% del tiempo.

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado se concentran principalmente en ESE (23,4%) y SE (25,0%), sumando 48% del tiempo desde el sector Sureste. El viento modelado en tanto, muestra una predominancia desde el sector Noroeste con direcciones predominantes del viento modelado desde el NW (16,3%), NNW (14,8%) y WNW (11,4%), sumando 43% desde ese sector. Cuenta también con una participación de vientos provenientes del Suroeste.

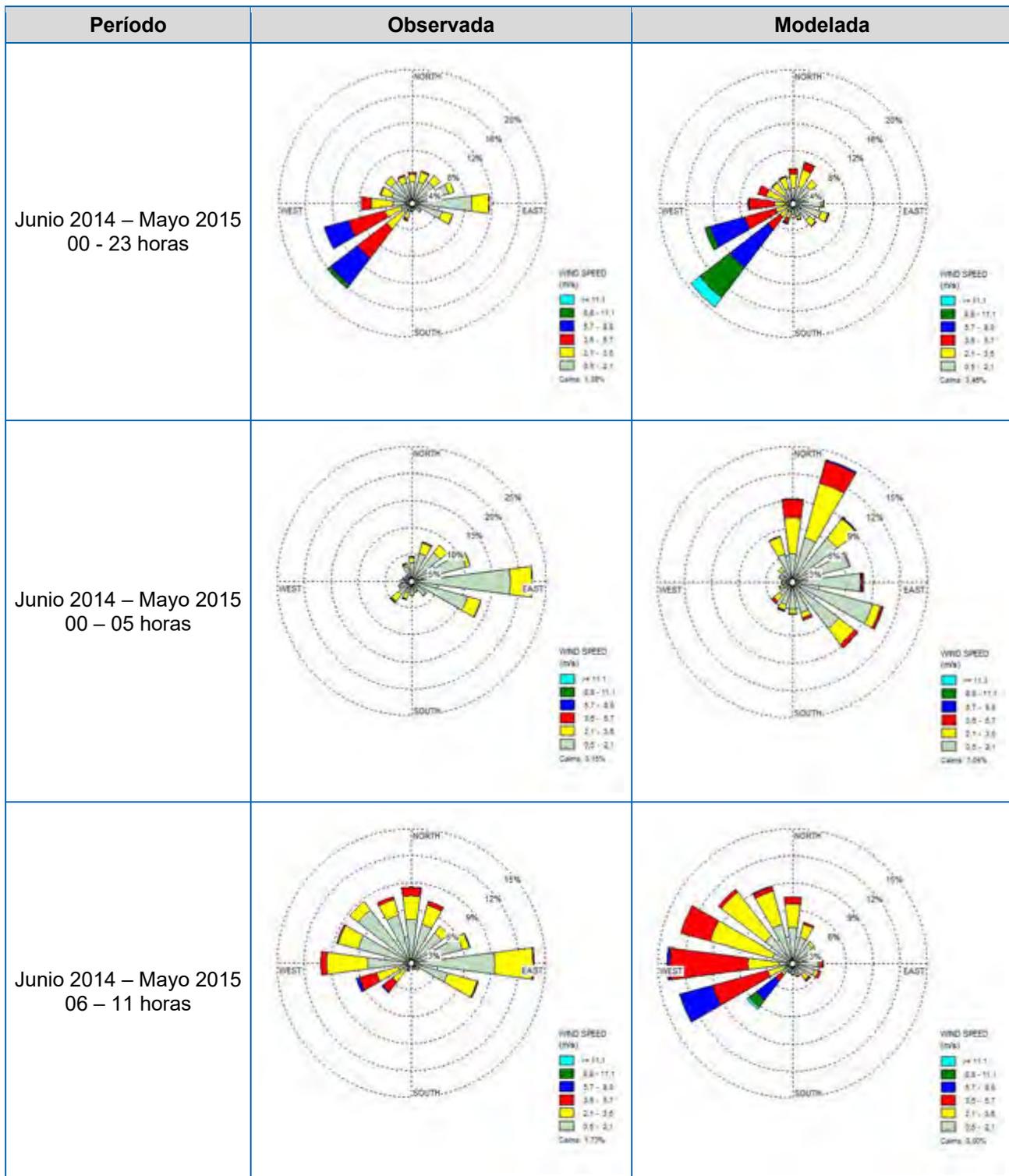
Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección ESE (24,6%), seguida de la dirección NW (21,3%), además de la dirección WNW (19,0%). Por su parte, el viento modelado presenta direcciones predominantes bien marcadas, siendo las principales las direcciones WNW (33,1%) y NW (28,2%).

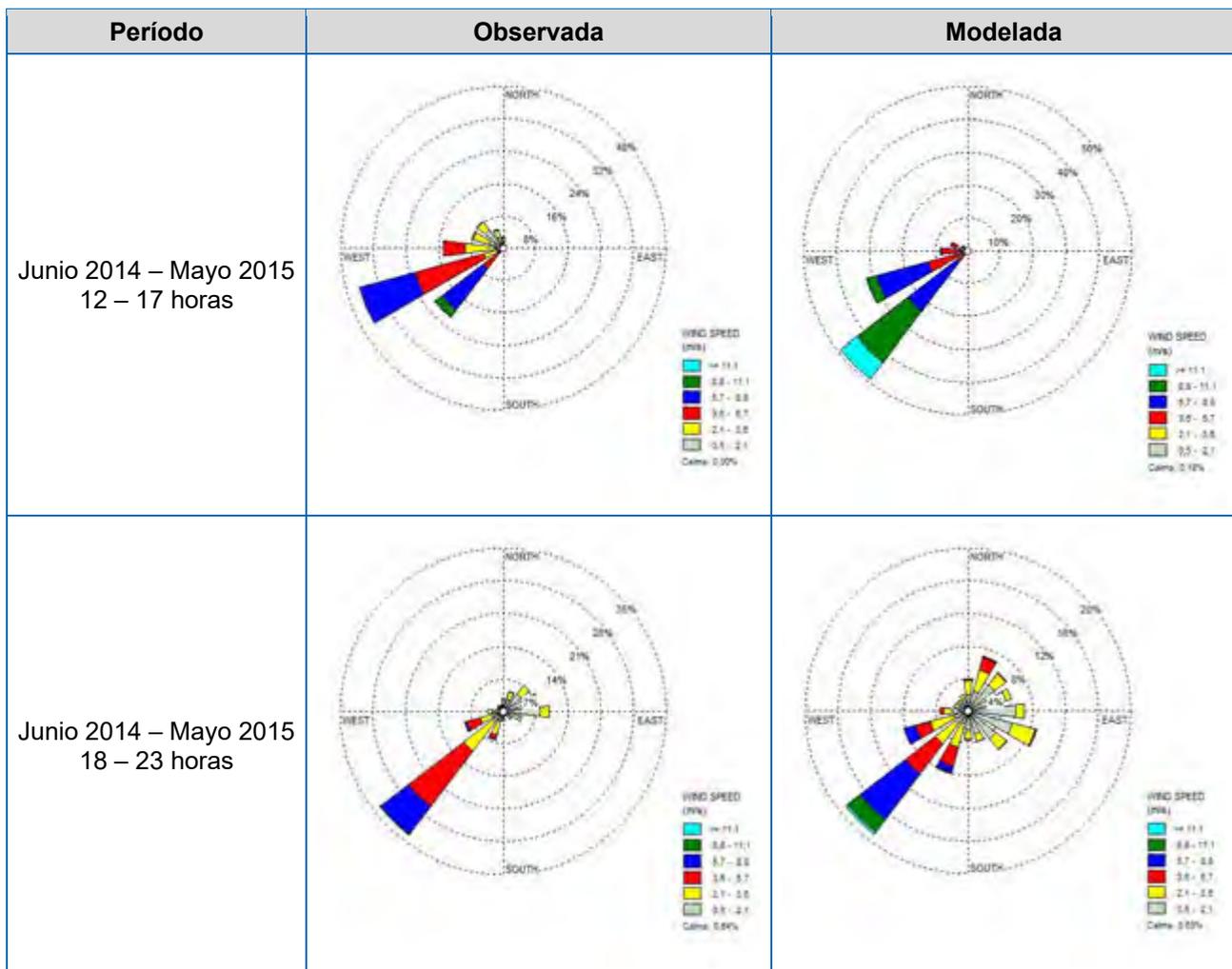
Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la WNW con un 41,1% del tiempo, seguida de la dirección NW (25,7%) y de la dirección W (23,9%), sumando 90% del tiempo desde ese sector. Mientras que en el caso del viento modelado, los vientos tienen origen desde el sector Oeste siendo las direcciones predominantes WNW (25,1%), W (21,1%) SW (20,8%) y WSW (18,2%), no presentando otras direcciones predominantes.

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene del W (14,8%), seguido de WNW (11,6%) y de la dirección NW (10,4%). Mientras que en el caso del viento modelado, las direcciones predominantes provienen del sector norte, con direcciones NW (17,2%), NNW (17,4%) y N (15,5%).

Las mayores velocidades del viento se producen entre las 12:00 y las 17:00 horas, que es cuando existe mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado, aunque con una tendencia más hacia el SW por parte del viento modelado, a diferencia del viento observado donde solamente presenta componentes NW en ese rango horario.

Figura 6-33: Rosa de los Vientos Observada (Estación Población Huasco II Junio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)





De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento observado es la SW con un 16,0% del tiempo, seguida de las direcciones WSW y E, con un 13,6% y 11,6% del tiempo respectivamente. En el caso del viento modelado, la dirección predominante principal es la SW con un 19,4% del tiempo.

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado se concentran principalmente en E (22,4%), ESE (13,4%) y ENE (11,2%), sumando 47% del tiempo durante dicho horario. El viento modelado en tanto, muestra direcciones predominantes del viento desde el NNE (14,1%) principalmente, seguido del ESE (10,4%) y del N (9,2%).

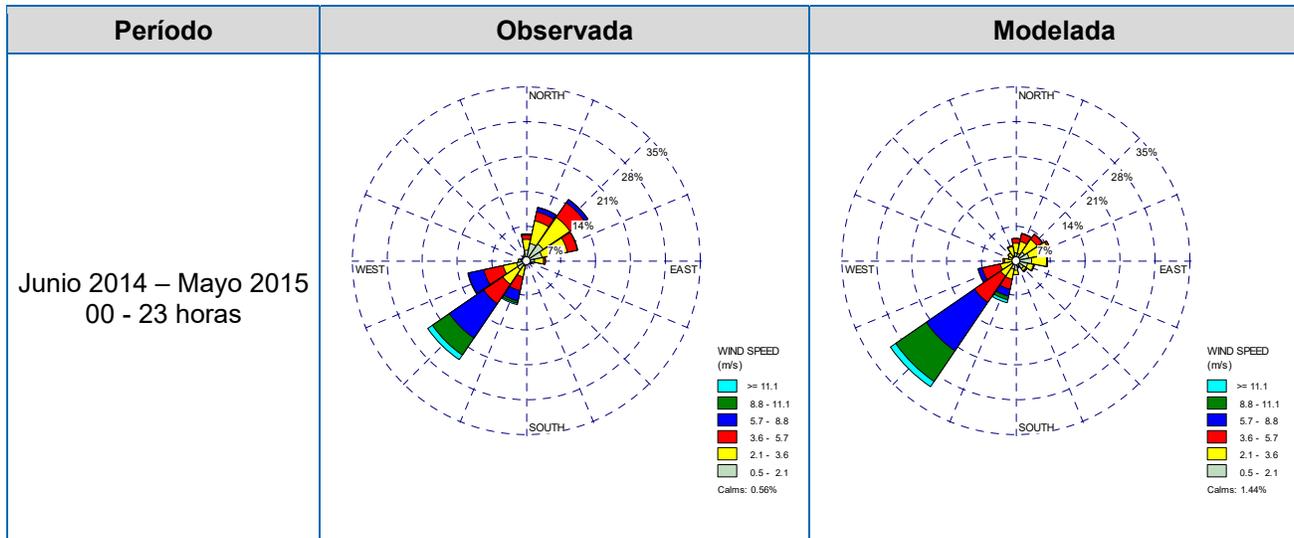
Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección E (13,7%), seguida de la dirección W (10,1%) principalmente. Por su parte, el viento modelado presenta direcciones predominantes desde el sector Oeste, siendo las principales las direcciones W (14,0%), WSW (13,0%) y WNW (12,9%).

Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la WSW con un 36,6% del tiempo, seguida de la dirección SW (21,4%) y de la dirección W (14,9%), sumando 73% del tiempo desde ese sector. Mientras que en el caso del viento modelado, los vientos tienen direcciones predominantes bastantes marcadas siendo éstas SW (48,9%) y WSW (32,0%), sin presentar otras direcciones predominantes.

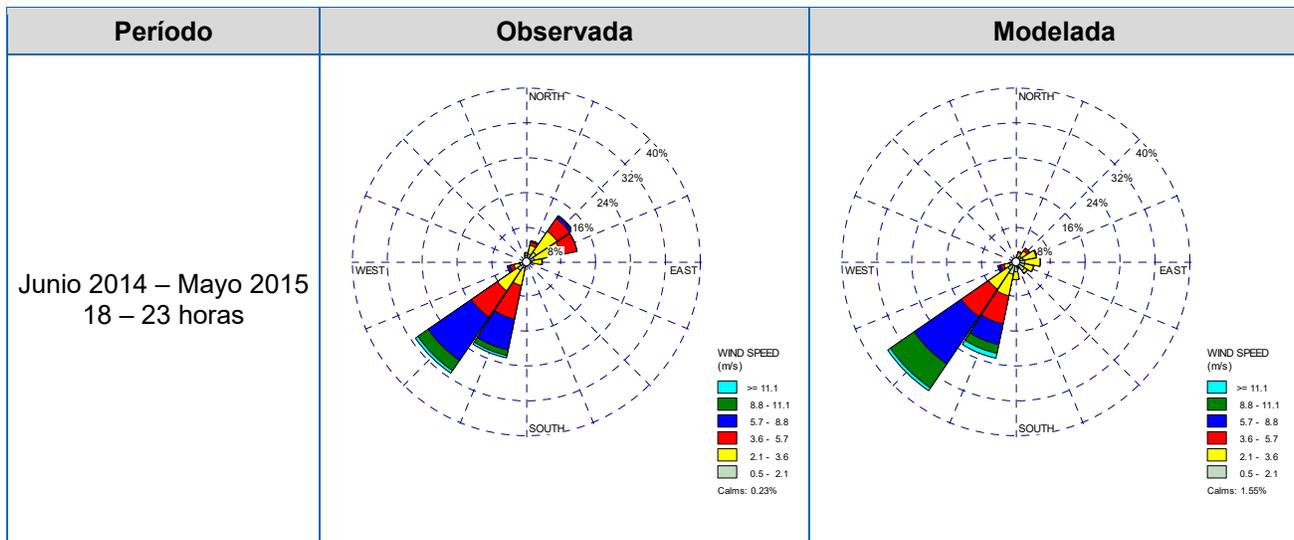
Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene gran medida desde el SW (33,3%), y en menor medida desde el ENE (7,8%) y NE (7,2%). Mientras que en el caso del viento modelado, existe solamente una dirección más marcada correspondiente a la SW (19%).

Las mayores velocidades del viento se producen entre las 12:00 y las 17:00 horas, que es cuando existe mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado, aunque con más presencia de direcciones desde el NW por parte del viento observado en ese rango horario.

Figura 6-34: Rosa de los Vientos Observada (Estación Planta Pellets Junio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)



Período	Observada	Modelada
Junio 2014 – Mayo 2015 00 – 05 horas		
Junio 2014 – Mayo 2015 06 – 11 horas		
Junio 2014 – Mayo 2015 12 – 17 horas		



De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento observado es la SW con un 24,0% del tiempo, seguida de las direcciones NE y WSW, con un 15,0% y 12,1% del tiempo respectivamente. En el caso del viento modelado, la dirección predominante principal es la SW con un 30,6% del tiempo.

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado se concentran principalmente en NE (26,8%), ENE (19,7%) y NNE (11,0%), sumando 58% del tiempo durante dicho horario. El viento modelado en tanto, muestra direcciones predominantes provenientes del sector Noreste, específicamente desde el ENE (17,9%), NE (14,6%), E (13,5%) y NNE (10,4%), sumando un 56% del tiempo durante dicho horario.

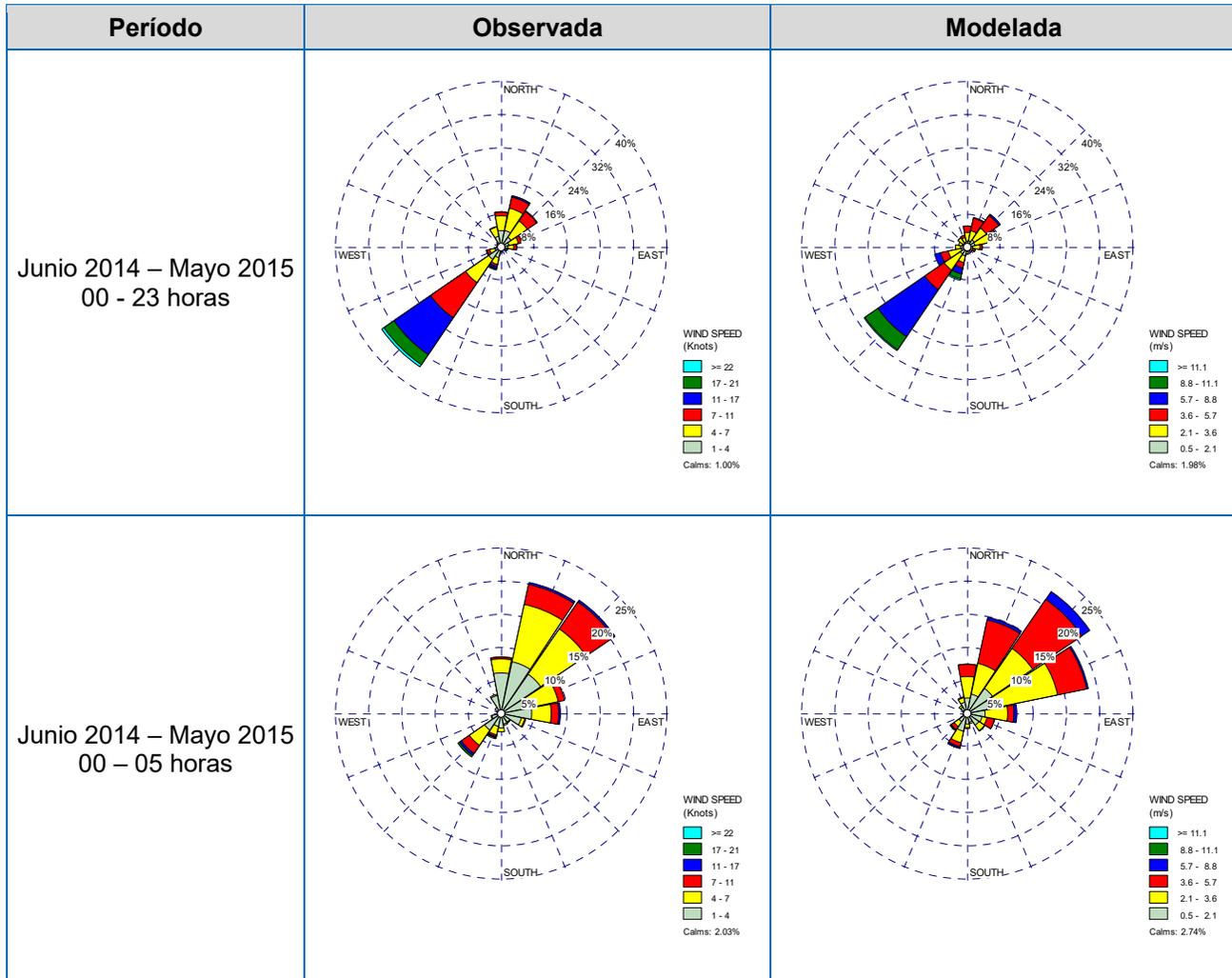
Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de las direcciones NNE (19,8%) y NE (17,7%), seguidas de las direcciones WSW (11,8%) y SW (11,1%). Por su parte, el viento modelado presenta participación de un amplio rango de direcciones, las principales las direcciones SW (12,8%), N (10,4%) y WSW (10,1%).

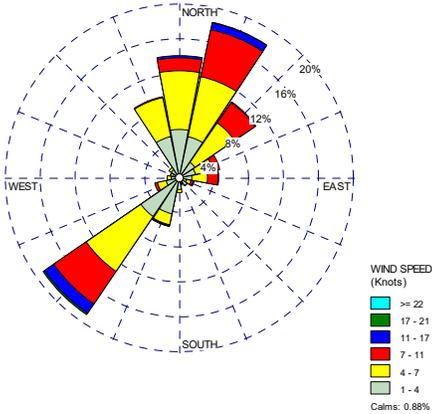
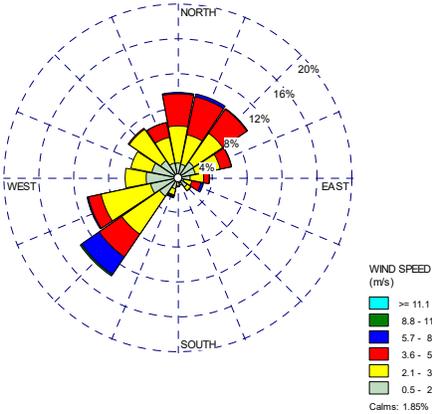
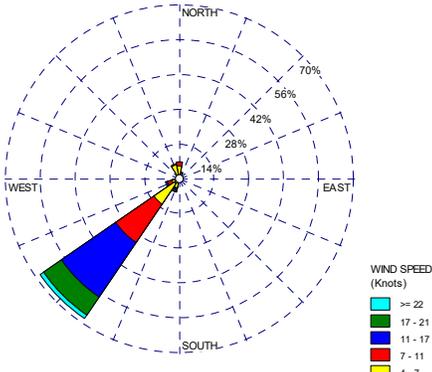
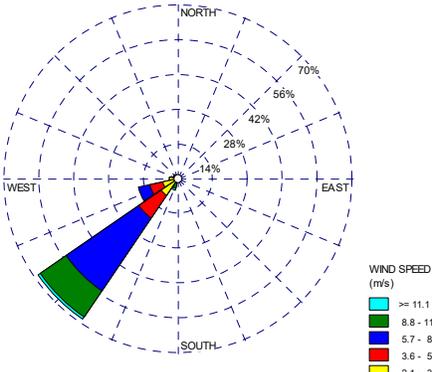
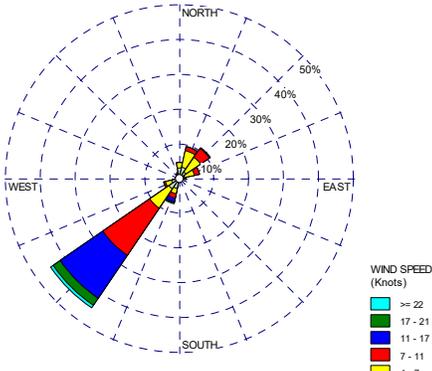
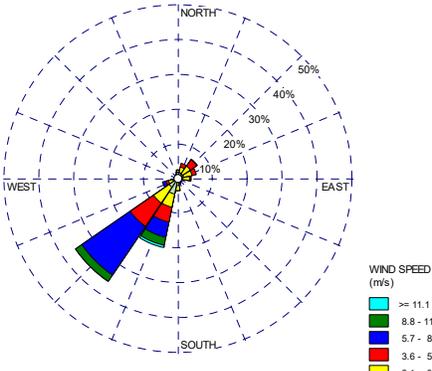
Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la SW con un 46,4% del tiempo, seguida de la dirección WSW (28,2%) y de la dirección W (14,9%), sumando 75% del tiempo desde ese sector. Mientras que en el caso del viento modelado, los vientos tienen direcciones predominantes bastantes marcadas siendo éstas SW (71,3%) y WSW (15,9%), sin presentar otras direcciones predominantes.

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene desde las direcciones SW (30,9%) y SSW (22,5%), seguidas de las direcciones NE (13,0%) y ENE (12,0%). Mientras que en el caso del viento modelado, predominan las direcciones de origen SW (35,7%) y SSW (22,6%), sin presentar participación de otras direcciones.

Las mayores velocidades del viento se producen entre las 12:00 y las 17:00 horas, que es cuando existe mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado.

Figura 6-35: Rosa de los Vientos Observada (Estación Playa Brava Junio 2014 – Abril 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)



Período	Observada	Modelada
Junio 2014 – Mayo 2015 06 – 11 horas	 <p>WIND SPEED (Knots)</p> <ul style="list-style-type: none"> >= 22 17 - 21 11 - 17 7 - 11 4 - 7 1 - 4 <p>Calms: 0.88%</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> >= 11.1 8.8 - 11.1 5.7 - 8.8 3.6 - 5.7 2.1 - 3.6 0.5 - 2.1 <p>Calms: 1.85%</p>
Junio 2014 – Mayo 2015 12 – 17 horas	 <p>WIND SPEED (Knots)</p> <ul style="list-style-type: none"> >= 22 17 - 21 11 - 17 7 - 11 4 - 7 1 - 4 <p>Calms: 0.05%</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> >= 11.1 8.8 - 11.1 5.7 - 8.8 3.6 - 5.7 2.1 - 3.6 0.5 - 2.1 <p>Calms: 0.00%</p>
Junio 2014 – Mayo 2015 18 – 23 horas	 <p>WIND SPEED (Knots)</p> <ul style="list-style-type: none"> >= 22 17 - 21 11 - 17 7 - 11 4 - 7 1 - 4 <p>Calms: 0.74%</p>	 <p>WIND SPEED (m/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> >= 11.1 8.8 - 11.1 5.7 - 8.8 3.6 - 5.7 2.1 - 3.6 0.5 - 2.1 <p>Calms: 3.34%</p>

De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento observado es la SW con un 34,0% del tiempo, seguida de las direcciones NNE y NE, con un 12,4% y 10,3% del tiempo respectivamente. En el caso del viento modelado, la dirección predominante principal es la SW con un 30,2% del tiempo, seguida de la dirección NE (9,7%) y WSW (8,1%).

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado se concentran principalmente en NE (18,7%) y NNE (18,2%), seguidas de las direcciones ENE (8,8%) y E (8,1%). El viento modelado en tanto, muestra direcciones predominantes provenientes del sector Noreste, específicamente desde el NE (22,3%), ENE (18,6%) y NNE (14,9%), sumando un 56% del tiempo durante dicho horario.

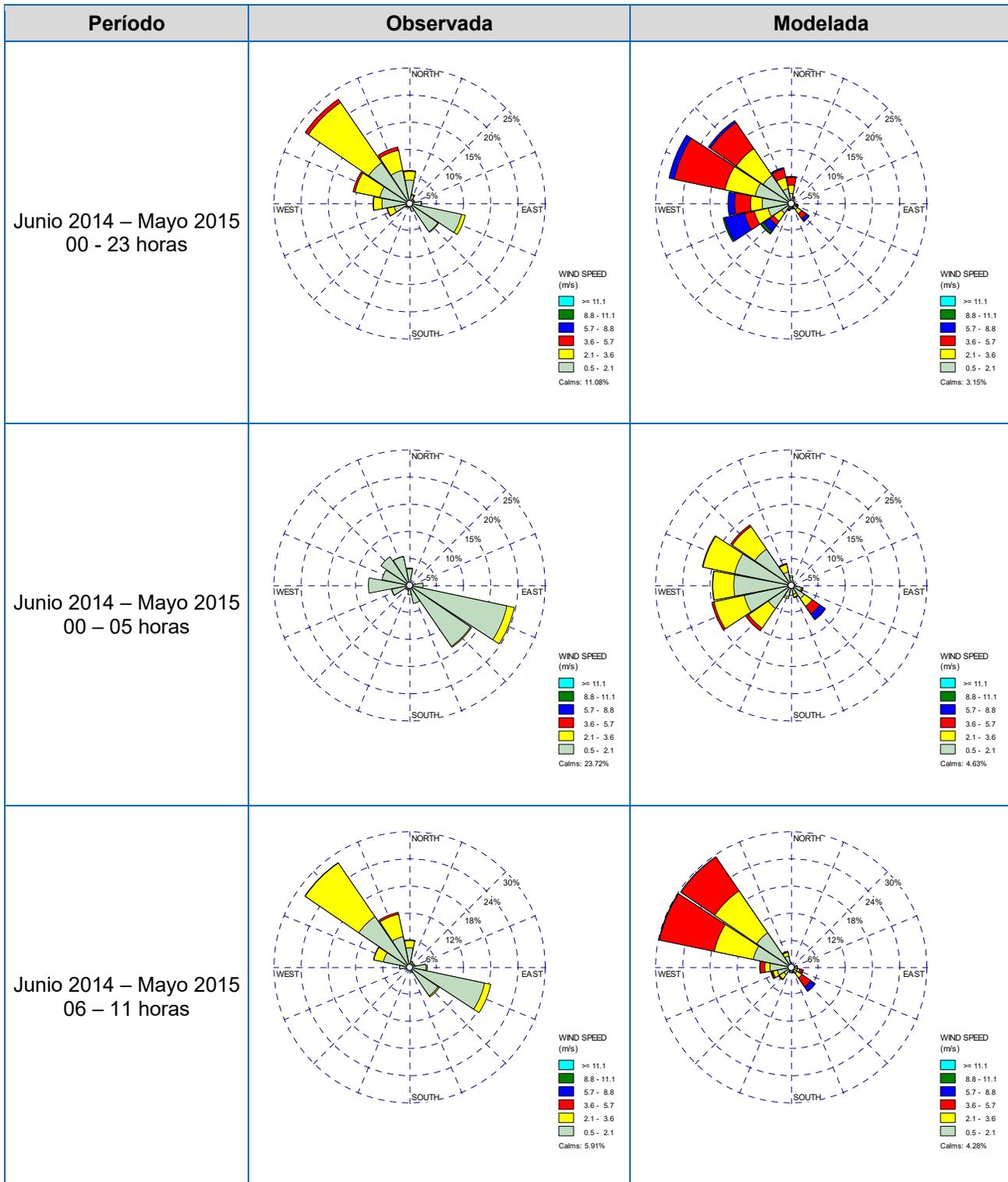
Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección SW (17,1%), seguida de las direcciones NNE (16,5%) y N (12,7%). Por su parte, el viento modelado presenta direcciones predominantes provenientes del SW (13,6%) y WSW (10,7%), seguidas de las direcciones con origen del sector Sureste, es decir NNE (9,9%), N (9,8%) y NE (9,7%).

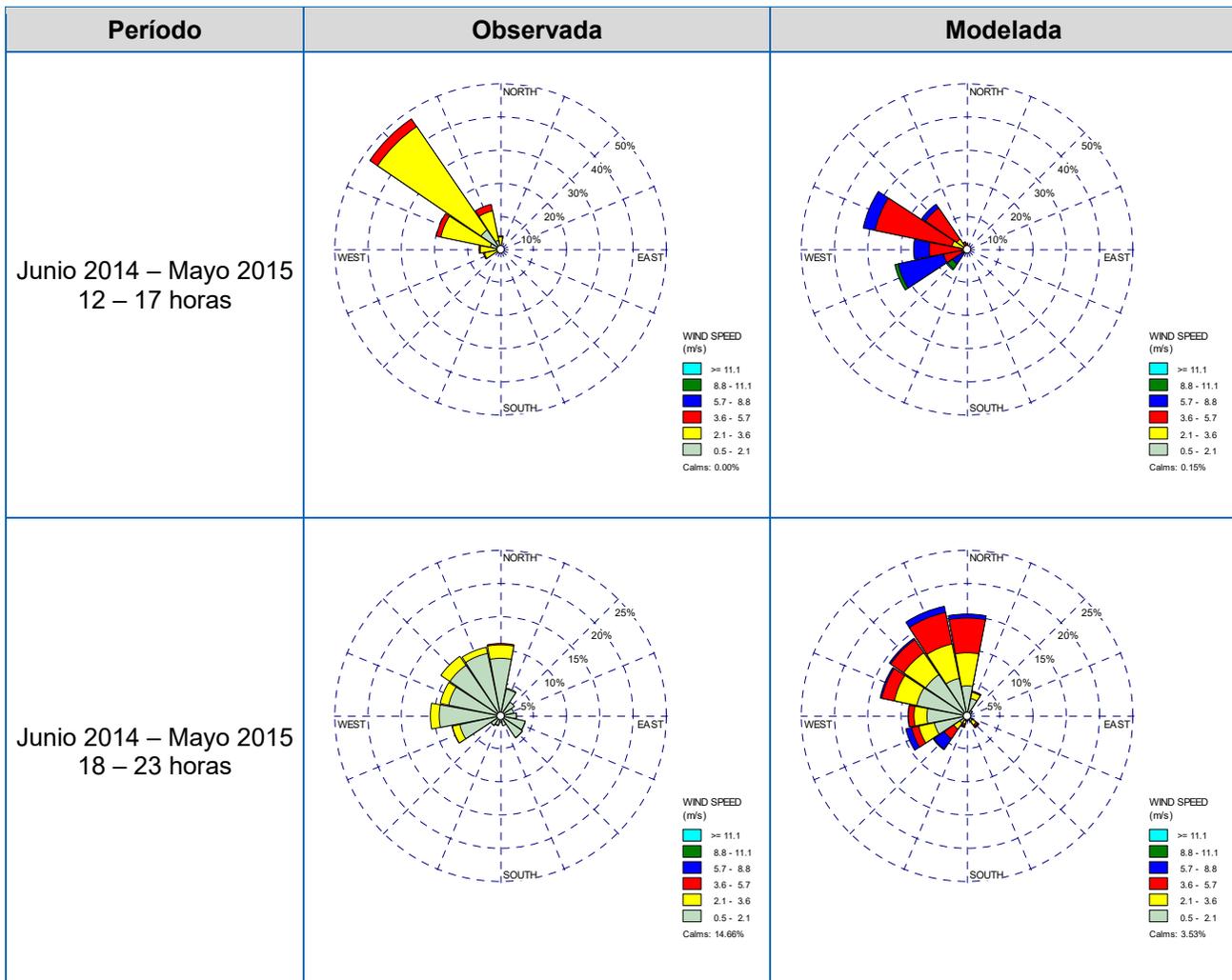
Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la SW con un 61,2% del tiempo, presentando una baja participación de las direcciones restantes. Mientras que en el caso del viento modelado, los vientos tienen direcciones predominantes bastantes marcadas siendo éstas SW (68,1%) y WSW (16,4%), con baja o nula participación de otras direcciones.

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene en gran medida desde la dirección SW (40,4%), seguida de las direcciones NE (9,8%) y NNE (8,6%). Mientras que en el caso del viento modelado, predominan las direcciones de origen SW (35,7%) y SSW (20,3%), presentando una baja participación en el resto de las componentes.

Las mayores velocidades del viento se producen entre las 12:00 y las 23:00 horas, que es cuando existe mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado.

Figura 6-36: Rosa de los Vientos Observada (Estación Olivos de Bellavista Julio 2014 – Mayo 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)





De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que las direcciones predominantes del viento observado es la N y NW con un 10,9% del tiempo cada una, seguida de las direcciones NNW y W, con un 10,6% del tiempo cada una. En el caso del viento modelado, la dirección predominante principal es la WNW con un 23,0% del tiempo, seguida de las direcciones NW (18,45%), WSW (12,8) y W (11,7%).

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado se concentran principalmente en ESE (19,7%) y SE (13,8%), seguidas de las direcciones W (7,6%), NW (6,4%) y NNW (5,5%). El viento modelado en tanto, muestra direcciones predominantes provenientes del sector Oeste, específicamente desde el WNW (16,7%), W (14,5%), WSW (14,9%) y SW (10,1%), sumando un 56% del tiempo durante dicho horario.

Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección NW (27,9%), seguida de las direcciones ESE (18,3%) y NNW (12,4%). Por su parte,

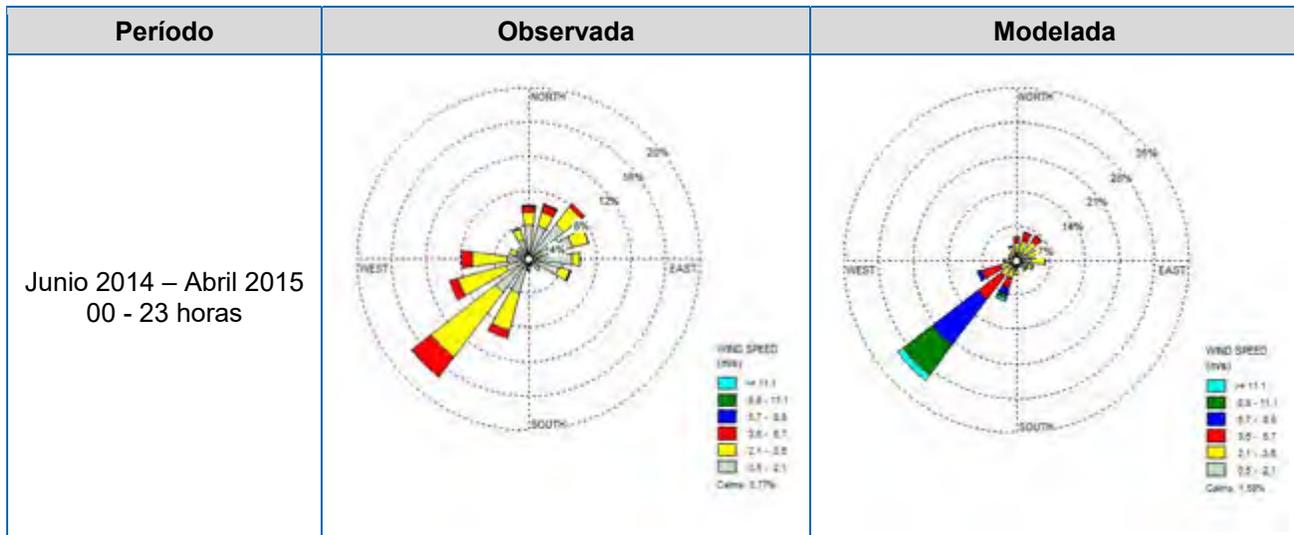
el viento modelado presenta direcciones predominantes provenientes del WNW (29,8%) y NW (29,5%), presentando una baja participación de vientos provenientes de otras direcciones.

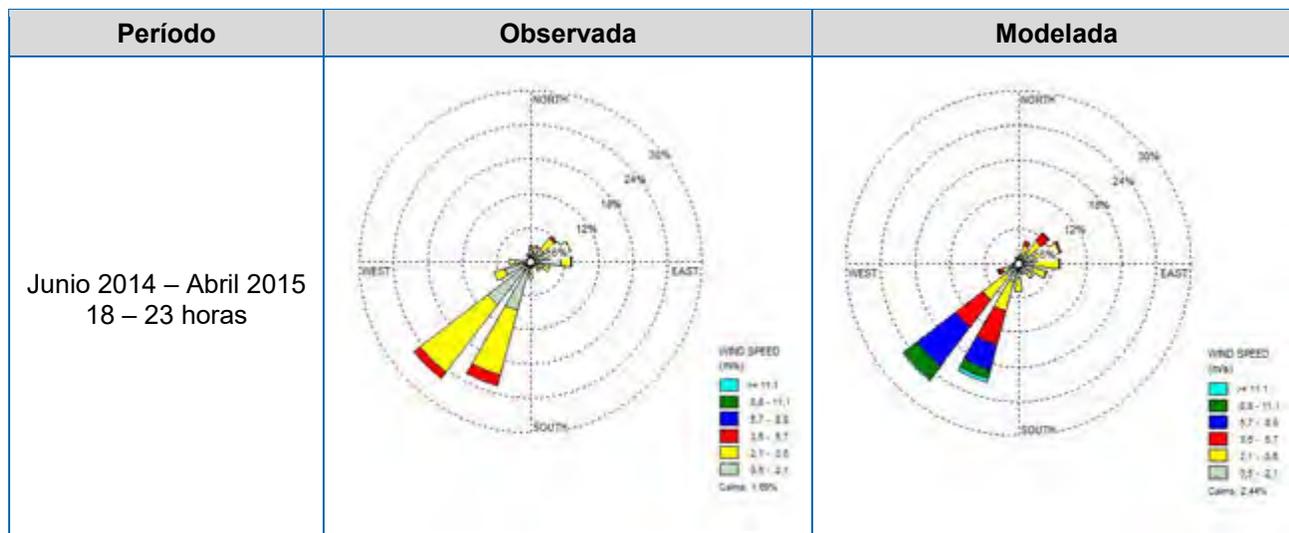
Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la NW con un 47,5% del tiempo, seguida de las direcciones WNW (19,8%) y NNW (13,9%), sumando un 81% del tiempo con origen del cuadrante Noroeste. Mientras que en el caso del viento modelado, los vientos tienen direcciones predominantes desde WNW (31,9%), WSW (22,3%), NW (16,6%) y W (16,2%).

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene en gran medida desde el sector Noroeste, con direcciones N (10,9%), NNW (10,6%), W (10,6%) y WNW (9,3%). Mientras que en el caso del viento modelado, predominan las direcciones de origen NNW (16,9%), N (15,4%), NW (14,2%) y WNW (13,4%).

Las mayores velocidades del viento se producen entre las 12:00 y las 23:00 horas, que es cuando existe mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado.

Figura 6-37: Rosa de los Vientos Observada (Estación Las Losas Junio 2014 – Abril 2015) y Modelada (Modelo CAP Minería Junio 2014 – Mayo 2015)





De acuerdo a las rosas de viento de la figura anterior, es posible observar que la dirección predominante del viento observado es la SW con un 17,3% del tiempo, seguida de las direcciones WSW y SSW, ambas con 9,6% del tiempo. En el caso del viento modelado, la dirección predominante es la SW con un 30,4% del tiempo, seguida de las direcciones SSW (8,7%) y WSW (8,3%).

Entre las 00:00 y las 05:00 horas, las direcciones predominantes del viento observado son NE (13,0%), ENE (13,0%) y E (10,9%). El viento modelado en tanto, muestra una predominancia desde el sector Noreste, cuyas direcciones predominantes del viento son ENE (16,6%), NE (13,6%) y NNE (12,0%).

Respecto del viento entre las 06:00 y las 11:00 horas, el viento observado muestra predominancia de la dirección NNE (12,0%), seguida de la dirección N (11,9%), además de la dirección NE (11,7%). Por su parte, el viento modelado presenta distintas direcciones predominantes, siendo las principales las direcciones SW (20,3%) y WSW (15,4%).

Entre las 12:00 y las 17:00, la dirección predominante del viento es la SW con un 29,6% del tiempo, seguida de la dirección WSW (23,2%) y de la dirección W (16,7%), presentando una baja participación de las restantes direcciones. Mientras que en el caso del viento modelado, la dirección SW y WSW se presentan en un 75,5% y 11,3% del tiempo respectivamente, presentando una nula o baja participación de las direcciones restantes.

Finalmente, entre las 18:00 y las 23:00 horas, el viento observado predominante proviene del SW (25,8%), seguido de SSW (22,6%), abarcando ambas direcciones un 48% del tiempo en dicho horario. Mientras que en el caso del viento modelado, las direcciones predominantes provienen de las direcciones SW (24,0%) y SSW (22,1%) principalmente.

En los rangos horarios 0:00 a 5:00 y 18:00 a 23:00 horas se produce la mayor coincidencia entre las direcciones del viento observado y modelado, con vientos de menor velocidad en el caso del viento observado.

iv. Ciclos estacionales de velocidad y dirección del viento

En las siguientes figuras de ciclos estacionales, se obtiene información del comportamiento promedio de cada estación en cuanto a velocidad y dirección del viento para cada mes del año a toda hora del día.

**Figura 6-38: Ciclo estacional del viento observado en Estación Huasco Bajo
Junio 2014 – Mayo 2015**

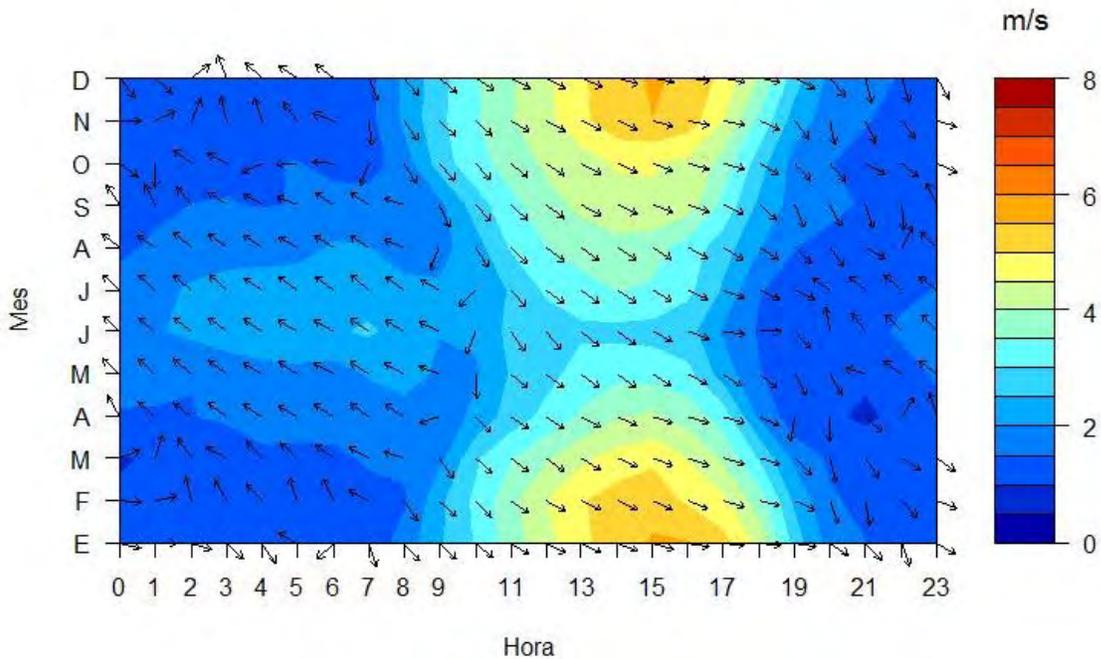
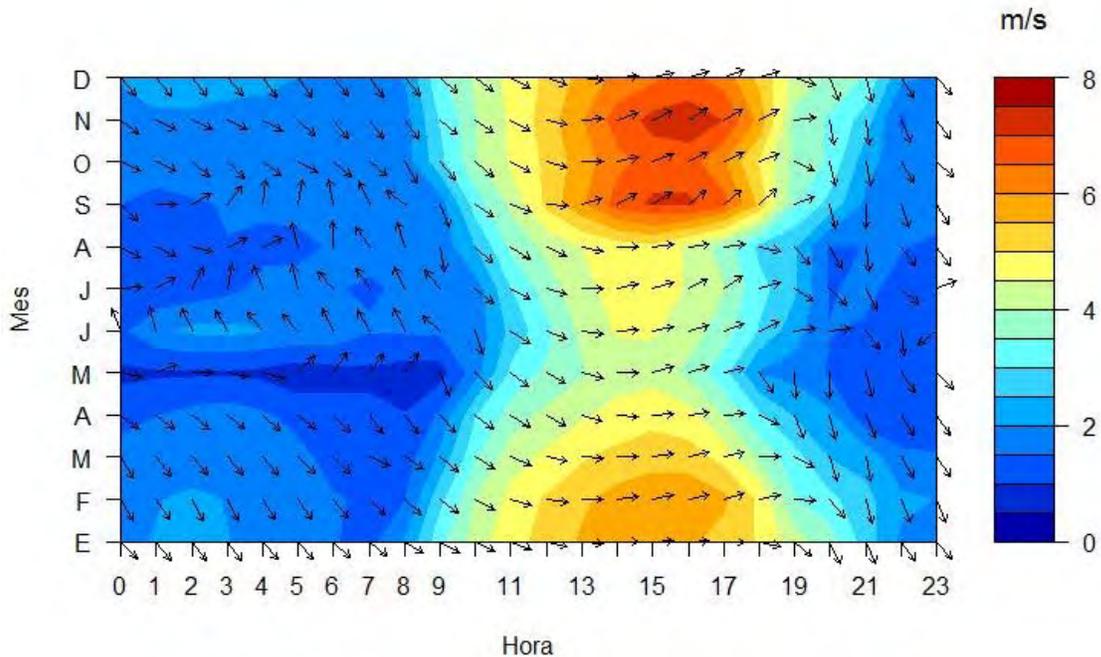


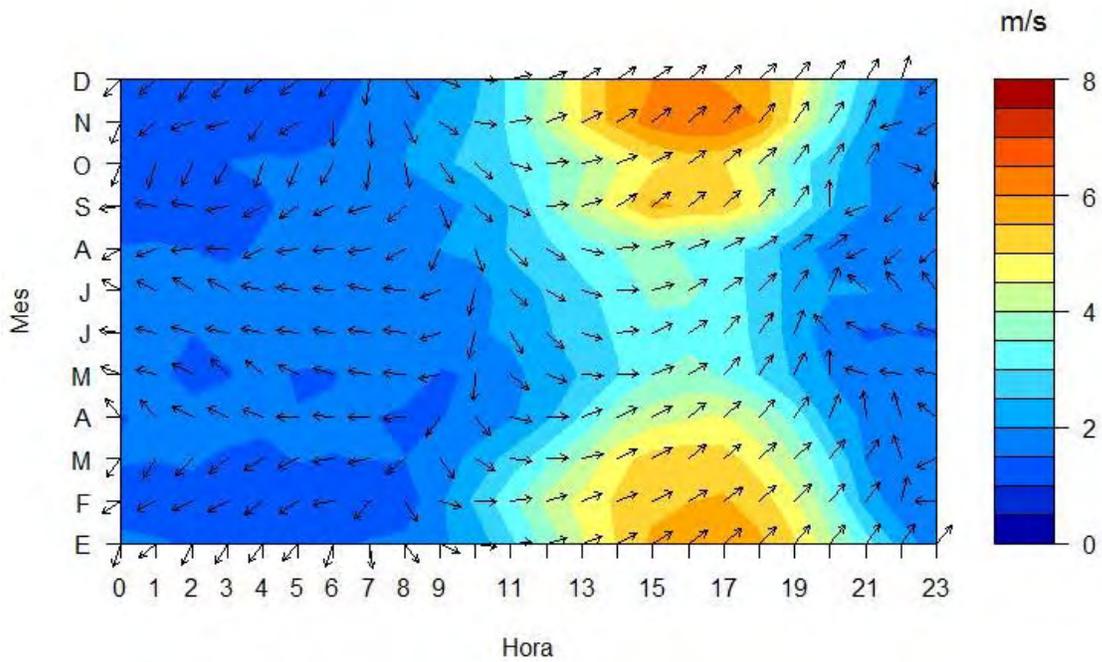
Figura 6-39: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Huasco Bajo Junio 2014 – Mayo 2015



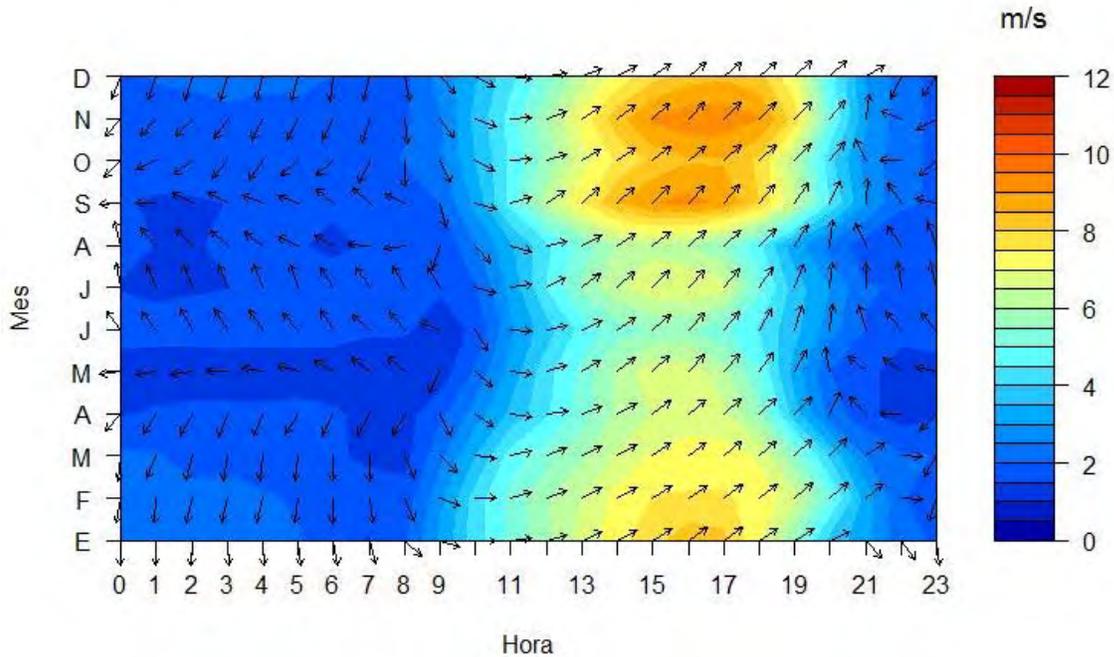
En la Figura 6-38 que muestra el ciclo estacional del viento observado en la estación Huasco Bajo, se ve una predominancia de la dirección Noroeste entre las 12:00 y 20:00, originándose una dirección Oeste con tendencia a Sur Oeste conforme pasan las horas. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-39), se observa una predominancia de la dirección Oeste entre las 12:00 y 20:00, generándose para las horas nocturnas y de madrugada una tendencia Noreste para los meses de octubre a abril, y de la dirección Suroeste principalmente en el mismo horario para los meses restantes.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento, especialmente los valores máximos en el mes de septiembre. Los valores máximos modelados se presentan en los meses de septiembre y noviembre, mientras que los máximos observados se presentan en los meses de noviembre, diciembre y enero.

**Figura 6-40: Ciclo estacional del viento observado en Estación Población Huasco II
Junio 2014 – Mayo 2015**



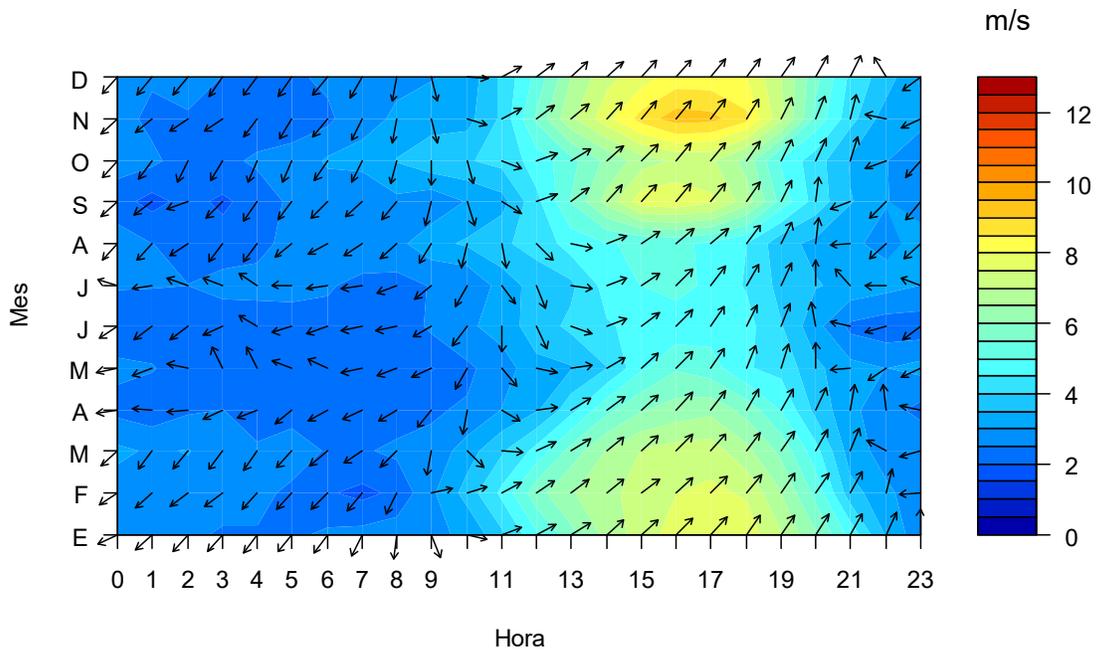
**Figura 6-41: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Población Huasco II
Junio 2014 – Mayo 2015**



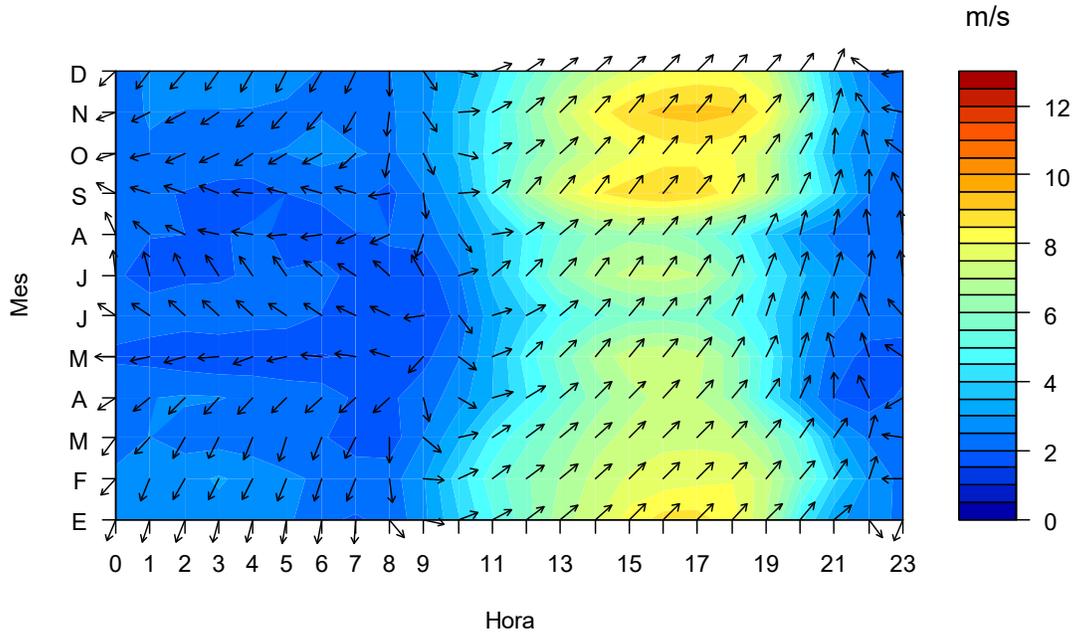
En la Figura 6-40 que muestra el ciclo estacional del viento observado en la estación Población Huasco II, se ve una predominancia de vientos con origen Suroeste, los que durante las horas de la noche y madrugada se ve una predominancia de la dirección Este para los meses de abril a septiembre, y de la dirección Noreste en los meses restantes. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-41), el viento proviene del Suroeste entre las 12:00 y 20:00. Durante las horas nocturnas y de la madrugada se observa una predominancia de los vientos que provienen de la dirección Norte para los meses de octubre a abril, de la dirección Noreste entre junio y agosto y de la dirección Este en mayo y septiembre.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento, especialmente los valores máximos en el mes de septiembre. Los valores máximos modelados se presentan en los meses de septiembre y noviembre, en tanto que los máximos observados se presentan en septiembre, noviembre y diciembre.

**Figura 6-42: Ciclo estacional del viento observado en Estación Planta Pellets
Junio 2014 – Mayo 2015**



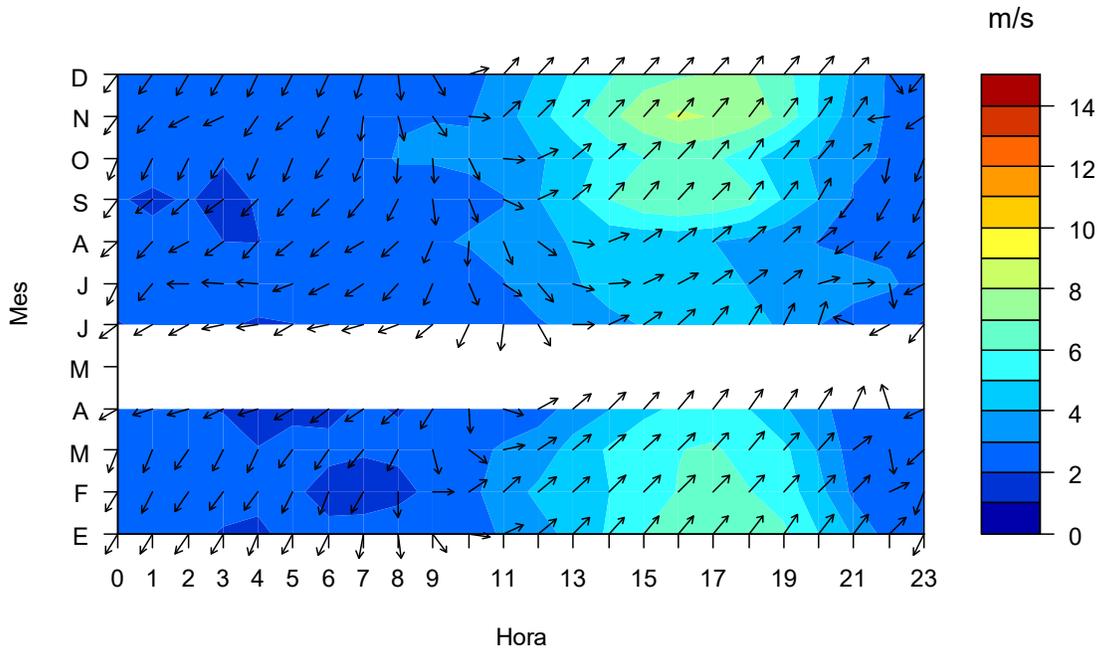
**Figura 6-43: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Planta Pellets
Junio 2014 – Mayo 2015**



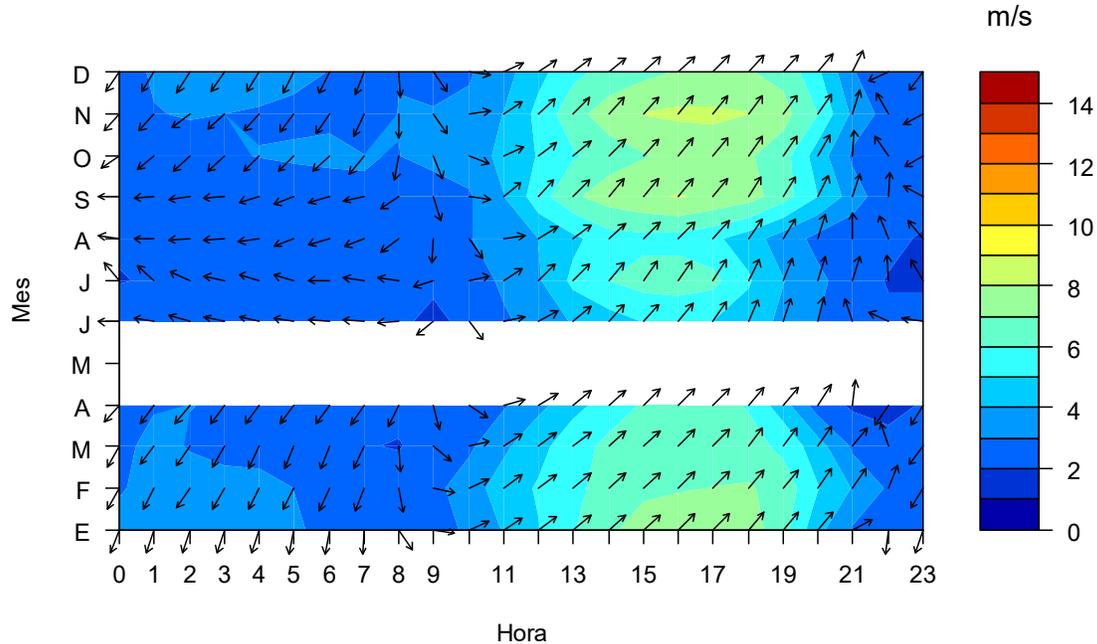
En la Figura 6-42 que muestra el ciclo estacional del viento observado en la estación Planta de Pellets, se ve una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 12:00 y las 20:00 horas. Respecto a las horas nocturnas y de madrugada, la dirección predominante es Noreste entre los meses de agosto a mayo y Este durante los meses restantes. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-43), se observa una predominancia de la dirección Suroeste entre las 11:00 y las 21:00 horas. Durante las horas siguientes, entre los meses de octubre a abril provienen desde el Noreste, en tanto los meses de junio y julio provienen del Sureste y en mayo y agosto desde el Este.

Además, se observa que el modelo sobrestima levemente los valores de la velocidad del viento. Los valores máximos tanto observados como modelados se presentan en el mes de noviembre.

**Figura 6-44: Ciclo estacional del viento observado en Estación Playa Brava
Junio 2014 – Abril 2015**



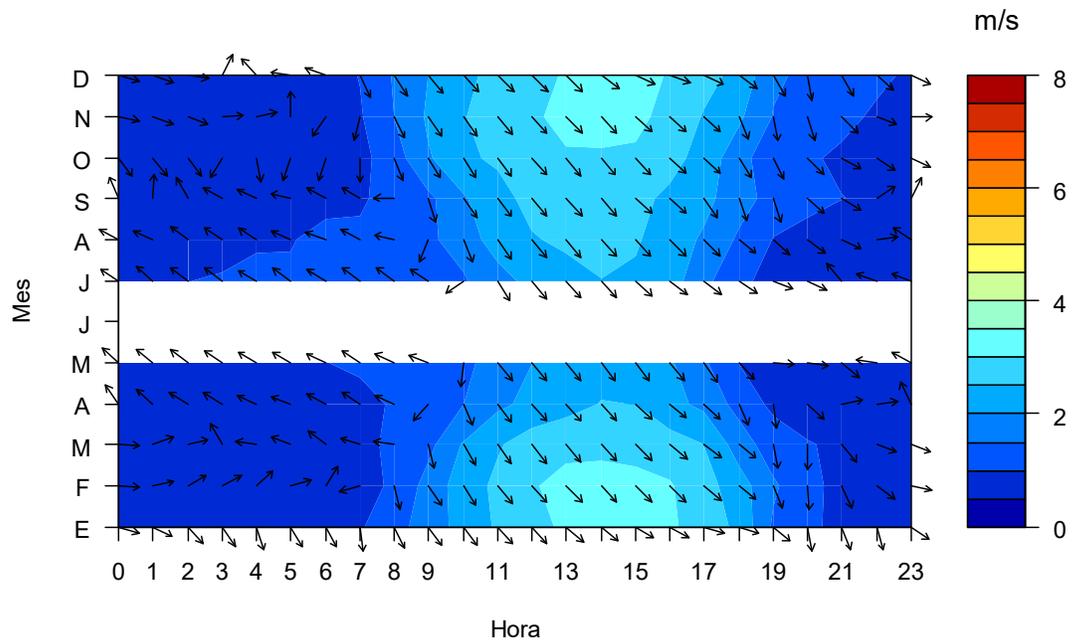
**Figura 6-45: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Playa Brava
Junio 2014 – Abril 2015**



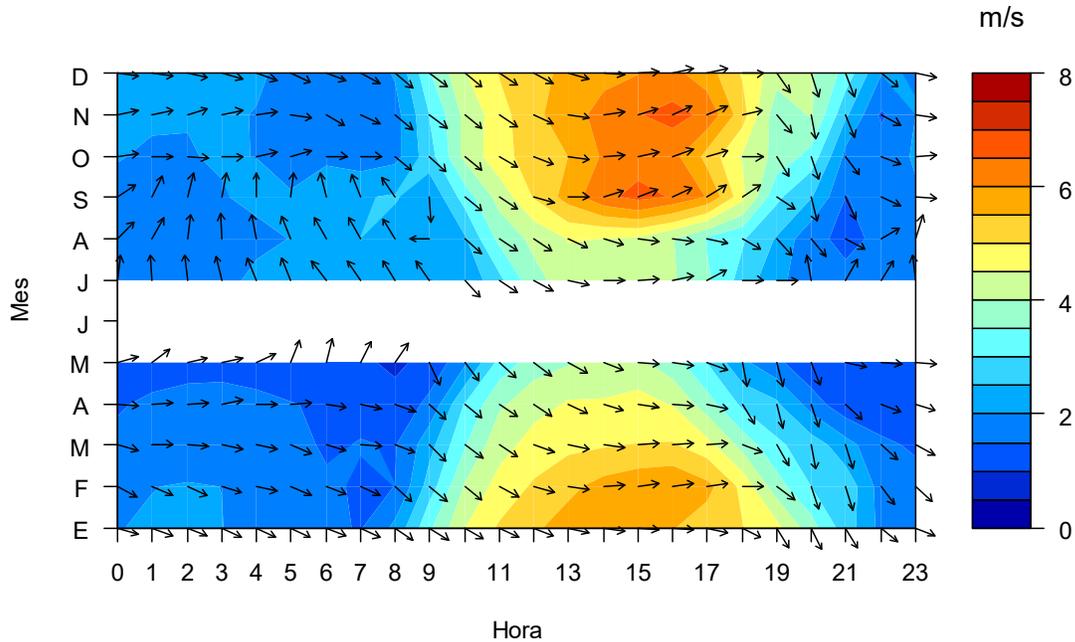
En la Figura 6-44 que muestra el ciclo estacional del viento observado en la estación Playa Brava, se ve una predominancia de la dirección Suroeste entre las 11:00 y las 20:00 horas, tornándose ésta desde el Noreste para las horas nocturnas y de madrugada. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-45), se observa una predominancia desde la dirección Suroeste entre las 11:00 y las 20:00 horas, la que en horas de la noche y madrugada su origen tiene dirección Noreste entre octubre y abril y este entre junio y septiembre.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento. Los valores máximos tanto observados como modelados se presentan en el mes de noviembre.

**Figura 6-46: Ciclo estacional del viento observado en Estación Olivos de Bellavista
Julio 2014 – Mayo 2015**



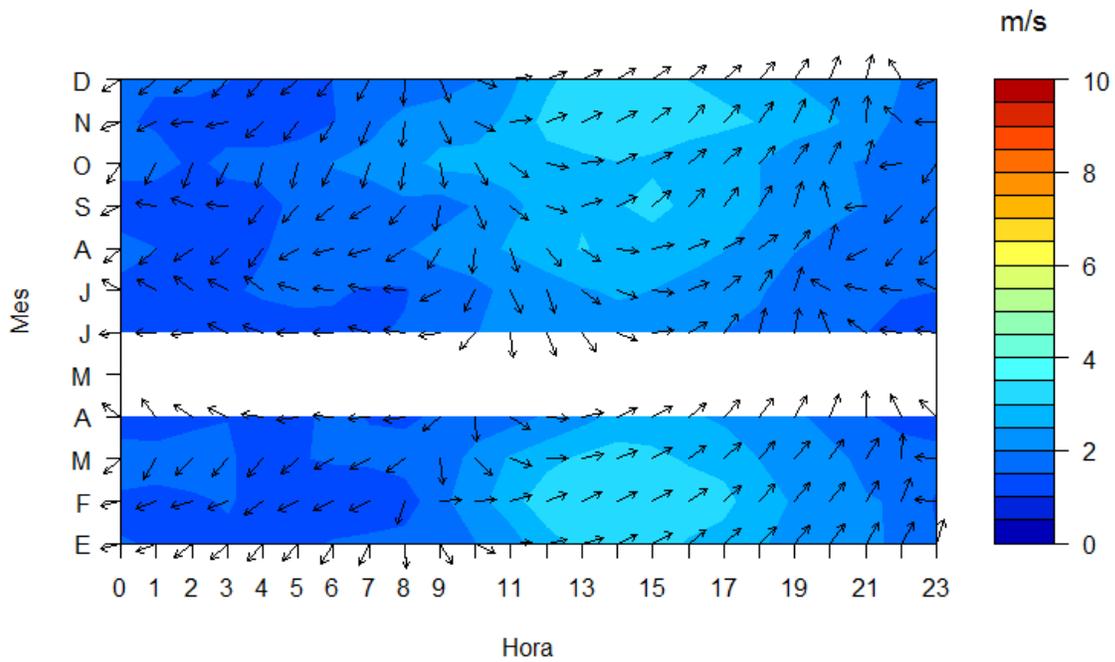
**Figura 6-47: Ciclo estacional del viento modelado en Estación Olivos de Bellavista
Julio 2014 – Mayo 2015**



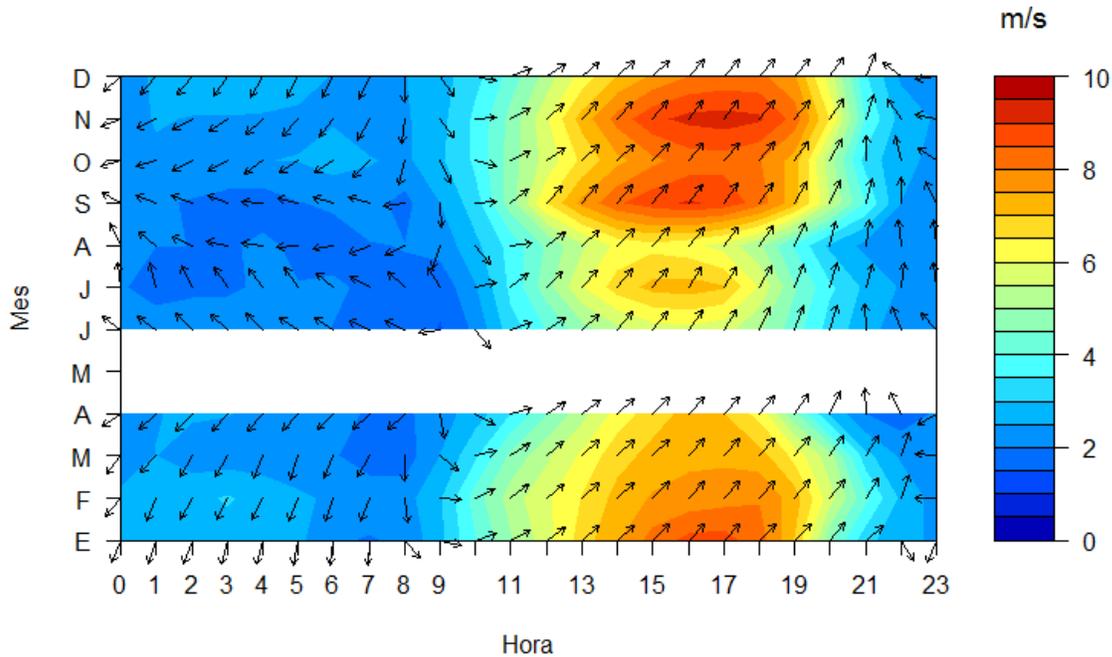
En la Figura 6-46 que muestra el ciclo estacional del viento observado en la estación Olivos de Bellavista, se ve una predominancia de la dirección Nor Oeste entre las 9:00 y las 19:00 horas, en tanto en las horas de la noche y la madrugada la dirección predominante en los meses de marzo a mayo y de junio a septiembre es la Sureste, apreciándose participación de diversas direcciones de octubre a febrero. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-47), se observa una predominancia de la dirección Oeste entre las 11:00 y las 19:00 horas, la que durante las horas nocturnas presenta direcciones predominantes Sur entre junio y septiembre y Oeste entre octubre y mayo.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento. Los valores máximos modelados se presentan en los meses de septiembre y noviembre, mientras que los máximos observados se presentan en noviembre, diciembre, enero y febrero.

**Figura 6-48: Ciclo estacional del viento observado en Estación Las Losas
Junio 2014 – Abril 2015**



**Figura 6-49: Ciclo estacional del viento modelado en Estación las Losas
Junio 2014 – Abril 2015**



En la Figura 6-48 que muestra el ciclo estacional del viento observado en la estación Las Losas, entre las 11:00 y las 19:00 el viento predominante se origina con una dirección Oeste con tendencia a Sur Oeste conforme pasan las horas. En tanto, durante las horas nocturnas y de la madrugada, de octubre a marzo predomina la dirección de origen Noreste, en tanto de junio a septiembre ésta tiene su origen en el Este. Mientras que para el ciclo estacional del viento modelado (Figura 6-49), se observa una predominancia de la dirección Sur Oeste entre las 11:00 y las 20:00 horas. Para las horas de la noche y de la madrugada, de octubre a abril los vientos se originan en el Noreste, en junio y julio provienen desde el Sureste, y en agosto y septiembre con dirección Este.

Además, se observa que el modelo sobrestima los valores de la velocidad del viento. Los valores máximos modelados se presentan en el mes de noviembre, mientras que los máximos observados se presentan en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, noviembre y diciembre.

6.1.4 Conclusiones de la Evaluación de los Modelos Meteorológicos

En el caso del modelo Punta Alcalde 2011, se observó que el modelo sobrestima levemente las velocidades del viento respecto de las observadas en la estación Punta Mariposa durante ese año. Se obtuvo un buen ajuste lineal, con un coeficiente de correlación de 0,9817 para las velocidades del

viento. Respecto de las direcciones del viento en ambos casos (modelado y observado) se obtuvo una predominancia del viento proveniente del Sur Oeste durante las horas de la tarde.

Por su parte, en el caso del modelo CAP Minería 2012, se observó que el modelo sobrestima las velocidades del viento respecto de las observadas, especialmente las medidas en la estación EME ME. Esta sobrestimación es mayor que la del modelo Punta Alcalde 2011. En este caso, también hubo buen ajuste lineal de las velocidades del viento, con coeficientes de correlación de 0,9927 para la estación EME ME y de 0,9942 para la estación Punta Mariposa. Respecto de las direcciones del viento, se obtuvo una predominancia del viento proveniente de la dirección Sur Oeste con tendencia a la dirección Sur Sur Oeste en horas de la tarde para el caso modelado, mientras que lo observado en la estación Punta Mariposa indica una dirección predominante Sur Oeste pero con origen en una dirección Oeste.

Respecto al modelo CAP Minería de Junio 2014 a Mayo de 2015, se observa que el modelo sobrestima las velocidades del viento respecto a las observadas, especialmente las medidas en la estación Las Losas en relación a las estaciones analizadas. En cuanto al coeficiente de correlación, existe un buen ajuste lineal en los ciclos diarios de las velocidades del viento, presentando valores desde 0,9166 (Las Losas) hasta 0,9946 (Población Huasco II). En relación a las direcciones predominantes del viento para cada estación hay una coincidencia significativa entre los casos observados y modelados.

6.2. Modelo de Calidad del Aire

6.2.1 Justificación del Modelo

Según lo establecido por la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, la selección del modelo de Calidad del Aire utilizado en el presente estudio se realizó debido a la topografía compleja del área donde se emplaza el Proyecto.

6.2.2 Descripción del Modelo

La simulación del aporte a las concentraciones de material particulado se realizará mediante la utilización del modelo de dispersión CALPUFF, modelo recomendado por la United States EPA para la evaluación de dispersión de contaminantes desde fuentes continuas.

CALPUFF es un sistema de modelación avanzado para calidad del aire que considera además meteorología de estado no estacionario. Su desarrollo estuvo a cargo del Sigma Research Corporation mientras que su actual mantenimiento está asociado al Atmospheric Studies Group de

TRC Solutions¹⁹. Debido a su desempeño, CALPUFF fue adoptado por la USEPA como modelo recomendado²⁰ para la evaluación del impacto en la calidad del aire de proyectos, especialmente para aquellos casos donde es necesario considerar la variación en el tiempo y en el espacio de condiciones meteorológicas y su incidencia en el transporte, transformación y remoción de contaminantes.

El sistema de modelación está compuesto por los siguientes componentes principales:

- CALMET: es un modelo meteorológico que genera campos de viento tridimensionales horarios, en base a registros superficiales y del perfil de altura. Además, las salidas de este modelo entregan información en el dominio de la modelación sobre alturas de mezcla, características superficiales y propiedades de dispersión.
- CALPUFF: corresponde a un modelo Lagrangiano-Gaussiano de transporte y dispersión de soplos o “puff” emitidos por las fuentes consideradas por el proyecto. De esta forma, a partir de la información de emisiones y meteorología proporcionada, el programa simula el proceso de dispersión y transformación de los contaminantes, en un rango de validez desde metros hasta cientos de kilómetros.
- CALPOST: es un programa de post-procesamiento para los resultados obtenidos de la modelación de CALPUFF, el cual permite calcular las concentraciones en los receptores según los promedios requeridos por cada norma. Además, es capaz de gestionar los datos de cada contaminante según el período de tiempo requerido, ordenando las máximas concentraciones obtenidas e identificando el momento en que cada una de éstas suceden (hora, día, mes y año).

Dentro de las capacidades del sistema de modelación se destacan los siguientes puntos:

- Permite modelar transporte de largo alcance (hasta 200 km).
- Simula procesos complejos como velocidades de vientos muy bajas, estancamiento, fumigación y recirculación.
- Es capaz de incorporar efectos debidos a la proximidad al borde costero o a causa de topografía compleja.
- Modela contaminantes de forma simultánea fuentes de diverso tipo y que modifican su nivel de actividad a lo largo del tiempo.

¹⁹ www.src.com/calpuff/calpuff1.htm

²⁰ Los modelos de dispersión y calidad del aire recomendados por USEPA, así como su campo de aplicación, están contenidos en el Appendix W del 40 CFR Part 51 “Directrices para Modelos de Calidad del Aire” (http://www.epa.gov/scram001/guidance_permit.htm#appw).

- Permite diferenciar entre contaminantes inertes y aquellos que experimentan transformaciones de primer orden.

6.2.3 Receptores Discretos

Se han considerado los siguientes receptores discretos, presentados según su ubicación de Oeste a Este a continuación.

Tabla 6–13: Receptores Discretos considerados en la Modelación

Receptor	Coordenadas UTM WGS 84	
	Este (m)	Norte (m)
Playa Brava	278,526	6,845,032
EME ME	279,022	6,849,210
SM1	279,365	6,845,291
Las Losas	280,159	6,848,379
Población Huasco II	281,653	6,849,248
Población 21 de Mayo	281,957	6,848,902
EME F	282,486	6,849,125
Huasco SIVICA	282,686	6,848,726
EME M	282,773	6,848,696
Huasco Bajo	285,188	6,849,546
Olivos de Bellavista	285,923	6,848,809
SM4	287,840	6,847,570
SM8	296,288	6,844,809

6.2.4 Descripción de Escenarios de Modelación y Emisiones

Para obtener el aporte en la calidad del aire de las distintas fuentes emisoras en la localidad de Huasco, se ha considerado el escenario de modelación el que cuenta con las siguientes fuentes:

- Planta de Pellets:
 - Fuentes puntuales: Real 2013 a plena capacidad
 - Fuentes areales: Real 2013
- Guacolda
 - Fuentes puntuales: Real 2013 a máxima generación
 - Fuentes areales: Sin retrofit corregido
- Puerto Las Losas
- Tránsito vehicular en radio urbano de Huasco

Adicionalmente se han considerado las emisiones de SOx y NOx para obtener las concentraciones de material particulado secundario, las que fueron descritas en la Tabla 5–7.

Tabla 6–14: Emisiones de Planta Pellets para escenario considerado

Fuente	Emisión MP10 (t/año)
	Real 2013
Chimenea 2A con PPE	24,7
Chimenea 2B con Scrubber	251,2
Chimenea nueva	-
Enfriador	9,2
Caldera partidas	3,8
Rotoclón 1	1,4
Rotoclón 2	0,7
Planta de Cal	0,24
Granalladora	0,5
Bomba de vacío	0,4
Total Fuentes Puntuales	292,1
Zona de canchas	251,6
Zona de procesos	73,6
Pila 16 (carbón)	1,3
Pilas 12 y 13	48,0
Chancado	27,2
Correas 11, 12 y 19	1,0
Caminos internos	37,1
Total Fuentes Areales	439,8
TOTAL	731,9

Tabla 6–15: Emisiones de Central Guacolda para escenario considerado

Fuente	Emisión MP10 (t/año)
	Mediciones continuas 2013 (a) + Fuentes Areales según Escenario Sin Retrofit del Modelo Adenda 1 DIA (b)
U1-2	142,4
U3	109,5
U4	43,8
U5	-

Fuente	Emisión MP10 (t/año)
	Mediciones continuas 2013 (a) + Fuentes Areales según Escenario Sin Retrofit del Modelo Adenda 1 DIA (b)
Total Fuentes Puntuales	295,7
Depósito de cenizas	3,7
Área Planta	3,7
Cancha de carbón	0
Camino a Vallenar	11,0
Camino a depósito de cenizas	215,4
Total Fuentes Areales	237,3
TOTAL	1.062,2

(a) Emisiones en Tabla 4–19 en t/año.

(b) Emisiones de fuentes areales según Escenario Sin Retrofit de Modelo Adenda 1 de DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”. Emisiones en Tabla 4–19.

En el escenario considerado se incluye las emisiones correspondientes a la operación actual del Puerto Las Losas. Se han considerado las emisiones provenientes del sector de acopio de minerales (Tabla 4–29 y Tabla 4–30), que constituye la principal fuente existente del Puerto Las Losas, de acuerdo a lo declarado en la DIA “Puerto Las Losas” (RCA N° 226/2006).

Tabla 6–16: Emisiones de Puerto Las Losas para todos los Escenarios de Modelación

Fuente	Emisión MP10 (t/año)
Sector de acopio de minerales	0,269

Fuente: Elaborado a partir de RCA N° 226/2006, que aprueba DIA Puerto Las Losas.

Respecto al tránsito vehicular en el radio urbano de Huasco, se consideran las emisiones de la resuspensión del tránsito presentadas en la sección 4.6.2.

6.2.5 Resultados de Modelación

A continuación se presentan los resultados de las modelaciones de los escenarios descritos en el punto anterior con meteorología WRF del año 2014-2015. Se presentan los resultados en el receptor ubicado en la estación monitorea Población Huasco II, perteneciente a la Red PLL-CAP Huasco (ubicación en Figura 2-3).

Tabla 6–17: Resultados de Modelación de MP10 (P98 24h) para el escenario considerado

Escenario	MP10 P98 24h								
	Planta de Pellets	Central Guacolda	Puerto Las Losas	Tránsito urbano Huasco	Suma de Fuentes	Background (*)	MP secundario	Total = Suma de Fuentes + Background + MP secundario	Línea de Base Medida 2014
Real 2013	15,5	3,2	0,0	25,6	44,3	50,0	21,0	115,3	118,8

(*) El nivel de background se determinó a partir de la información entregada en la sección 2.1.

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, se observa que el resultado final (115,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) es similar al valor medido el año 2014 (118,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como percentil 98 de 24 horas). Además, en lo que al aporte de MP primario se refiere, se observa que la Planta de Pellets aporta en un 13% a la concentración en Población Huasco II, mientras que el aporte de Guacolda es de un 3%, el tránsito urbano en Huasco es de un 22%, el background corresponde a un 42% y el aporte de Puerto Las Losas es irrelevante. En paralelo, el aporte de MP secundario, alcanza un 18% entre todas las fuentes.

Tabla 6–18: Resultados de Modelación de MP10 (Promedio Anual) para el escenario considerado

Escenario	MP10 Anual								
	Planta de Pellets	Central Guacolda	Puerto Las Losas	Tránsito urbano Huasco	Suma de Fuentes	Background (*)	MP secundario	Total = Suma de Fuentes + Background + MP secundario	Línea de Base Medida 2012-2014
Real 2013	5,2	1,1	0,0	6,7	13,0	24,0	5,6	42,6	39,3

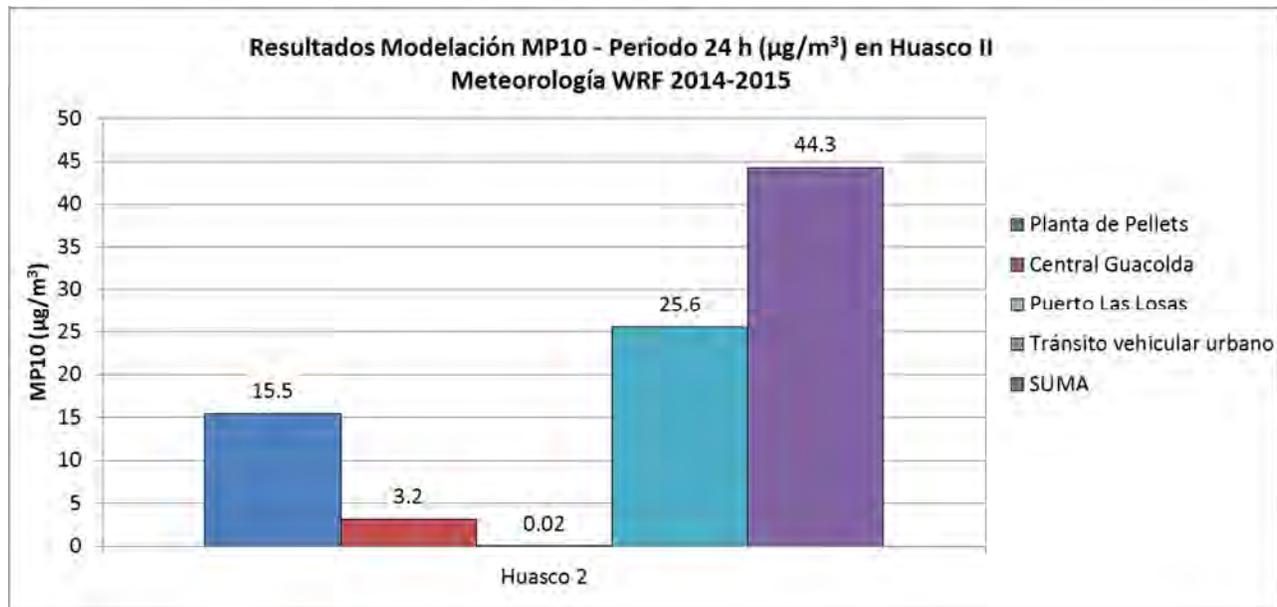
(*) El nivel de background se determinó a partir de la información entregada en la sección 2.1.

Respecto de los resultados de MP10 como promedio anual, de acuerdo a la tabla anterior, para el escenario considerado se observa que el resultado final (42,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) es similar al valor medido en el periodo 2012-2014 (39,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual). Además, en lo que al aporte de MP primario se refiere, se observa que la Planta de Pellets aporta en un 12% a la concentración en Población Huasco II, mientras que el aporte de Guacolda es de un 3%, el tránsito urbano en Huasco es de un 16%, el background corresponde a un 61% y el aporte de Puerto Las Losas es irrelevante. En paralelo, el aporte de MP secundario, alcanza un 13% entre todas las fuentes.

Para el MP10 anual se observa que el background juega un papel más importante en la concentración anual que para el MP10 diario. Se observa también que el tránsito vehicular urbano tiene un aporte significativo dado la proximidad de la estación Población Huasco II respecto a las vías consideradas. En el caso de los actores industriales, tanto en la concentración anual como en la diaria, el aporte de Planta de Pellets es mayor que el de Guacolda, siendo ambos de importancia.

En la Figura 6-14 y Figura 6-16 se puede observar gráficamente los aportes de cada fuente principal en Población Huasco II, mientras que en la Figura 6-15 y Figura 6-17 se presentan los resultados desagregados para las fuentes de cada fuente principal.

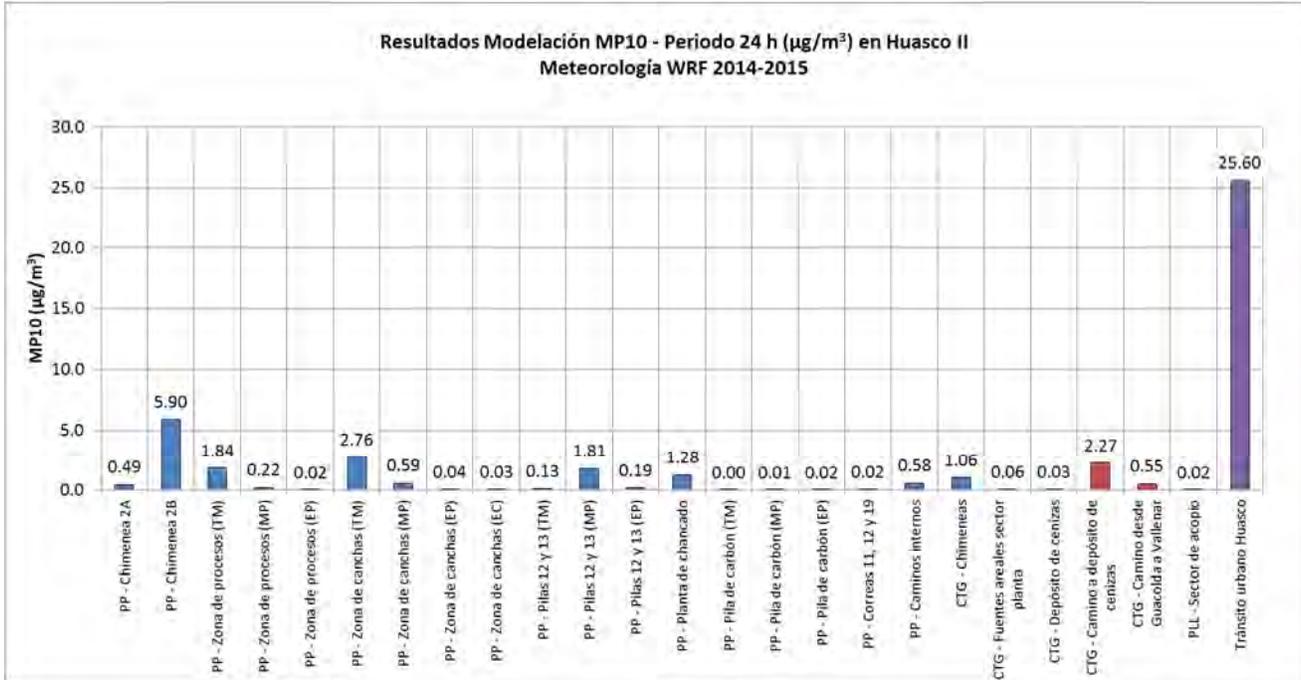
Figura 6-50: Resultados de Modelación de MP10 (P98 24h). Fuentes Principales. Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015



(*) El escenario considera las fuentes con las siguientes características:

- Planta de Pellets con emisiones de fuentes puntuales según mediciones isocinéticas SERPRAM 2014 y emisiones de fuentes areales de acuerdo a estimación de emisiones actualizada según nivel de actividad del año 2013.
- Central Guacolda con emisiones de fuentes puntuales según mediciones continuas del año 2013 y emisiones de fuentes areales según Escenario Sin Retrofit de Modelo Adenda 1 de DIA “Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas”.
- Puerto Las Losas en escenario actual de acuerdo a DIA “Puerto Las Losas”.

Figura 6-51: Resultados de Modelación de MP10 (P98 24h). Fuentes desagregadas. Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015

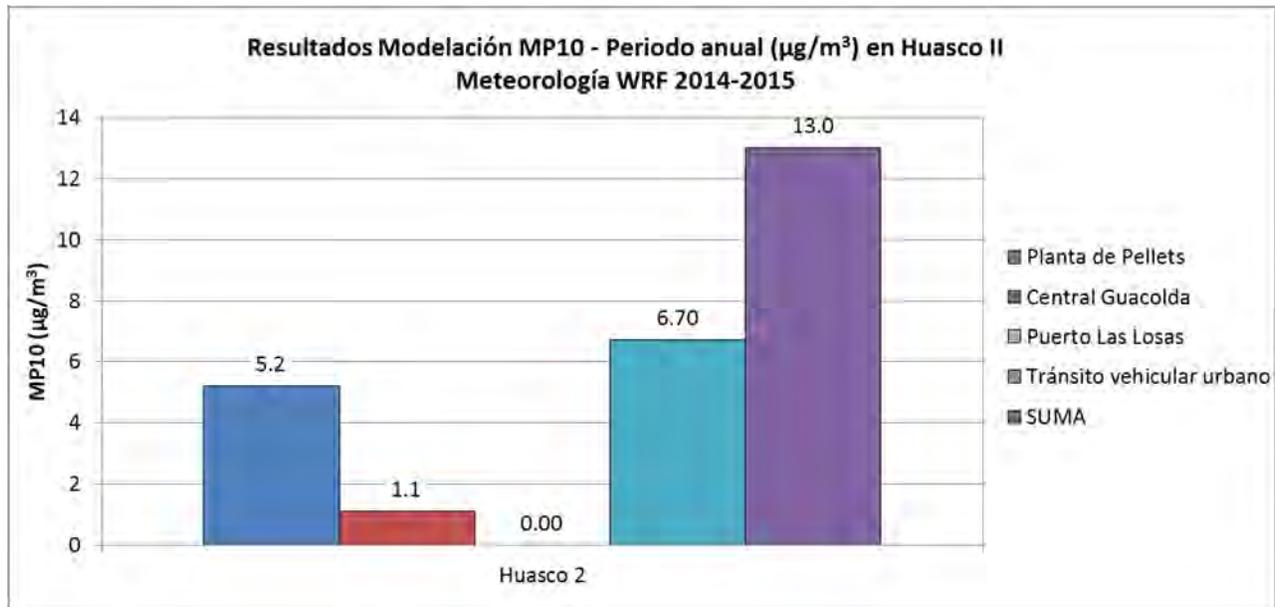


(*) El escenario considera las fuentes con las siguientes características:

- Planta de Pellets con emisiones de fuentes puntuales según mediciones isocinéticas SERPRAM 2014 y emisiones de fuentes areales de acuerdo a estimación de emisiones actualizada según nivel de actividad del año 2013.
- Central Guacolda con emisiones de fuentes puntuales según mediciones continuas del año 2013 y emisiones de fuentes areales según Escenario Sin Retrofit de Modelo Adenda 1 de DIA "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas".
- Puerto Las Losas en escenario actual de acuerdo a DIA "Puerto Las Losas".

De la figura anterior se desprende que luego del tránsito vehicular urbano en Huasco, las principales fuentes emisoras de material particulado que afectan la calidad del aire en Población Huasco II son el depósito de cenizas de Guacolda y el camino que va hacia él, las zonas de canchas y proceso de Planta de Pellets y la chimenea 2B.

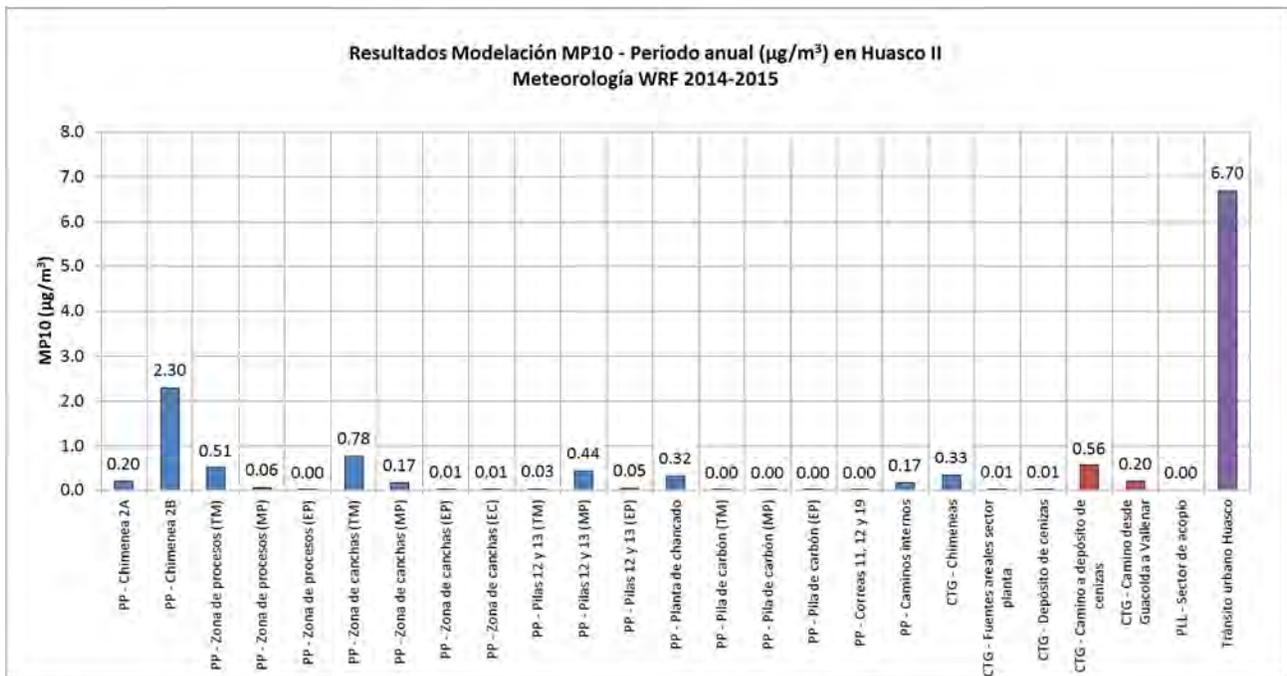
Figura 6-52: Resultados de Modelación de MP10 (Promedio Anual). Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015



(*) El escenario considera las fuentes con las siguientes características:

- Planta de Pellets con emisiones de fuentes puntuales según mediciones isocinéticas SERPRAM 2014 y emisiones de fuentes areales de acuerdo a estimación de emisiones actualizada según nivel de actividad del año 2013.
- Central Guacolda con emisiones de fuentes puntuales según mediciones continuas del año 2013 y emisiones de fuentes areales según Escenario Sin Retrofit de Modelo Adenda 1 de DIA "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas".
- Puerto Las Losas en escenario actual de acuerdo a DIA "Puerto Las Losas".

Figura 6-53: Resultados de Modelación de MP10 (Promedio Anual). Fuentes industriales desagregadas. Escenario considerado (*) con meteorología WRF 2014-2015



(*) El escenario considera las fuentes con las siguientes características:

- Planta de Pellets con emisiones de fuentes puntuales según mediciones isocinéticas SERPRAM 2014 y emisiones de fuentes areales de acuerdo a estimación de emisiones actualizada según nivel de actividad del año 2013.
- Central Guacolda con emisiones de fuentes puntuales según mediciones continuas del año 2013 y emisiones de fuentes areales según Escenario Sin Retrofit de Modelo Adenda 1 de DIA "Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas".
- Puerto Las Losas en escenario actual de acuerdo a DIA "Puerto Las Losas".

De la misma forma que para el MP10 diario, para el caso anual, de acuerdo a la figura anterior, las principales fuentes emisoras de material particulado que afectan la calidad del aire en Población Huasco II después de las aportadas por el tránsito vehicular urbano, son el depósito de cenizas de Guacolda y el camino que va hacia él, las zonas de canchas y proceso de Planta de Pellets y la chimenea 2B.

7. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

A lo largo del presente documento, CAP Minería, a través del informe preparado por Gestión Ambiental Consultores, presenta una completa recopilación de antecedentes tanto propios como de terceros que permiten dar cuenta de la situación actual de la calidad del aire en la localidad de Huasco.

Concordantemente con los antecedentes oficiales, la localidad de Huasco y su zona circundante presentan actualmente una concentración de material particulado respirable (MP10) que excede el 80% del nivel de la norma en la estación que presenta la mayor concentración (EME-F, ubicada en el cuartel de bomberos de Huasco). Sin perjuicio de ello, al comparar la concentración entre las distintas estaciones de Huasco, resalta la significativa diferencia entre las mismas no obstante su cercanía geográfica, esto lleva a pensar que cada estación puede estar influenciada por actividades emisoras en su entorno inmediato, las que no son percibidas en las restantes estaciones, trayendo como consecuencia que las distintas estaciones no sean directamente comparables entre sí. En este sentido, se torna imprescindible efectuar una completa auditoría a la red.

Lo anteriormente señalado se puede observar al analizar la ubicación de las estaciones con respecto a la actividad urbana propia de Huasco (fuentes puntuales locales, tránsito vehicular). Mientras que la estación EME-F se ubica en la zona céntrica de la ciudad, donde ocurre el mayor movimiento, las estaciones Pob. Huasco II y EME-M se ubican en zonas con menor movimiento lo que podría explicar la diferencia entre sus concentraciones. Esto se infiere al revisar los resultados de la modelación efectuada, en los cuales el tránsito vehicular tiene una participación no despreciable²¹.

Con respecto a la concentración de MP2,5, las diferencias entre estaciones son llamativas. Mientras que la estación Población Huasco II, administrada por CAP Minería, da cuenta de valores en torno al 80% de la norma, la estación de la red SIVICA administrada por el Ministerio de Medio Ambiente da cuenta de valores en torno al 60% de la norma. Considerando el tipo de fuentes emisoras en Huasco, es razonable pensar que la fracción MP2,5/MP10 se encuentre al menos en torno a un 40%²² por lo que los valores que registra la estación SIVICA pudiesen estar subestimados.

A objeto de conocer la concentración natural o background, considerando la actividad industrial y urbana de la localidad de Huasco no resultó posible obtener un valor empírico representativo en el

²¹ Si bien el modelo CALPUFF no es el ideal para estudiar fuentes móviles en ruta ni tampoco reproduce adecuadamente los aportes de actividades que se ubican adyacente a los receptores, sí entrega un indicio de que las actividades de transporte en Huasco urbano no son despreciables desde el punto de vista de su aporte a la concentración de MP10.

²² Al respecto, la tabla 2-1 del documento de AGIES de la norma de calidad primaria de MP2,5 indica para ciudades como Concepción una relación en torno al 49% y para el Gran Valparaíso una relación en torno al 42%, valores que sustentan la fracción propuesta.

área. Es por esto que se revisó la información bibliográfica disponible en sectores con escasa o nula actividad antrópica en la zona costera del norte chico, concluyendo de la revisión que la concentración natural de MP10 se encuentra en torno a los $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la de MP2,5 se encuentra en torno a los $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo anterior, como se muestra en el capítulo 6, es consistente con los esfuerzos de estimación y modelación de emisiones toda vez que se reproduce razonablemente la concentración medida al considerar una concentración natural de este orden.

Si bien la zona de Huasco cuenta con al menos 10 años de información con respecto a la concentración de MP10, la información con respecto a la composición química de este último resultaba ser muy acotada. Uno de los objetivos del presente estudio fue despejar esta incertidumbre, razón por la cual se caracterizaron muestras de MP10 y MP2,5 durante 8 meses. En el caso particular de la estación Población Huasco II, ubicada en la zona urbana de Huasco, se observa, en invierno, una marcada influencia de vientos provenientes desde el valle, con una velocidad baja que dificulta una adecuada dispersión. La similitud en las concentraciones de hierro entre invierno, con fuerte presencia de vientos desde el valle, y primavera, con vientos ya más marcados desde el suroeste sugiere que las fuentes emisoras de este metal son diversas (industrias, erosión del suelo en menor medida), pero principalmente que el aporte de las fuentes emisoras no es uniforme y presenta marcados máximos puntuales asociados a variables meteorológicas. De otra manera no se explica cómo pueden alcanzarse concentraciones similares ante patrones de velocidad y dirección de viento tan disímiles. Es destacable, siempre en el caso del hierro, que en el verano, con vientos predominantes desde el suroeste, las concentraciones sean más bajas, lo cual obedece principalmente a las mejores condiciones de dispersión.

Similar patrón al previamente descrito para el hierro se presenta en el caso del vanadio y el manganeso. Es igualmente destacable la baja concentración del ya mencionado vanadio, además de los restantes metales pesados criterio para análisis de riesgo a la salud como el arsénico, cromo, níquel, plomo, mercurio y cadmio. En efecto, la concentración de metales pesados se encuentra por debajo de los umbrales de referencia de la OMS, Unión Europea o USEPA.

A partir de lo anteriormente expuesto, resalta entonces el hecho que la estación Población Huasco II y, por lo tanto, la localidad de Huasco, presenta una influencia de vientos desde el interior, no despreciable en invierno, periodo que coincide con las máximas concentraciones registradas. Estos vientos, más que aportar gran cantidad de material particulado, vienen a dificultar la dispersión de este último en Huasco dada su baja velocidad.

El estudio desarrollado consideró igualmente el monitoreo de gases normados en el país. Sin perjuicio que el parque emisor de óxidos de nitrógeno y en mayor medida SO_2 es significativo en la zona, las concentraciones ambiente de estos gases son bajas, verificándose el cumplimiento holgado de las normas primarias vigentes en el país. Sin perjuicio de ello, y gracias también al estudio de trayectorias efectuado con tecnología LIDAR, en horas puntuales la influencia del penacho de la CT Guacolda se haría sentir en las concentraciones de SO_2 en Huasco, aunque siempre en niveles muy bajos.

Por otra parte, una arista importante del trabajo desarrollado dice relación con el estudio de las fuentes emisoras en la zona, con énfasis en las propias, pero sin descuidar las fuentes de terceros. De forma análoga a lo desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente a través de DICTUC, el análisis se centró en la situación real en cuanto a los niveles de actividad. Dentro de las fuentes emisoras es sabido que destacan por su magnitud las actividades de Planta de Pellets y Central Termoeléctrica Guacolda, en las cuales la revisión de información no se limitó solo a material particulado, toda vez que los gases emitidos pueden ser precursores de material particulado secundario, que igualmente podría afectar la localidad de Huasco y alrededores. En el caso de la CT Guacolda, sus emisiones corresponden principalmente a gases, en particular SO_2 y NO_x , y en menor medida a material particulado, destacando el hecho que, fruto de la ejecución de un retrofit en las unidades existentes, se espera una reducción en las emisiones una vez esté implementado. Asimismo, destaca el hecho que los sistemas de control, según indican los datos, operarían con una eficiencia mayor a la originalmente prevista lo que sitúa las emisiones reales muy por debajo de las aprobadas aun cuando el nivel de operación no sea un 100%.

También en Huasco existen fuentes industriales menores como el Puerto Las Losas, cuyo nivel de actividad en el último lustro ha sido muy escaso y la central térmica Huasco, propiedad de Endesa, que ha operado de forma aleatoria, aunque igualmente en baja cantidad. Es relevante el caso de esta última central. Debido a que su operación es programada por el CDEC-SIC y opera principalmente como respaldo en el sistema, existe la posibilidad de que, por ejemplo, sea demandada en el periodo junio-agosto, coincidente con el de condiciones meteorológicas más desfavorables para la dispersión, escenario que a la fecha parece no haber sido previsto. Se revisaron igualmente las emisiones de la CT Punta Alcalde, sin embargo, dado que aún no está en operación y existe incertidumbre con respecto a la ejecución del proyecto, no se ahondó en el análisis.

Siempre con respecto a las fuentes emisoras en Huasco, se estudiaron también aquellas fuentes calificadas como “menores” en comparación a las áreas industriales de Planta de Pellets y CT Guacolda. Panaderías, supermercados y Hospital no resultan ser fuentes emisoras relevantes, sin embargo, el tránsito vehicular dentro del radio urbano de Huasco merece mayor análisis. Si bien determinar las emisiones reales es complejo debido a la dificultad para precisar el nivel de actividad, tanto las estimaciones del DICTUC como las del presente estudio sugieren emisiones relevantes habida cuenta que tienen lugar en el entorno inmediato de las estaciones de monitoreo. La estación de monitoreo EME-F, que es la que presenta sostenidamente las mayores concentraciones, se encuentra en pleno centro de la localidad de Huasco (cuartel de bomberos) y podría verse influenciada por el tránsito vehicular con mayor preponderancia que la estación Población Huasco II, ubicada en la periferia, y la estación EME-M, ubicada en un sector netamente residencial. Esta percepción es coincidente con los resultados de la modelación de calidad del aire efectuada.

Por otra parte, se hizo un esfuerzo por estimar las emisiones producto del flujo ferroviario, siendo estas bajas en comparación a las áreas industriales, aun cuando podrían resultar molestas debido a la sedimentación del mineral de hierro.

En lo que se refiere a la Planta de Pellets, los esfuerzos se dividieron en dos aspectos: fuentes puntuales, representadas por chimeneas, y fuentes areales, en particular canchas de acopio y traspasos de mineral. En cuanto a las fuentes puntuales, destacan las chimeneas 2A y 2B, ambas de la línea de endurecimiento y en menor medida una caldera utilizada para detenciones y partidas de planta, siendo las restantes insignificantes. Ambas chimeneas evacuan emisiones dentro de lo autorizado, reflejando actualmente su cuantía el menor nivel de actividad en la línea de endurecimiento.

Con respecto a las fuentes areales, para su estudio se consideró un trabajo de campo consistente en la determinación del contenido de finos y la humedad de los materiales de acuerdo a la metodología propuesta por la USEPA, siendo los materiales más relevantes el preconcentrado y el pellet feed. El manejo del pellet producto, en tanto, no resulta relevante debido a que no obstante el material carece de humedad, prácticamente no tiene finos. Junto con lo anterior, destaca el hecho que el carbón, combustible de la línea de endurecimiento, presenta una humedad tal que minimiza las emisiones producto de su acopio.

Conocidas las emisiones, se efectuaron dos estudios complementarios para comprender su impacto en la calidad del aire de Huasco. Por una parte se analizaron de forma cualitativa mediante la operación de un equipó provisto con la tecnología LIDAR, y por otra fueron analizadas mediante un modelo meteorológico y de calidad del aire. La tecnología LIDAR es tal que permite identificar trayectorias de las emisiones así como también puntos de emisión, obteniéndose como conclusión en este caso que además de las fuentes habitualmente realizadas en la zona destaca el camino que conduce al vertedero de cenizas de Guacolda y Playa Brava como fuente.

La última actividad, como se mencionó previamente, correspondió a la modelación de calidad del aire. Para ello, se desarrolló en primer lugar un modelo meteorológico que fue contrastado con el registro de variables meteorológicas en una vasta red desplegada exclusivamente para este estudio. Con la meteorología, a través del modelo CALPUFF y considerando las emisiones reales del año 2013, se buscó identificar la participación de las distintas fuentes emisoras en la concentración de material particulado en Huasco, destacando además la posibilidad de realizar una estimación de la concentración de material particulado secundario a partir de las emisiones conocidas de gases precursores, la concentración de ozono en el ambiente y una estimación de la concentración de amoniaco en el ambiente, siempre a través del modelo CALPUFF. Los resultados de la modelación resultaron ser reveladores toda vez que si bien Planta de Pellets se erige como la principal fuente de material particulado primario, el tránsito vehicular al interior de Huasco y en particular el material particulado secundario aparecen con una participación no despreciable en la concentración medida.

Sin perjuicio de lo previamente señalado con respecto a la idoneidad del modelo utilizado para el análisis de fuentes ubicadas adyacentes a las estaciones de monitoreo, los resultados permiten concluir que resulta imperativo efectuar un estudio más detallado de las fuente móviles urbanas. Asimismo, entregan una alerta con respecto al material particulado secundario, cuyo origen a la fecha no ha sido estudiado por el estado en circunstancias que podría ser relevante dada la emisión de gases en la zona.

Con todo, el estudio aquí presentado, lejos de desafiar la información pública disponible a la fecha, busca complementarla a fin de que el proceso que concluirá con la aplicación de medidas orientadas a mejorar la calidad del aire en Huasco considere todas las posibles fuentes y prevea escenarios donde fuentes que hoy no son relevantes pudiesen afectar puntual, pero significativamente la concentración promedio anual en un año calendario, impactando de este modo las metas de las medidas a implementar.