



Informe Número

1510678

Original



**EVALUACIÓN COSTO MEDIDAS EFECTIVAS PARA DISEÑAR UN
INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA ZONA INTERIOR DE LA
REGIÓN DE VALPARAÍSO
ID Licitación: 608897-49-LE18**

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

INFORME FINAL

Santiago, 4 de Junio de 2019

Título del Proyecto

Evaluación costo medidas efectivas para diseñar un instrumento de gestión ambiental en la zona interior de la región de Valparaíso

Autores:

Jefe de proyecto: Luis Cifuentes

Experto: Héctor Jorquera

Ingeniero de proyecto: José Miguel Valdés, Pablo Busch

Dictuc S.A.

Vicuña Mackenna N° 4860, Macul – Santiago

Datos Mandante

Razón Social: Seremi del Medio Ambiente

RUT : 61,979,930-5

Dirección: Avenida Argentina 1, Oficinas 201-202.
Valparaíso

Datos Cliente (si es distinto al Mandante)

Razón Social:

RUT :

Resumen

Análisis técnico y económico para implementar un instrumento de gestión ambiental de la calidad del aire en la zona interior de la región de Valparaíso.

Cuerpo del informe

330 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

04/06/2019

Información Contractual

Correlativo Contrato: 2393

OC N°: 608897-526-SE18

Contraparte técnica

Nombre: Siomara Gómez

Cargo: Profesional MMA

E-mail: Siomara.Gomez@mma.gob.cl

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

Dictuc S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.

Equipo de Trabajo

Luis Abdón Cifuentes Lira, Ingeniero Civil Estructural
Ph.D. en Ingeniería y Políticas Públicas
lac@ing.puc.cl

Héctor Jorquera, Ingeniero Civil Químico
Ph.D. en Ingeniería Química
jorquera@ing.puc.cl

Pablo Busch Hopfenblatt, Ingeniero Civil Industrial
Especialidad Ambiental
pmbusch@uc.cl

José Miguel Valdés, Ingeniero Civil Industrial
Especialidad Eléctrica
jmvaldes@uc.cl

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	I
Lista de Tablas.....	VI
Lista de Figuras.....	X
Acrónimos y Abreviaturas.....	XVI
1. Antecedentes.....	1
2. Objetivos del estudio	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. Antecedentes de la zona	5
3.1 Línea base de la calidad del aire en la región de Valparaíso. MMA-2017	5
3.2 Implementación de un Modelo Fotoquímico de alta resolución para la Macrozona Central del País – UNTEC, 2008	9
3.3 Fuentes de aporte al MP10 en Chile Central	16
3.4 Inventario de Emisiones Regional	18
4. Análisis de la Calidad el Aire	22
4.1 Descripción de estaciones y variables medidas.....	22
4.2 Concentración promedio anual.....	25
4.3 Concentración promedio diaria	26
4.4 Serie temporal de concentración de material particulado y precursores.....	27
4.4.1 Análisis Red Chagres	27
4.4.2 Análisis Red San Isidro	29
4.4.3 Análisis Red Melón.....	33
4.4.4 Análisis Red Las Vegas	35
4.5 Análisis temporal de la concentración de material particulado y precursores	39
4.5.1 Análisis Red Chagres	40
4.5.2 Análisis Red San Isidro	42
4.5.3 Análisis Red Melón.....	47
4.5.4 Análisis Red Las Vegas	49
4.6 Análisis de concentración de Material Particulado y Dióxido de Azufre por dirección y velocidad de viento.....	51

4.6.1	<i>Red Fundición Chagres, estación Lo Campo.</i>	55
4.6.2	<i>Red Cementos Melón, estación Calera.</i>	58
4.6.3	<i>Red San Isidro, estación Bomberos.</i>	60
4.6.4	<i>Red Las Vegas, estación Los Vientos.</i>	63
5.	Análisis meteorológico	66
5.1	Análisis de masas de aire y flujos de viento	67
5.1.1	<i>Sistemas Frontales</i>	68
5.1.2	<i>Masas de aire frío</i>	68
5.1.3	<i>Vaguada Costera</i>	70
5.1.4	<i>Flujo día/noche bajo condiciones normales/dorsal</i>	75
5.1.5	<i>Tormentas Eléctricas</i>	78
5.1.6	<i>Formación Nube de Tormenta</i>	79
5.2	Análisis de trayectorias del viento	81
5.2.1	<i>Trayectorias del viento en Catemu</i>	82
5.2.2	<i>Trayectorias del viento en La Calera</i>	85
5.2.3	<i>Trayectorias del viento en Llaillay</i>	87
5.2.4	<i>Trayectorias del viento en Quillota</i>	90
5.3	Análisis de altura de mezcla	92
6.	Inventario de Emisiones	96
6.1	Identificación de fuentes emisoras	96
6.1.1	<i>Grandes fuentes identificadas</i>	98
6.2	Método de estimación emisiones	106
6.3	Fuentes estacionarias puntuales	108
6.3.1	<i>Consumo combustible industrial</i>	108
6.3.2	<i>Turbinas</i>	111
6.3.3	<i>Grandes Fuentes</i>	112
6.4	Fuentes estacionarias areales	119
6.4.1	<i>Consumo de leña residencial y otros combustibles</i>	119
6.4.2	<i>Incendios forestales</i>	121
6.4.3	<i>Quemas agrícolas y Forestales</i>	122
6.4.4	<i>Incendios Urbanos</i>	124

6.4.5	<i>Rellenos sanitarios</i>	125
6.4.6	<i>Fertilizantes</i>	126
6.4.7	<i>Pesticidas</i>	127
6.5	Fuentes fugitivas	129
6.5.1	<i>Preparación de Terrenos</i>	129
6.5.2	<i>Construcción de edificios</i>	130
6.5.3	<i>Áridos</i>	131
6.6	Fuentes móviles.....	132
6.6.1	<i>En ruta</i>	132
6.6.2	<i>Fuera de ruta</i>	135
6.7	Ubicación geográfica fuentes emisoras	140
6.8	Resultados Inventario	142
6.8.1	<i>Resultados por Comuna</i>	146
6.8.2	<i>Resultados para el Modelo de Dispersión</i>	156
6.8.3	<i>Resultados Fuentes Puntuales</i>	156
6.8.4	<i>Resultados Fuentes Residencial</i>	158
6.8.5	<i>Resultados Fuentes Móviles</i>	160
6.8.6	<i>Resultados Otras Fuentes</i>	161
7.	Modelación de la Calidad del Aire	163
7.1	Georreferenciación de Inventario de Emisiones.....	163
7.2	Modelación de calidad del aire	168
7.2.1	<i>Resultados para el MP10</i>	169
7.2.2	<i>Resultados para el MP2.5</i>	183
7.3	Propuesta Zona Saturada	191
7.4	Relación Emisión-Calidad del Aire.....	193
7.4.1	<i>Relación Emisión-Calidad del Aire para el MP10</i>	195
7.4.2	<i>Relación Emisión-Calidad del Aire para el MP2.5</i>	196
8.	Medidas de reducción de emisiones	197
8.1	Medidas de reducción disponibles.....	197
8.1.1	<i>Fuentes de información</i>	197
8.1.2	<i>Evaluación de medidas</i>	198

8.1.3	<i>Resumen Costo Eficiencia Medidas evaluadas</i>	222
8.1.4	<i>Costos de fiscalización</i>	230
8.2	Estrategias para la gestión de calidad del aire	231
8.2.1	<i>Instrumento de Compensación de Emisiones</i>	231
8.2.2	<i>Buenas prácticas para el control de polvo resuspendido</i>	233
8.3	Estimación de beneficios	235
8.3.1	<i>Identificación de Impactos</i>	235
8.3.2	<i>Cuantificación de impactos</i>	235
8.3.3	<i>Valorización</i>	237
8.4	Priorización de medidas y cronograma de acción propuesto	239
9.	Conclusiones	241
10.	Bibliografía	250
11.	Anexos	253
11.1	Revisión Antecedentes	253
11.1.1	<i>Implementación de un Modelo Fotoquímico de alta resolución para la Macrozona Central del País – UNTEC, 2008</i>	253
11.2	Estructura Inventario	258
11.3	Análisis de concentración de Material Particulado y Dióxido de Azufre por dirección y velocidad del viento para las demás estaciones	259
11.3.1	<i>Red Fundición Chagres, estación Santa Margarita</i>	259
11.3.2	<i>Red Fundición Chagres, estación Catemu</i>	261
11.3.3	<i>Red Fundición Chagres, estación Romeral</i>	264
11.3.4	<i>Red Fundición Chagres, estación Meteorológica</i>	266
11.3.5	<i>Red Cementos Melón, estación la Cruz</i>	267
11.3.6	<i>Red Cementos Melón, estación Rural</i>	269
11.3.7	<i>Red San Isidro, estación Nehuenco</i>	271
11.3.8	<i>Red San Isidro, estación San Pedro</i>	272
11.3.9	<i>Red San Isidro, estación La Palma</i>	275
11.3.10	<i>Red San Isidro, estación La Cruz</i>	278
11.3.11	<i>Red San Isidro, estación Manzanar</i>	281
11.4	Fichas-resumen de las medidas de reducción de emisiones	283
11.4.1	<i>Recambio de Equipos a Leña (salamandras)</i>	283

11.4.2	<i>Venta y Utilización de Leña Seca</i>	288
11.4.3	<i>Aislación térmica de viviendas existentes</i>	293
11.4.4	<i>Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)</i>	297
11.4.5	<i>Barredora de MP (aspiradora)</i>	302
11.4.6	<i>Prohibición de la biomasa en calderas industriales</i>	304
11.4.7	<i>Precipitador electrostático (Fundición Chagres)</i>	305
11.4.8	<i>Gestión de caminos en proyectos mineros</i>	307
11.4.9	<i>Barrera corta viento en extracción de áridos</i>	308
11.4.10	<i>Prohibición de quemas agrícolas y forestales</i>	309

Lista de Tablas

Tabla 3-1 Estaciones de monitoreo en las comunas de interés	6
Tabla 3-2 Concentraciones trianuales periodo 2015 - 2017.....	7
Tabla 3-3 Porcentaje respecto de la norma periodo 2015-2017.....	8
Tabla 3-4 Norma Secundaria SO ₂ (mg/m ³ N) periodo 2015-2017	9
Tabla 3-5 Contribución promedio al MP10 (ug/m ³) en Quillota y Linares	17
Tabla 4-1 Ubicación nominal y coordenadas geográficas de cada estación	24
Tabla 4-2 Contaminantes medidos por Estación	24
Tabla 4-3 Parámetros medidos por Estación.....	25
Tabla 4-4 Disponibilidad de filtros de MP10 [días/año]	25
Tabla 4-5 Promedio anual MP10 [ug/m ³ N]	26
Tabla 4-6 Percentil 98 de la concentración diaria de MP10 [ug/m ³ N].....	27
Tabla 4-7 Estaciones seleccionadas por Red.	54
Tabla 5-1 Porcentaje de frecuencia de trayectorias en cada conglomerado, caso de Catemu ...	83
Tabla 5-2 Porcentaje de frecuencia de trayectorias incluidas en cada conglomerado.....	85
Tabla 5-3 Porcentaje de frecuencia de trayectorias incluidas en cada conglomerado.....	88
Tabla 5-4 Porcentaje de frecuencia de trayectorias incluidas en cada conglomerado.....	90
Tabla 6-1 Fuentes principales en la zona de interés.....	98
Tabla 6-2 Especificaciones de emisiones de grandes fuentes de la zona.....	100
Tabla 6-3 Proyectos identificados que ingresaron al SEIA en la zona de interés	101
Tabla 6-4 Actividades y fuentes emisoras de proyectos ingresados al SEIA	103
Tabla 6-5 Estructura inventario de emisiones	107
Tabla 6-6 Combustible industrial utilizado en CA (ton)	108
Tabla 6-7 Combustible industrial utilizado en IN (ton).....	109
Tabla 6-8 Combustible industrial utilizado en EL (ton).....	110
Tabla 6-9 Factores de emisión para hornos.....	110
Tabla 6-10 Combustible industrial utilizado en PA (ton)	111
Tabla 6-11 Horas de operación y emisión promedio por hora (kg/hora).....	112
Tabla 6-12 Material procesado en la planta de fundición Chagres (ton)	112
Tabla 6-13 Factores de emisión para la Fundición Chagres (kg/ton)	113
Tabla 6-14 Material procesado en Cristalerías Chile (ton)	113
Tabla 6-15 Factor de emisión Cristalerías Chile (g/ton vidrio)	114
Tabla 6-16 Material Procesado en la Planta Cementos Melón (ton)	114
Tabla 6-17 Factor de emisión combustión de Clinker (g/ton Clinker).....	115
Tabla 6-18 Factores de emisión para fabricación de hormigón (kg/ton)	115
Tabla 6-19 Nivel de Actividad Mina el Soldado	116
Tabla 6-20 Factores de emisión Mina El Soldado	116
Tabla 6-21 Niveles de Actividad Cantera Ñilhue.....	117
Tabla 6-22 Factores de emisión para Cantera Ñilhue.....	117
Tabla 6-23 Nivel de Actividad Planta Catemu – Minera Amalia	118
Tabla 6-24 Factores de emisión Planta Catemu – Minera Amalia.....	118

Tabla 6-25 Nivel de Actividad Proyecto minero UVA.	118
Tabla 6-26 Factores de emisión Proyecto Minero UVA.....	119
Tabla 6-27 Número de viviendas	120
Tabla 6-28 Consumo regional de combustible residencial.....	120
Tabla 6-29 Consumo de combustible residencial	120
Tabla 6-30 Distribución del uso de artefactos a leña en la V Región	121
Tabla 6-31 Factores de emisión por tipo de bosque (kg/kg materia quemada)	121
Tabla 6-32 Carga orgánica por tipo de bosque (ton/ha)	122
Tabla 6-33 Hectáreas quemadas por tipo de vegetación (ha).....	122
Tabla 6-34 Factor de emisión Quemadas agrícolas y forestales (ton/ton materia quemada).....	123
Tabla 6-35 Superficie de quema V Región 2017 [ha].....	123
Tabla 6-36 Superficie total de cultivos por comuna en la V región	124
Tabla 6-37 Hectáreas quemadas agrícola y forestal (ha)	124
Tabla 6-38 Factor de emisión incendios urbanos	125
Tabla 6-39 Número de siniestros urbanos el 2008.....	125
Tabla 6-40 Emisiones atmosféricas Relleno Sanitario San Pedro. Fase de Operación [ton/año]	126
Tabla 6-41 Factores de Emisión aplicación de fertilizantes	126
Tabla 6-42 Consumo de nutrientes V Región (ton)	127
Tabla 6-43 Estimación urea consumida por comuna [ton].....	127
Tabla 6-44 Factor de emisión por aplicación de Pesticidas	128
Tabla 6-45 Plaguicidas vendidos en la V Región	128
Tabla 6-46 Cantidad de pesticidas aplicados por comuna (ton).....	128
Tabla 6-47 Superficie cultivada o sembrada por cultivo (ha)	129
Tabla 6-48 Factores de emisión construcción de edificios (kg/m ² -mes)	131
Tabla 6-49 Superficie construida (m ²)	131
Tabla 6-50 Toneladas de áridos procesados.....	132
Tabla 6-51 Características ciudades zona de interés.....	133
Tabla 6-52 Velocidad promedio por tipo de vehículo [km/hr].....	134
Tabla 6-53 Parque vehicular en la zona de interés.....	134
Tabla 6-54 Kilómetros recorridos anuales por tipo de vehículo [km/veh].....	135
Tabla 6-55 Equivalencia Ambiosis con MMA.....	136
Tabla 6-56 Personas por comuna y porcentaje respecto al total de la provincia, V Región	136
Tabla 6-57 Metros cuadrados por pisos construidos (m ²).....	137
Tabla 6-58 Horas de uso promedio para maquinaria de construcción (horas)	137
Tabla 6-59 Horas de uso maquinaria de construcción (hrs)	138
Tabla 6-60 Horas de uso de maquinaria por hectárea (hr/ha) según tipo de cultivo	138
Tabla 6-61 Hectáreas por tipo de cultivo (ha)	139
Tabla 6-62 Horas de uso maquinaria agrícola (hr).....	139
Tabla 6-63 Horas de uso maquinaria fuera de ruta (hr)	140
Tabla 6-64 Fuentes identificadas en la zona de interés.....	140
Tabla 6-65 Inventario de emisiones 2017 zona interior Valparaíso [ton/año]	143

Tabla 6-66 Inventario de emisiones 2017 zona interior Valparaíso por subsector [ton/año] ... 145

Tabla 6-67 Inventario de emisiones Valparaíso 2017 por comuna [ton/año], principales contaminantes 146

Tabla 6-68 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Catemu 148

Tabla 6-69 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Hijuelas 149

Tabla 6-70 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna La Calera 150

Tabla 6-71 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna La Cruz 151

Tabla 6-72 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Llay Llay 152

Tabla 6-73 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Nogales 153

Tabla 6-74 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Panquehue 154

Tabla 6-75 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Quillota 155

Tabla 6-76 Inventario de emisiones según modelo de dispersión [ton/año], principales contaminantes 156

Tabla 6-77 Inventario de emisiones para fuentes puntuales por comuna [ton/año], principales contaminantes 157

Tabla 6-78 Emisiones de la fundición Chagres [ton/año] 158

Tabla 6-79 Emisiones de termoeléctricas [ton/año] 158

Tabla 6-80 Inventario de emisiones para fuentes residenciales (calefactor) [ton/año] 159

Tabla 6-81 Inventario de emisiones para fuentes móviles por comuna [ton/año] 160

Tabla 6-82 Inventario de emisiones para otras fuentes [ton/año], principales contaminantes 162

Tabla 7-1 Ubicación receptores urbanos considerados 169

Tabla 7-2 Distribución mensual de emisiones por calefacción según equipos encendidos 170

Tabla 7-3 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de fuentes de calefacción residencial 172

Tabla 7-4 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de fuentes móviles 174

Tabla 7-5 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de fuentes puntuales 177

Tabla 7-6 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de otras fuentes 180

Tabla 7-7 Aportes a la concentración de MP10 anual 181

Tabla 7-8 Comparación de la modelación y la medición del percentil 98 del MP10 diario 182

Tabla 7-9 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de fuentes de calefacción residencial 184

Tabla 7-10 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de fuentes móviles 186

Tabla 7-11 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de fuentes puntuales 187

Tabla 7-12 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de otras fuentes 189

Tabla 7-13 Aportes a la concentración de MP2.5 anual 190

Tabla 7-14 Resultados de la modelación para el percentil 98 del MP2.5 diario 191

Tabla 7-15 Emisiones por comuna consideradas para cada receptor 194

Tabla 7-16 Factores de Emisión Concentración (FEC) para MP10, año 2017 [(ton/año)/(ug/m³)] 196

Tabla 7-17 Factores de Emisión Concentración (FEC) para MP2.5, año 2017 [(ton/año)/(ug/m³)] 196

Tabla 8-1 Recambio de equipos propuesto [número de artefactos] 200

Tabla 8-2 Cantidad de artefactos actualmente existentes en la V Región 200

Tabla 8-3 Cantidad de artefactos en hogares de la V Región tras recambio de equipos..... 200

Tabla 8-4 Eficiencias de combustión de los artefactos presentes en la V Región 201

Tabla 8-5 Cambio en el consumo de leña asociado a la implementación de la medida recambio equipos[ton/año] 202

Tabla 8-6 Emisiones evitadas gracias al recambio de equipos de calefacción a leña [ton/año] 202

Tabla 8-7 Costos unitarios asociados a la inversión necesaria para al recambio de equipos de calefacción a leña..... 203

Tabla 8-8 Costos totales de inversión asociados al recambio de equipos de calefacción a leña en la V Región [UF2012]..... 203

Tabla 8-9 Costos unitarios de la leña [CLP2012/kg] 204

Tabla 8-10 Ahorros incurridos por la población gracias al recambio de equipos [CLP2012] 204

Tabla 8-11 Recambio de leña húmeda por leña seca propuesto [ton/año]..... 205

Tabla 8-12 Consumo de leña seca por artefacto y comuna, anterior a la implementación de la medida de venta y utilización de leña seca [ton/año]..... 205

Tabla 8-13 Consumo de leña seca por artefacto y comuna, posterior a la implementación de la medida de venta y utilización de leña seca [ton/año]..... 206

Tabla 8-14 Emisiones evitadas gracias a la venta y utilización de leña seca [ton/año] 206

Tabla 8-15 Costos de inversión asociados a la implementación de la venta y utilización de leña seca [CLP2012] y número de xilohigrómetros a comprar por comuna [Número de aparatos]. 207

Tabla 8-16 Costos de operación asociados a la venta y utilización de leña seca [CLP2012/año] 208

Tabla 8-17 Número de viviendas a aislar en la V Región 209

Tabla 8-18 Emisiones evitadas gracias a la aislación de viviendas [ton/año]..... 210

Tabla 8-19 Costos unitarios de aislación de viviendas [UF/vivienda]..... 210

Tabla 8-20 Costos totales asociados a la aislación de viviendas [UF/año] 211

Tabla 8-21 Ahorros a percibir por la población gracias a la aislación de las viviendas [CLP2012/año] 211

Tabla 8-22 Cambio en el número de equipos por la medida de prohibición salamandra y chimenea 213

Tabla 8-23 Cambio de consumo asociado a la implementación de la prohibición de las salamandras y chimeneas [ton/año] 214

Tabla 8-24 Emisiones evitadas gracias a la prohibición de equipos [ton/año] 214

Tabla 8-25 Costos totales de inversión asociados a la prohibición de salamandras y chimeneas en la V Región [UF]..... 215

Tabla 8-26 Ahorros a percibir por la población gracias a la prohibición de la salamandra y de la chimenea [CLP2012/año]..... 215

Tabla 8-27 Reducción de emisiones por la medida de Barredora de MP [ton/año] 216

Tabla 8-28 Delta consumo asociado a la implementación del cambio de combustible [ton/año] 217

Tabla 8-29 Emisiones evitadas gracias al cambio de combustible [ton/año]..... 217

Tabla 8-30 Costos incurridos por la compra de gas natural tras cambio de combustible [UF/año]	218
Tabla 8-31 Reducción de emisiones por Precipitador electrostático en Fundición Chagres [ton/año]	218
Tabla 8-32 Reducción de emisiones por gestión de caminos mineros [ton/año]	219
Tabla 8-33 Reducción de emisiones por barrera cortaviento en extracción de áridos	220
Tabla 8-34 Emisiones evitadas gracias a la prohibición de quemas [ton/año]	221
Tabla 8-35 Ahorro de costos asociado a la prohibición de quemas en un porcentaje de las superficies agrícolas y forestales [CLP2015/año]	222
Tabla 8-36 Valor de UF por año [CLP]	223
Tabla 8-37 Costos anualizados por medida [UF/año]	223
Tabla 8-38 Reducción de Concentración de MP10 por medida [ug/m ³]	225
Tabla 8-39 Reducción de Concentración de MP2.5 por medida [ug/m ³]	226
Tabla 8-40 Resumen presupuesto actividades de fiscalización 2018 para PPDA	230
Tabla 8-41 Costos de fiscalización anuales proyectados para cinco años para el PDA de Curicó	231
Tabla 8-42 Descripción de Instrumentos de Compensación de Emisiones en diferentes PDA	232
Tabla 8-43 Buenas prácticas para la prevención de las emisiones de polvo resuspendido en faenas mineras	233
Tabla 8-44 Tasas de mortalidad base para la V Región, 2016 [casos/1,000 hab]	236
Tabla 8-45 CRF utilizados para estimar mortalidad prematura por todas las causas por exposición a MP2.5	237
Tabla 8-46 Casos de mortalidad evitados por medida según CRF [muertes]	237
Tabla 8-47 Beneficios estimados por medida [UF]	238
Tabla 8-48 Propuesta de cronograma de acción para las nuevas regulaciones asociadas al Instrumento de Gestión Ambiental posible de implementar	240
Tabla 9-1 Inventario de emisiones 2017 zona interior Valparaíso [ton/año]	244
Tabla 9-2 Propuesta de cronograma de acción para las nuevas regulaciones asociadas al Instrumento de Gestión Ambiental posible de implementar	249
Tabla 11-1 Estructura Inventario Emisiones por subsector	258

Lista de Figuras

Figura 3-1 Mapa de las estaciones de viento utilizadas para la validación del modelo WRF.	10
Figura 3-2 Ciclo diario de viento en la Macrozona	11
Figura 3-3 Correlación espacial entre la magnitud de viento observado y simulado (WRF) para la tarde (izquierda) y la noche (derecha).	12
Figura 3-4 Las orientaciones del viento promedio en la tarde (14:00 – 18:00) observadas (rojo) y simuladas (azul) por WRF.	13
Figura 3-5 Promedio de los máximos diarios de ozono usando los inventarios de emisiones modificados.	15

Figura 3-6 Contribución mensual a la concentración de MP10 (ug/m³) en Quillota 18

Figura 3-7 Resultados inventario de emisiones comuna Catemu fuentes estacionarias y móviles, año 2008 19

Figura 3-8 Participación en las emisiones por categoría de fuentes comuna Catemu, año 2008 20

Figura 3-9 Emisiones de MP por comuna y categoría de fuentes, año 2008 21

Figura 4-1 Ubicación de estaciones de monitoreo por red 23

Figura 4-2 Progresión de MP10 diaria período 2015- 2017 Red Chagres [ug/m³N] 28

Figura 4-3 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red Chagres [ug/m³]..... 29

Figura 4-4 Progresión de MP10 diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³N] 30

Figura 4-5 Progresión de NOx diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³]..... 31

Figura 4-6 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³]..... 32

Figura 4-7 Progresión de CO diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³]..... 33

Figura 4-8 Progresión de NO₂ diaria período 2015- 2017 Red Melón [ug/m³] 34

Figura 4-9 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red Melón [ug/m³] 35

Figura 4-10 Progresión de MP10 diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³N]..... 36

Figura 4-11 Progresión de NOx diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³]..... 37

Figura 4-12 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³]..... 38

Figura 4-13 Progresión de CO diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³]..... 39

Figura 4-14 Variación temporal de la concentración [ug/m³N] de MP10 Red Chagres, Periodo 2015-2017. 40

Figura 4-15 Ciclo horario MP10 [ug/m³N] por temporada climática Red Chagres, Periodo 2015-2017. 41

Figura 4-16 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red Chagres, Periodo 2015-2017. 42

Figura 4-17 Variación temporal de la concentración [ug/m³N] de MP10 Red San Isidro, Periodo 2015-2017. 43

Figura 4-18 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de NOx Red San Isidro, Periodo 2015-2017. 44

Figura 4-19 Ciclo horario NOx [ug/m³] por temporada climática Red San Isidro, Periodo 2015-2017. 45

Figura 4-20 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red San Isidro, Periodo 2015-2017. 46

Figura 4-21 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de CO Red San Isidro, Periodo 2015-2017. 47

Figura 4-22 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de NO₂ Red Cemento, Periodo 2015-2017. 48

Figura 4-23 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red Cemento, Periodo 2015-2017. 49

Figura 4-24 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red Las Vegas, estación Los Vientos, Periodo 2015-2017. 50

Figura 4-25 Rosa de los vientos para estaciones de la Red Chagres, Periodo 2015-2017. 51

Figura 4-26 Rosa de los vientos para estaciones de la Red Cementos Melón, Periodo 2015-2017. 52

Figura 4-27 Rosa de los vientos para estaciones de la Red Las Vegas, Periodo 2015-2017..... 53

Figura 4-28 Rosa de los vientos para estaciones de la Red San Isidro, Periodo 2015-2017. 54

Figura 4-29 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Lo Campo, Periodo 2015-2017. 55

Figura 4-30 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] según dirección y velocidad del viento estación Lo Campo, Periodo 2015-2017 56

Figura 4-31 Concentración SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Lo Campo, Periodo 2015-2017. 57

Figura 4-32 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Calera, Periodo 2015-2017... 58

Figura 4-33 Concentración SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Calera, Periodo 2015-2017 59

Figura 4-34 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Bomberos, Periodo 2015-2017. 60

Figura 4-35 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Bomberos, Periodo 2015-2017..... 61

Figura 4-36 Concentración SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Bomberos, Periodo 2015-2017 62

Figura 4-37 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Los Vientos, Periodo 2015-2017. 63

Figura 4-38 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] según dirección y velocidad del viento estación Los Vientos, Periodo 2015-2017 64

Figura 4-39 Concentración SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Los Vientos, Periodo 2015-2017 65

Figura 5-1 Zona de estudio y estaciones meteorológicas emplazadas 66

Figura 5-2 Precipitaciones y temperatura año 2017 para la estación de Chagres 67

Figura 5-3 Precipitaciones y temperatura año 2017 para la estación de Nehuenco 67

Figura 5-4 Descenso de temperatura asociado a las masas de aire frio para la estación Los Vientos 69

Figura 5-5 Descenso de temperatura asociado a las masas de aire frio para la estación Nehuenco 69

Figura 5-6 Condiciones normales anticiclón 70

Figura 5-7 Fase inicial sistema frontal 71

Figura 5-8 Formación de la vaguada costera 72

Figura 5-9 Desaparición vaguada costera 73

Figura 5-10 Dirección del viento y máximo calentamiento/enfriamiento en la estación de Chagres 74

Figura 5-11 Disminución/aumento del viento y su rotación en la estación de Chagres 74

Figura 5-12 Disminución/aumento de la Humedad relativa-Temperatura en la estación de Nehuenco 75

Figura 5-13 Amplitud térmica diaria en verano para la estación de Chagres 76

Figura 5-14 Amplitud térmica diaria en invierno para la estación de Chagres 76

Figura 5-15 Amplitud térmica diaria en verano para la estación de Nehuenco..... 77

Figura 5-16 Amplitud térmica diaria en invierno para la estación de Nehuenco..... 77

Figura 5-17 Corte latitudinal a los 33 °S de temperaturas promedios históricas 78

Figura 5-18 Promedio mensual de temperatura máxima y razón de mezcla en las ciudades de Santiago y Mendoza..... 79

Figura 5-19 Formación de una tormenta en un Cúmulo nimbos 80

Figura 5-20 Trayectorias del viento llegando a Catemu a 10 m sobre el suelo..... 82

Figura 5-21 Trayectorias promedio de los 16 conglomerados identificados para Catemu. 83

Figura 5-22 Trayectorias promedio de los 16 conglomerados identificados para Catemu (ampliación). 84

Figura 5-23 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para La Calera. 86

Figura 5-24 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para La Calera (ampliación). 86

Figura 5-25 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Llaillay. 88

Figura 5-26 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Llaillay (ampliación). 89

Figura 5-27 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Quillota. 91

Figura 5-28 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Quillota (ampliación). 91

Figura 5-29 Perfil promedio diario de la altura de mezcla por estación climática [metros] 93

Figura 5-30 Perfil promedio diario de la altura de mezcla por mes [metros] 94

Figura 5-31 Promedio de la altura de mezcla por mes [metros] 95

Figura 6-1 Área de Estudio..... 97

Figura 6-2 Distribución de emisiones por subtipo [ton/año] 144

Figura 6-3 Distribución de las emisiones por comuna..... 147

Figura 7-1 Inventario de emisiones por fuentes puntuales..... 164

Figura 7-2 Inventario de emisiones por calefacción residencial 165

Figura 7-3 Inventario de emisiones por fuentes móviles en grillas de 2km x 2km 166

Figura 7-4 Inventario de emisiones de otras fuentes en grillas de 2km x 2km 167

Figura 7-5 Dominio de modelación (UTM, WGS 84, Uso 19 S)..... 168

Figura 7-6 Ubicación fuentes de calefacción residencial..... 170

Figura 7-7 Aportes al MP10 anual por fuentes de calefacción residencial 171

Figura 7-8 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por fuentes de calefacción residencial..... 171

Figura 7-9 Distribución de las fuentes móviles..... 173

Figura 7-10 Aportes al MP10 anual por fuentes móviles 173

Figura 7-11 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por fuentes móviles..... 174

Figura 7-12 Distribución espacial de las fuentes puntuales (chimeneas) 175

Figura 7-13 Aportes al MP10 anual por fuentes puntuales..... 176

Figura 7-14 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por fuentes puntuales 176

Figura 7-15 Distribución espacial de las restantes fuentes del inventario 178

Figura 7-16 Aportes al MP10 anual por otras fuentes..... 179

Figura 7-17 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por otras fuentes 179

Figura 7-18 Aportes porcentuales de fuentes emisoras a la concentración de MP10..... 181

Figura 7-19 Aportes al MP2.5 anual por fuentes de calefacción residencial 183

Figura 7-20 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por fuentes de calefacción residencial... 184

Figura 7-21 Aportes al MP2.5 anual por fuentes móviles 185

Figura 7-22 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por fuentes móviles..... 185

Figura 7-23 Aportes al MP2.5 anual por fuentes puntuales..... 186

Figura 7-24 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por fuentes puntuales 187

Figura 7-25 Aportes al MP2.5 anual por otras fuentes..... 188

Figura 7-26 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por otras fuentes 188

Figura 7-27 Aportes porcentuales de fuentes emisoras a la concentración de MP2.5..... 190

Figura 7-28 Distribución espacial del promedio anual del MP10 modelado..... 192

Figura 7-29 Propuesta de zona saturada para Valparaíso interior 193

Figura 7-30 Relación emisor-receptor entre comunas 195

Figura 8-1 Curva de costo abatimiento marginal para MP10[UF/(ug/m³)]..... 228

Figura 8-2 Curva de costo abatimiento marginal para MP2.5[UF/(ug/m³)]..... 229

Figura 9-1 Perfil promedio diario de la altura de mezcla por estación climática [metros] 242

Figura 9-2 Inventario de emisiones georreferenciado..... 246

Figura 9-3 Propuesta de zona saturada para Valparaíso interior 247

Figura 9-4 Curva de costo abatimiento marginal para MP10 [UF/(ug/m³)]..... 248

Figura 11-1 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde el área del Gran Valparaíso y la parte baja del valle Aconcagua 253

Figura 11-2 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde Santiago 254

Figura 11-3 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde Rancagua 254

Figura 11-4 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde Los Andes..... 255

Figura 11-5 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde San Antonio 255

Figura 11-6 Promedio diario de las emisiones de NO_x (fuentes móviles y areales) en los inventarios de emisiones modificados 256

Figura 11-7 Promedio diario de las emisiones de COV_s (fuentes móviles y areales) en los inventarios de emisiones modificados 257

Figura 11-8 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Santa Margarita, Periodo 2015-2017 259

Figura 11-9 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Santa Margarita, Periodo 2015-2017. 260

Figura 11-10 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Catemu, Periodo 2015-2017. 261

Figura 11-11 Concentración MP10 [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Catemu, Periodo 2015-2017. 262

Figura 11-12 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Catemu, Periodo 2015-2017. 263

Figura 11-13 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Romeral, Periodo 2015-2017 264

Figura 11-14 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Romeral, Periodo 2015-2017..... 265

Figura 11-15 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Meteorológica, Periodo 2015-2017 266

Figura 11-16 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación La Cruz, Periodo 2015-2017 267

Figura 11-17 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Melón La Cruz, Periodo 2015-2017..... 268

Figura 11-18 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Rural, Periodo 2015-2017. 269

Figura 11-19 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Rural, Periodo 2015-2017. 270

Figura 11-20 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Nehuenco, Periodo 2015-2017 271

Figura 11-21 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación San Pedro, Periodo 2015-2017 272

Figura 11-22 Concentración MP10 [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación San Pedro, Periodo 2015-2017..... 273

Figura 11-23 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación San Pedro, Periodo 2015-2017..... 274

Figura 11-24 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación La Palma, Periodo 2015-2017 275

Figura 11-25 Concentración MP10 [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación La Palma, Periodo 2015-2017..... 276

Figura 11-26 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación La Palma, Periodo 2015-2017..... 277

Figura 11-27 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación La Cruz, Periodo 2015-2017 278

Figura 11-28 Concentración MP10 [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación San Isidro La Cruz, Periodo 2015-2017..... 279

Figura 11-29 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación San Isidro La Cruz, Periodo 2015-2017..... 280

Figura 11-30 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Manzanar, Periodo 2015-2017 281

Figura 11-31 Concentración MP10 [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Manzanar, Periodo 2015-2017. 282

Figura 11-32 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Manzanar, Periodo 2015-2017. 283

Acrónimos y Abreviaturas

AGIES:	Análisis General de Impacto Económico y Social
SMA:	Superintendencia del Medio Ambiente
OCDE:	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
EMEP:	Programa de evaluación y monitoreo europeo
EEA:	Agencia Europea del medio ambiente
MP:	Material Particulado
FE:	Factor de emisión
NA:	Nivel de actividad
RCA:	Resolución de calificación ambiental
DIA:	Declaración de impacto Ambiental
EIA:	Estudio de Impacto Ambiental
MFR:	Maquinaria Fuera de Ruta
SEC:	Superintendencia de Electricidad y combustible
CASEN:	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional
GLP:	Gas Licuado de Petróleo
MFR:	Maquinaria Fuera de Ruta
CT:	Central térmica
SEIA:	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Formato

"," separador decimal

." separador de miles

1. Antecedentes

El Ministerio del Medio Ambiente es la institución encargada de generar y recopilar la información técnica y científica precisa para la prevención de la contaminación y la calidad ambiental, en particular, lo referente a las tecnologías, la producción, gestión y transferencia de residuos, la contaminación atmosférica y el impacto ambiental así como garantizar el cumplimiento de la normativa vigente a través del diseño e implementación de las herramientas de gestión ambiental contempladas en la ley, por ejemplo, el Sistema de Evaluación Ambiental, los Planes de Prevención y Descontaminación, la Elaboración de Normas de Emisión y de Calidad Ambiental y la Participación Ciudadana.

La condición de zona latente o saturada bajo la normativa actual debe ser declarada a través de un proceso a cargo de las Secretarías Regionales Ministeriales del Medio Ambiente. La localidad de Chagres, Valparaíso es actualmente una zona latente por Anhídrido Sulfuroso (SO_2) para la cual, no existe plan de descontaminación asociado a ella. Adicionalmente, los monitoreos de MP10 realizados en la zona arrojan niveles de saturación para norma anual en la zona de Catemu, condición que se ha venido arrastrando desde el año 2000.

Asimismo, de acuerdo al informe "Informe Línea de Base de la Calidad del aire en la Región de Valparaíso período 2015-2017", los monitoreos realizados en las comunas de Quillota, La Calera, La Cruz y Llay Llay al igual que en Catemu, arrojarían niveles de latencia para el contaminante MP10 como concentración anual.

En este contexto, con el fin de optimizar el rol regulador del Estado, surge la necesidad de levantar información de las comunas de Catemu, Llay Llay, La Calera, Quillota, Nogales, Hijuelas y La Cruz considerándolo como un único territorio que comparte características similares. De esta manera se espera definir el mejor Instrumento de Gestión Ambiental que logre recuperar la calidad ambiental del territorio.

Esto es de especial relevancia dado que, a pesar de los antecedentes de calidad del aire antes mencionados, la posible definición geográfica de una zona saturada, así como la identificación de las distintas fuentes, y su contribución en la calidad del aire, el transporte atmosférico de contaminantes desde la cuenca, así como medidas de reducción, no pueden ser fundadas sin contar al menos con información técnica científica que la avale.

Según datos del Censo 2017, las comunas en cuestión cuentan en total con aproximadamente 241.883 habitantes (desagregados en: Catemu 13.960 hab., La Calera 50.554 hab., Llay Llay 24.608 hab., La Cruz 22.098 hab., Nogales 22.120 hab., Hijuelas 17.988 hab. y Quillota 90.517 hab.), habitantes que estarían expuestos a niveles de MP10 sobre la norma.

Las comunas se consolidan como una de las zonas industriales y minera más importante de la región donde se localizan proyectos de tales como:

- Centrales termoeléctricas
- Fundición de cobre
- Industria cementera y de cogeneración
- Explotación minera
- Fuentes reguladas por normas de emisión (Norma de Fundición, Norma de Termoeléctrica y Norma de Incineración, Coincineración y Coprocesamiento) pero que actualmente cohabitan con actividades de índole habitacional y agrícola.

2. Objetivos del estudio

2.1 Objetivo general

El objetivo principal es contar con antecedentes que permitan identificar las responsabilidades en las emisiones de material particulado respirable (MP10) y particulado fino respirable (MP2,5) tanto de origen primario y secundario. Además de evaluar el efecto de un conjunto de medidas de reducción de emisiones de material particulado y sus precursores para las distintas fuentes emisoras en términos de su efectividad y que sean factibles de incorporar en un futuro Instrumento de Gestión Ambiental.

2.2 Objetivos específicos

- a) Evaluar el comportamiento de las condiciones meteorológicas (locales y de altura), altura de mezcla y analizar su influencia en las condiciones de dispersión local de contaminación en la zona, incorporando además una simulación y análisis de trayectoria de masas de aire que considere topografía de la zona, en conjunto con los resultados de las concentraciones de MP10, registradas para las estaciones de monitoreo existentes en el territorio.
- b) Contar con una identificación y descripción de las fuentes emisoras localizadas en los límites comunales de Quillota, La Calera, Catemu y Llay Llay. Adicionalmente, se deberá incluir una descripción de las actividades económicas que se localizan en el territorio incluyendo su georreferenciación e identificación de los procesos emisores de MP10 y MP2.5 (directo o precursor de MP2.5).
- c) Elaborar un catastro e inventario de las emisiones de Material Particulado Respirable (MP10 y MP2,5), para el año 2017, para todas las fuentes relevantes del territorio. Como mínimo las fuentes identificadas en el inventario base 2008¹.
- d) Conocer la distribución espacial de los impactos de las diferentes fuentes emisoras en las concentraciones de MP10 y MP2,5 a través de la aplicación de un modelo de dispersión de las emisiones en la localidad bajo estudio.
- e) Entregar una propuesta de delimitación de zona saturada y/o latente, para el territorio bajo estudio, tanto por norma diaria como anual de MP10.
- f) Elaborar un archivo Excel, en donde se detalle la metodología utilizada para la estimación de emisiones para cada fuente emisora, así como también entregar los archivos de entrada y salida de las modelaciones realizadas.
- g) Contar con la identificación de un conjunto de medidas para el diseño de un Plan de Descontaminación, orientadas a la reducción de las emisiones que garanticen la recuperación de la calidad del aire. Dichas medidas deberán ser evaluadas y priorizadas según su costo efectividad proponiendo a su vez, un enfoque estratégico y líneas de acción en el corto, mediano y largo plazo para la gestión de la calidad del aire.

¹ “Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica, Región de Valparaíso, Construcción de un Inventario de Emisiones Regional”

- h) Determinar la relación emisión calidad del aire para MP10 y el peso relativo de las fuentes emisoras según el escenario de las medidas propuestas.
- i) Difundir los resultados finales del estudio.

El objetivo a) se desarrolla en la Sección 4 y Sección 6 del presente estudio, siendo el análisis de las concentraciones registradas y análisis meteorológico, respectivamente.

El objetivo b) se desarrolla en la Sección 6, en específico en la Sección 6.1. En esta subsección se identifican y caracterizan las fuentes emisoras en las comunas de interés. En base a este levantamiento de información se realiza el inventario de emisiones de MP10, MP2.5 y sus precursores (ver Sección 6), para dar cumplimiento al objetivo específico c).

El objetivo específico d) se desarrolla en la Sección 7, donde se aplica un modelo de dispersión a las emisiones estimadas para determinar su aporte a la concentración ambiental. El objetivo e) se presenta en la Sección 7.3, donde a partir de los resultados de la modelación ambiental se da una propuesta de zona saturada para MP10.

El objetivo f), respecto a entregar un archivo *Excel* con la estimación de emisiones de la zona de estudio se cumple al adjuntar como anexo digital 2 el archivo solicitado. En este archivo se detalla a nivel de fuente emisora su clasificación en la estructura del inventario, comuna, nivel de actividad, tecnología de abatimiento (si aplica) y factor de emisión para cada contaminante de interés.

El objetivo g) se desarrolla en la Sección 8, donde se evalúa un conjunto de medidas potencialmente aplicables a las fuentes emisoras. Estas se jerarquizan según su costo-efectividad para mejorar la calidad del aire en la zona.

El objetivo h) del presente estudio se desarrolla en la Sección 7.2 y Sección 7.4, donde se determina el peso relativo de las fuentes emisoras en la concentración ambiental y los factores de emisión concentración para la zona, respectivamente.

3. Antecedentes de la zona

En la presente sección se resumen los principales resultados y conclusiones de los estudios realizados en la zona que fueron revisados. Se revisaron antecedentes relevantes para la calidad del aire de la zona de estudio.

La presente sección no cumple con ningún objetivo específico en particular, pero su relevancia es transversal al estudio, dado que los antecedentes revisados permiten realizar un mejor trabajo y actualizado respecto a estudios anteriores.

3.1 Línea base de la calidad del aire en la región de Valparaíso. MMA-2017

Se revisó el informe de línea base de la calidad del aire para la región de Valparaíso². El informe constituye una línea base actualizada sobre el estado de la calidad del aire hasta el año 2017 considerando para efectos de la normativa, el trienio 2015-2017 sobre la base de recopilación, sistematización y análisis de la información proveniente de las redes privadas de monitoreo de calidad del aire³.

En la región existen, de acuerdo al último Informe de Calidad del Aire elaborado por la SEREMI de Salud en el año 2011, 41 estaciones de calidad del aire privadas asociadas a 14 fuentes emisoras⁴. Sin embargo, la información obtenida en este informe corresponde a parámetros medidos por las redes que operan en las comunas de Quintero, Puchuncaví, Concón, Quillota, La Calera, Catemu, Panquehue, Llay Llay y La Cruz. A continuación, se hace un resumen de cada una de las estaciones analizadas, en la zona de interés, junto con los parámetros medidos.

² MMA, 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Region de Valparaíso Pérido Año 2017', 2017, p. 53 <<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/07/informe-2015-V4-Valparaiso.pdf>>.

³ MMA, 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Período Año 2017', 2017, p. 53

⁴ MMA, 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Período Año 2017', 2017, p. 53

Tabla 3-1 Estaciones de monitoreo en las comunas de interés

Fuentes emisoras Asociadas	Comuna	Nombre de la Estación	Coordenadas (Ubicación georreferenciada por CETAM año 2015)	Parámetros medidos							
				PM10	PM2.5	SO2	O3	NO2	CO	Pb	Otros
Central Térmica San Isidro Endesa	La Cruz	La Cruz 2	19H 289760E 6359173N 32°53'7,6"S 71°14'50,8"O	x		x	x	x	x		
	Quillota	Manzanar	19H 6355455N 278170 E (SAG) WGS84	x		x	x	x	x		
Central Térmica NehuencoColbún	Quillota	Bomberos	19H 291363E 6366950N 32°48'56,3"S 71°13'42,8"O	x		x	x	x	x		
		San Pedro	19H 287387 E 6353324N (SAG)	x		x	x	x	x		
		La Palma	19H 293319 E 6358574 N (SAG)	x		x	x	x	x		
Planta La Calera de Empresa Melón	La Calera	La Calera	19H 322097E 6369286N 32°48'0,02"S 70°53'60,00"O	x		x	x	x			
		Rural	19H 6371733N 295594E WGS84 (SAG)	x		x	x	x			
	La Cruz	La Cruz	19H 294726E 6370438N 32°47'5.44"S 71°11'30.82"O	x		x	x				
Fundición Chagres Anglo American Chile	Panquehue	Lo Campo	19H 311982E 6366111N 32°49'36,99"S 71° 0'31,02"O	x		x					
	Catemu	Catemu	19H 267930E 6355123N 32°55'03.2"S 71°28'54.0" O	x		x					
		Romeral	19H 316309E 6371168N 32°46'55,50"S 70°57'41,08"O			x					
		Santa Margarita	19H 318469 E 6371812 N (SINCA)			x					
Central Los Vientos	Llay Llay	Las Vegas	19H 313886E 6365008N 32°50'13.33"S 70°59'57.07"O	x		x	x	x	x		

Fuente: MMA, 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Período Año 2017', 2017, p. 53

A continuación, se presenta la situación de la calidad del aire en las comunas de interés del presente estudio de la Región de Valparaíso, conforme a los resultados del monitoreo de las estaciones de calidad del aire mencionadas anteriormente. En la Tabla 3-2, se presentan los resultados de los cálculos de las concentraciones trianuales período 2015 – 2017, de acuerdo a los criterios establecidos en las normas de calidad del aire vigente, de las normas primarias.

De acuerdo a los datos reportados y analizados es posible observar que los contaminantes de mayor complejidad en la región, son el material particulado tanto respirable MP10 como fino MP2.5, y Dióxido de azufre SO₂ (ver Tabla 3-2). Sin embargo, para el periodo analizado, el contaminante Ozono también se incorpora como un parámetro de atención en la zona interior de la región.

Tabla 3-2 Concentraciones trianuales periodo 2015 - 2017

Fuente Emisora Asociada	Nombre Estación	PM10	PM10	PM2.5	PM2.5	SO2	SO2	O3	NO2	NO2	CO	CO
		anual	diario	anual	diario	anual	diario	8 horas	anual	1 hora	1 hora	8 horas
Fundición Chagres	Catemu	72	132			16	40					
	Santa Margarita					67	159					
	Romeral					14	36					
	Lo Campo	40	63			27	78					
Cemento Melón	La Calera	51	89			3	12	66	6	33		
	Rural	37	75			4	11	83	6	33		
	La Cruz	36	66			4	12	76				
Central San Isidro-Nehuenco	Bomberos	40 ^a	74 ^a			4	13	84	6	31	4	3
	San Pedro	35 ^a	63 ^a			3	10	65	4	25	1	1
	La Palma	33 ^a	57 ^a			3	10	56	4	21	1	1
	Manzanar	28 ^a	62 ^a			3	11	73	10	25	1	0.5
Central Las Vegas	La Cruz	50 ^a	83 ^a			4	20	82	14	36	2	1
Central Las Vegas	Los Vientos	45 ^a	72 ^a			11	34	103	6	38	1	1

a) Resultado de mediciones continuas

Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N°6.1 de la 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Periodo Año 2017', 2017. MMA.

La Tabla 3-3 presenta los resultados como porcentaje, respecto de la norma periodo 2015 – 2017. Se observan tres redes de monitoreo⁵ con una estación que registró saturación por MP10. Adicionalmente se observan 4 estaciones de monitoreo con porcentaje superior al 80% de la norma para MP10, es decir en condición de latencia. Para el MP2.5, 5 de las 10 estaciones con monitoreo presentan una condición de latencia, y ninguna presenta saturación.

⁵ Fundición Chagres, Cementos Melón, Central San Isidro-Nehuenco

Tabla 3-3 Porcentaje respecto de la norma periodo 2015-2017

Fuente Emisora Asociada	Nombre Estación	PM10	PM10	PM2.5	PM2.5	SO2	SO2	O3	NO2	NO2	CO	CO
		anual	diario	anual	diario	anual	diario	8 horas	anual	1 hora	1 hora	8 horas
Fundición Chagres	Catemu	144	88			20	16					
	Santa Margarita					83	63					
	Romeral					17	14					
	Lo Campo	80	42			34	31					
Cemento Melón	La Calera	101	60			4	5	55	12	16		
	Rural	74	50			5	4	68	10	16		
	La Cruz	72	44			5	5	63				
Central San Isidro-Nehuenco	Bomberos	80	49			5	5	70	12	15	13	20
	San Pedro	70	42			4	4	54	8	12	4	7
	La Palma	70	38			4	4	47	8	10	4	8
	Manzanar	57	41			4	5	61	18	12	3	5
	La Cruz	100	56			5	8	68	27	17	5	9
Central Las Vegas	Los Vientos	90	48			14	14	85	12	18		7

Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N°6.2 de la 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Periodo Año 2017', 2017. MMA.

Se incorporó en el informe, el análisis de la norma secundaria de SO₂ de acuerdo al D.S N° 22/2009. Las estaciones analizadas se basan en el criterio de Representatividad en Recursos Naturales otorgadas por el SAG, y también por la cercanía de grandes fuentes emisoras de SO₂ como fundiciones, refinerías y termoeléctricas a carbón.

Las concentraciones monitoreadas se presentan en la Tabla 3-4, junto a su porcentaje respecto a la norma.

Tabla 3-4 Norma Secundaria SO₂ (mg/m³N) periodo 2015-2017

Red	Estación	Concentración horaria		Concentración diaria		Concentración Anual	
		Triannual Percentil 99,73	% Respecto Norma	Triannual Percentil 99,7	% Respecto Norma	Promedio Triannual	% Respecto Norma Anual
Fundición Chagres	Lo Campo	315	32	88	24	27	34
	Catemu	153	15	44	12	16	20
	Santa Margarita	285	28	91	25	67	83
	Romeral	176	18	39	11	14	18
Cemento Melón	Rural	39	4	13	4	4	5
	La Calera	38	4	16	4	3	4
	La Cruz	35	4	16	4	4	5
Central San Isidro- Nehuenco	Bomberos	39	4	17	5	4	5
	San Pedro	37	4	12	3	3	4
	La Palma	34	3	11	3	3	4
	La Cruz	45	4	21	6	4	5
	Manzanar	42	4	14	4	3	4
Central Las Vegas	Los Vientos	211	21	43	12	11	14

Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N°6.3 de la 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Periodo Año 2017', 2017. MMA.

3.2 Implementación de un Modelo Fotoquímico de alta resolución para la Macrozona Central del País – UNTEC, 2008

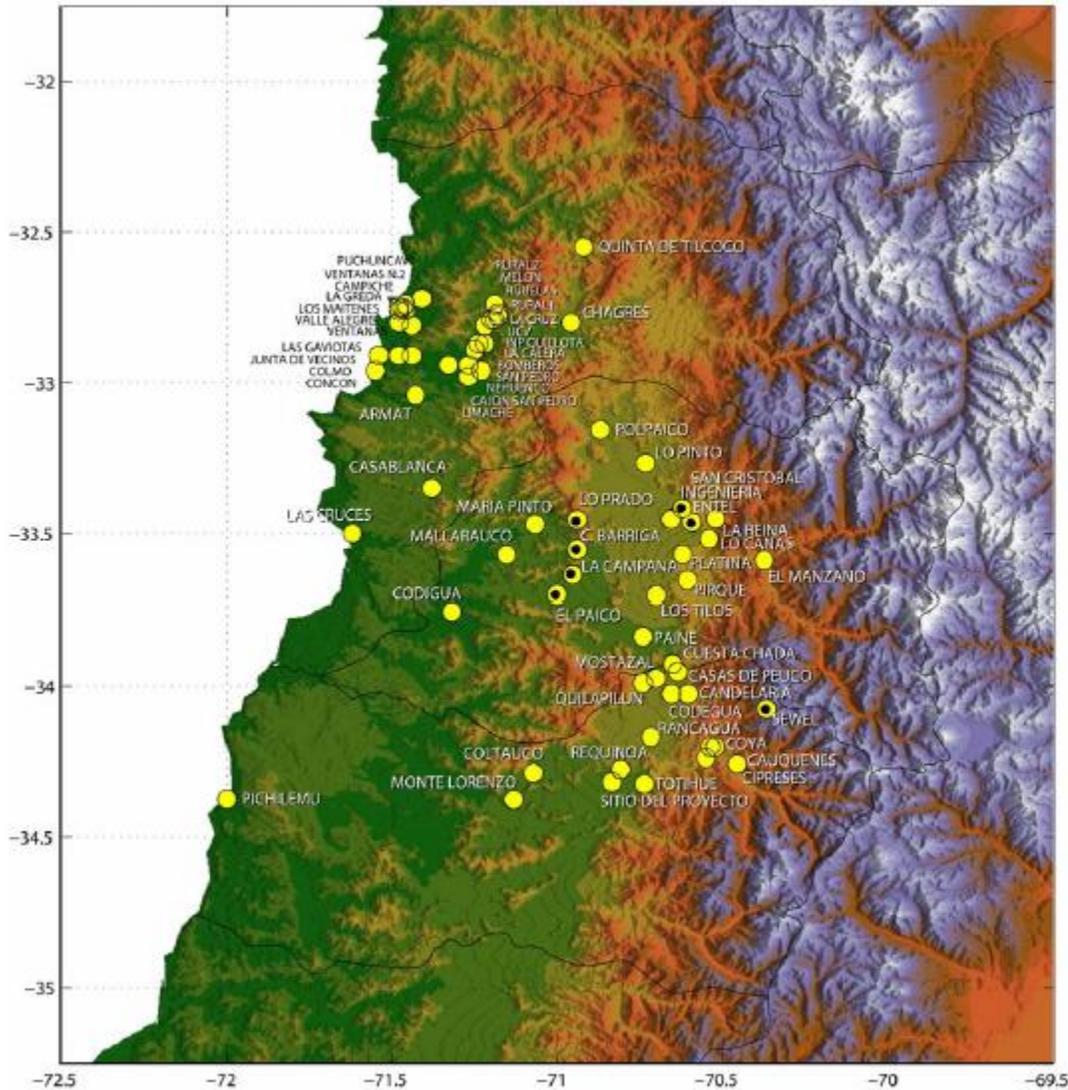
Se revisó el estudio "Implementación de un Modelo Fotoquímico de alta resolución para la Macrozona Central del País", elaborado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile ⁶, cuyo objetivo fue implementar un modelo de dispersión de contaminantes fotoquímicos para la Macrozona central del país, que permita a la autoridad mejorar su gestión a escala nacional y regional en materias de evaluación y control de la contaminación por contaminantes secundarios. Este modelo tenía por objetivo la modelación del ozono troposférico.

Se implementó un modelo fotoquímico de alta resolución (<= 4 km) para la Macrozona central de Chile de probado desempeño internacional, con la información de emisiones disponible para las tres regiones para el año 2000. El modelo aplicado en este informe es el 'Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF-CHEM)' y se contemplaron dos experimentos numéricos; el primero simulaciones meteorológicas para tres años, donde no se considera el cálculo de las reacciones fotoquímicas, pero se incorpora el transporte de un trazador inerte para ayudar el diagnóstico de los patrones de dispersión en la Macrozona. La segunda, simulaciones meteorológicas y fotoquímicas, con información disponible para las emisiones, durante un periodo estival de tres meses.

⁶ Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008.

Se realizó una evaluación meteorológica del modelo, en cuanto al pronóstico de viento superficial y el intercambio de masa del aire en la Macrozona⁷, con el fin de asegurar la calidad de la simulación meteorológica y asegurar el éxito del modelo fotoquímico. En la figura Figura 3-1 se muestran las ubicaciones de las estaciones meteorológicas incluidas en la base de datos para la validación del modelo.

Figura 3-1 Mapa de las estaciones de viento utilizadas para la validación del modelo WRF.



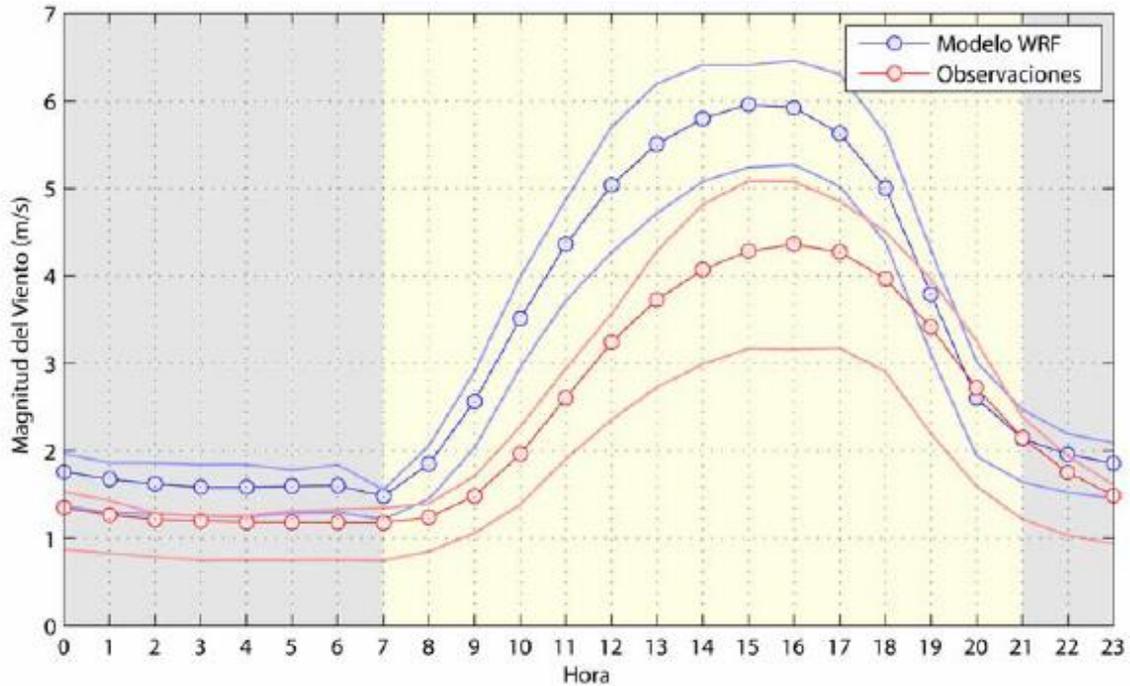
Nota: Las estaciones con mediciones por sobres los 20 m de altura se indican en el mapa con un punto negro.

Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008, Figura 7.1

⁷ Las variables de meteorología simuladas de viento superficial y movimientos de masas de aire son de especial relevancia para el análisis de dispersión de contaminantes en el zona de estudio.

En la Figura 3-2, se muestra el primer análisis del modelo, que muestra el ciclo diario promedio de la magnitud de viento observado y simulado por WRF, utilizando datos de todas las estaciones con más de 1 mes de datos durante el verano⁸. Se observa un aumento importante de la velocidad del viento en horario de tarde, de 12 a 19; y una sobreestimación sistemática del modelo con respecto a lo observado.

Figura 3-2 Ciclo diario de viento en la Macrozona

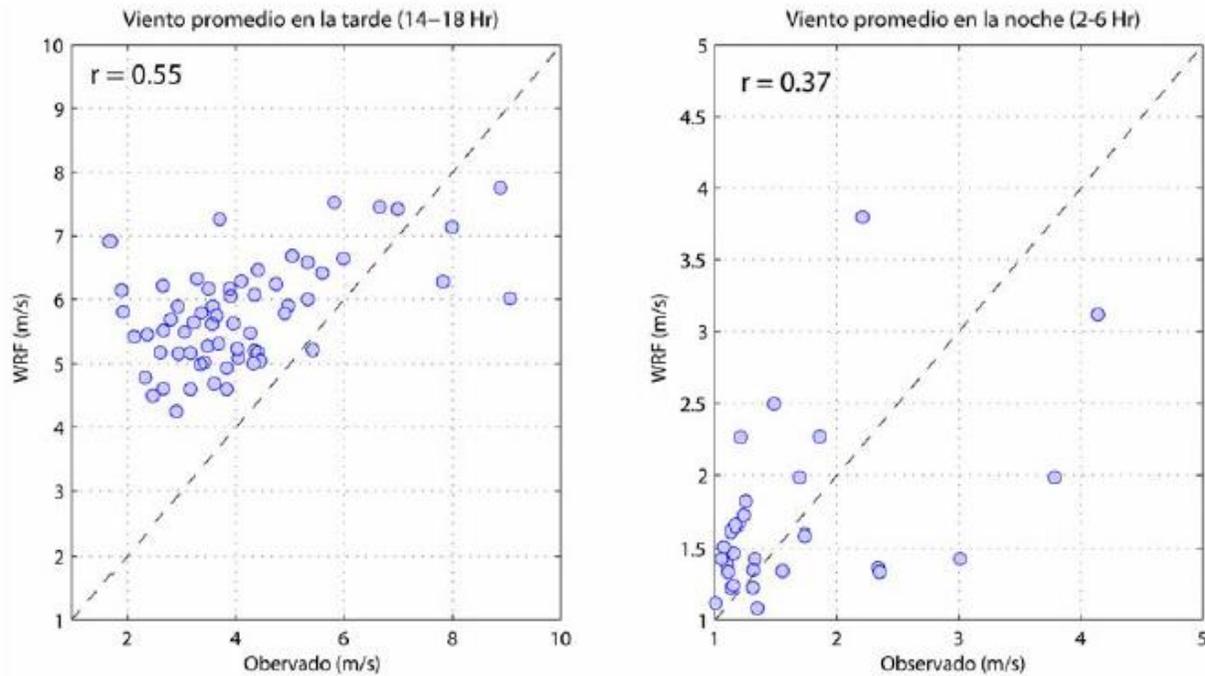


Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008, Figura 7.2

La correspondencia espacial medida con el coeficiente de correlación espacial (r) se puede observar en la Figura 3-3, se logra comprobar que el modelo es capaz de generar una representación realista del campo de magnitud del viento, aunque se sobrestima constantemente la velocidad del viento.

⁸ 63 de las 70 estaciones

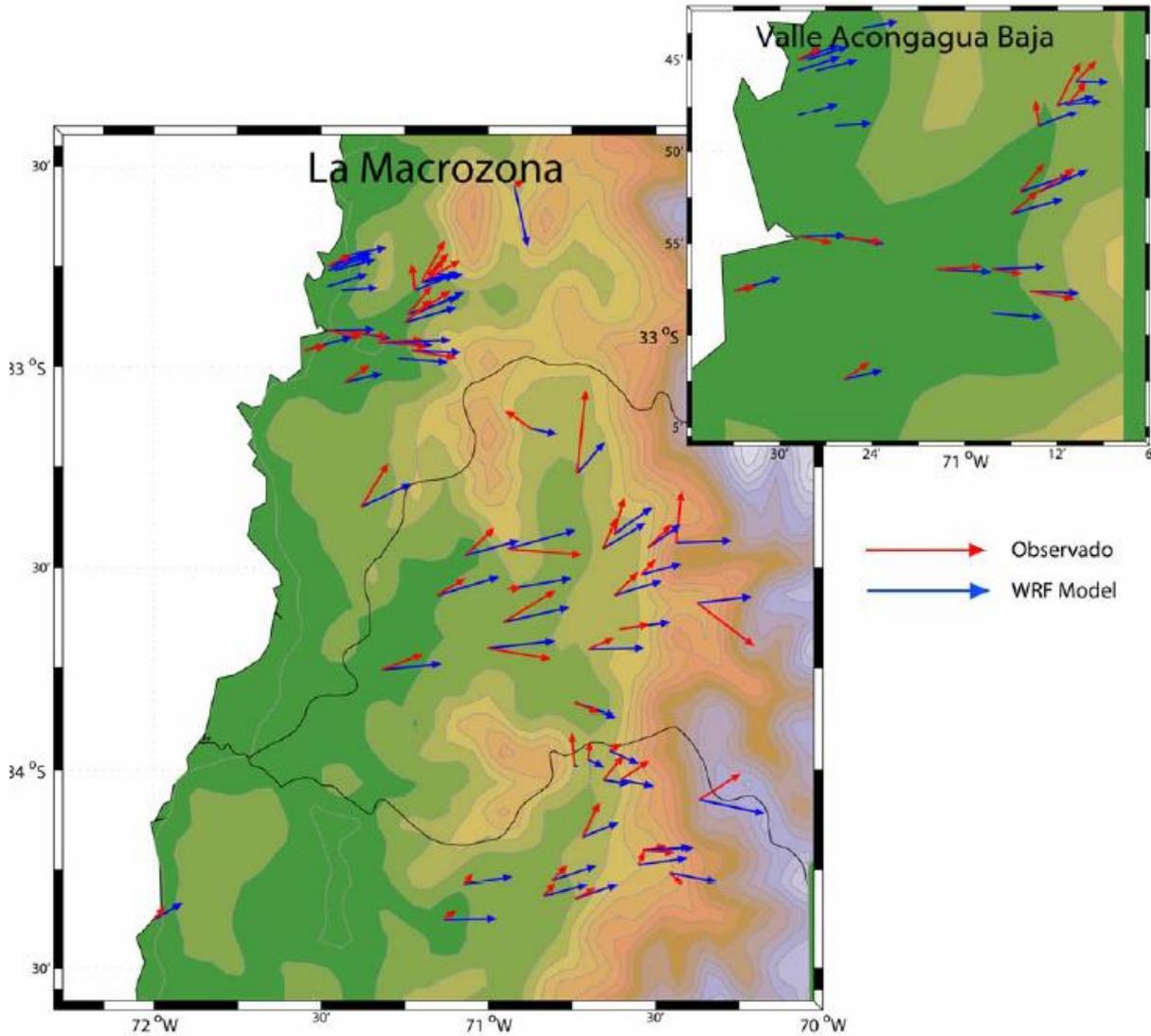
Figura 3-3 Correlación espacial entre la magnitud de viento observado y simulado (WRF) para la tarde (izquierda) y la noche (derecha).



Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Otro factor importante en el contexto de la dispersión de precursores fotoquímicos y contaminantes es la orientación del viento. En la Figura 3-4 se presentan como flechas las orientaciones del viento promedio (observado y de WRF) en la tarde (14:00 – 18:00). Existe una buena reproducción del modelo en cuanto a que existe una marcada orientación hacia la cordillera, sin embargo, la componente hacia el norte, es menos evidente en los vientos del WRF.

Figura 3-4 Las orientaciones del viento promedio en la tarde (14:00 – 18:00) observadas (rojo) y simuladas (azul) por WRF.



Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Se concluye que el transporte de masas de aire en la Macrozona es complejo, y se requieren técnicas sofisticadas para abordar el tema, y por lo tanto se realizó un análisis de trayectorias. Debido a la gran variabilidad de las trayectorias, una caracterización completa de los flujos de masa de aire en un área del tamaño como la Macrozona requiere el cálculo de un gran número de trayectorias⁹. En este análisis se calcularon trayectorias para cada día de las simulaciones

⁹ Esta variabilidad depende de la variabilidad meteorológica, la topografía y distintas alturas de origen.

meteorológicas de WRF partiendo en la mañana a las 05:00, 08:00 y 11:00 horas y en tres alturas distintas: 25m, 70m y 200m, lo que resultó en un total de más de 3 millones de trayectorias ¹⁰.

En la Figura 11-1, Figura 11-2, Figura 11-3, Figura 11-4 y Figura 11-5 (en Anexos) se muestra la evolución temporal de trayectorias partiendo desde el área del Gran Valparaíso, Santiago, Rancagua, Los Andes y San Antonio respectivamente.

El análisis de trayectorias muestra que existe intercambio de masa de aire a nivel inter-regional dentro de la Macrozona. Sin duda, el transporte más importante se observa desde la costa en la V Región hasta la Región Metropolitana. Se observa que las trayectorias desde las Regiones Metropolitana y VI muestran un potencial bajo en términos de transporte de contaminantes a otras regiones; más bien el transporte es hacia terrenos argentinos ¹¹.

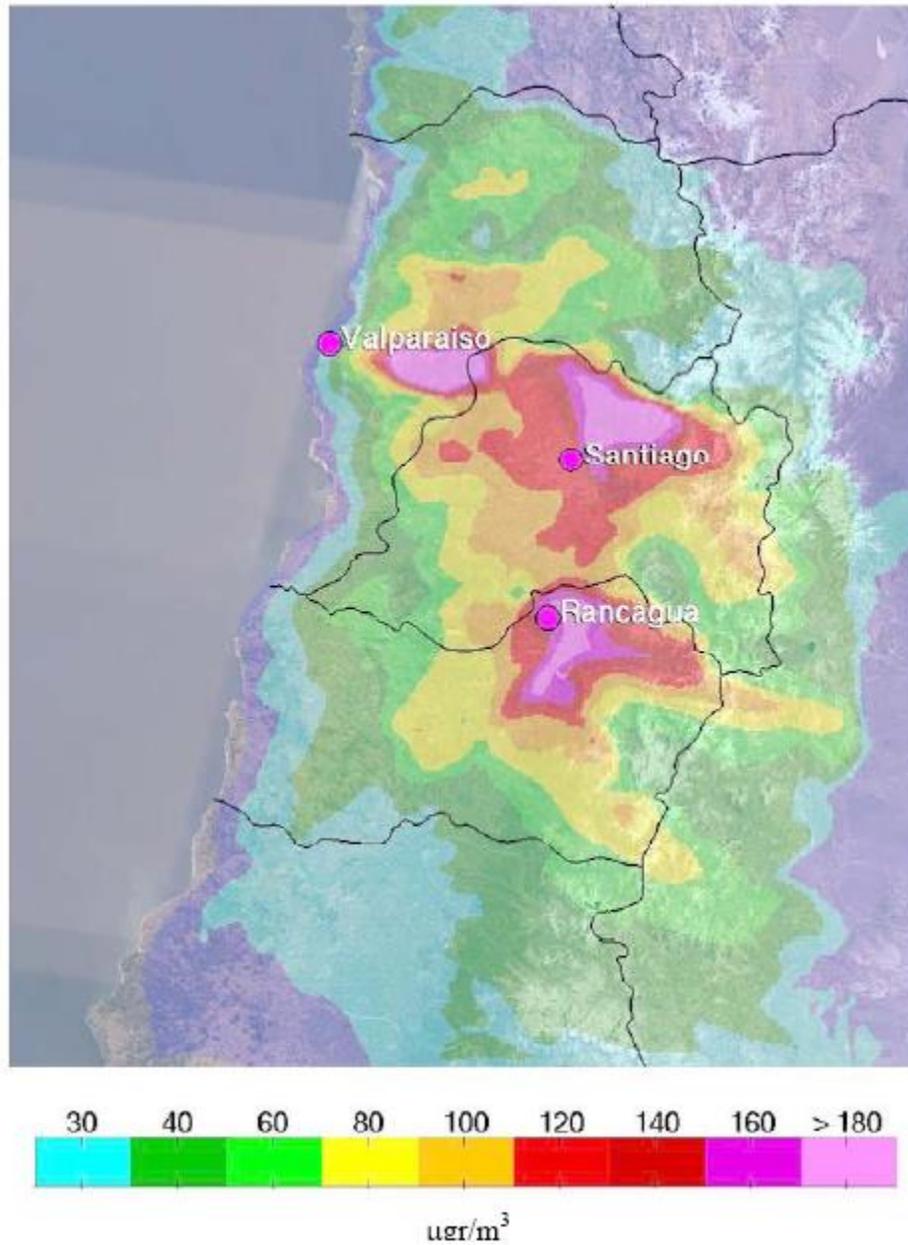
Se analizaron los inventarios originales de precursores de ozono en términos de las características de NO_x y COV_s para fuentes móviles o areales. Estos fueron corregidos en base a dos factores, la experiencia del consultor y la distribución espacial y temporal de los inventarios de emisiones originales, con el fin de encontrar razones de COV/NO_x en los centros urbanos que permitieran la producción de ozono. La Figura 11-6 y Figura 11-7 (en Anexos) muestran los promedios diarios de los inventarios modificados, que luego fueron incluidos en las simulaciones fotoquímicas con el modelo WRF/Chem.

En la Figura 3-5 se muestra el promedio de los máximos diarios de las concentraciones de ozono durante el periodo de simulación, utilizando los inventarios de emisiones modificados.

¹⁰ Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008.

¹¹ Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008.

Figura 3-5 Promedio de los máximos diarios de ozono usando los inventarios de emisiones modificados.



Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

3.3 Fuentes de aporte al MP10 en Chile Central

En 2005 se realizó un estudio para determinar el aporte de distintas fuentes al MP10 y arsénico en la zona central de Chile ¹². En particular, en el estudio se utilizó el modelo receptor PMF¹³ a partir de filtros monitoreados en la ciudad de Quillota y Linares ¹⁴.

El estudio consideró el aporte de tres fundiciones relevantes en la concentración ambiental de la zona: Chagres, Ventanas y Caletones ¹⁵. Se realizó una campaña de muestreo de la calidad del aire en la ciudad de Quillota y Linares. Adicionalmente se tomaron muestras de composición del suelo cercano al monitoreo y muestras de la pluma emitida por la fundición de Ventanas y Chagres ¹⁶.

Se utilizó el modelo receptor PMF¹⁷, para el análisis estadístico de aportes de fuentes al MP10 y MP2.5, pues es uno de los modelos más usados para este tipo de análisis y recomendado por la EPA. En términos generales, este modelo utiliza para el principio fuente/receptor el análisis factorial junto a supuestos de balance de masa para estimar y cuantificar los aportes de distintas fuentes de contaminación ¹⁸. La ventaja de este tipo de análisis es que no se requiere disponer de inventarios de emisiones atmosféricas totales en la zona, ni tampoco de realizar una modelación detallada de la formación de aerosoles secundarios, ni del aporte natural al PM. En otras palabras, el resultado del modelo de receptor permite apoyar la evaluación del modelo de dispersión, ya que aporta información que es independiente a la usada en hacer las modelaciones.

En el estudio se identificó que las condiciones meteorológicas en Chile presentaban alta variabilidad estacional. En el verano, el viento proviene principalmente del oeste, la inversión térmica ocurre a gran altitud y se tiende a romper durante el día ¹⁹. En invierno existe mayor estabilidad atmosférica, lo que genera una capa de inversión térmica de menor altitud y más duradera, lo que ocasiona malas condiciones de ventilación ²⁰.

¹² Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61 <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.11.001>>.

¹³ *Positive matrix factorization*

¹⁴ Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

¹⁵ Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

¹⁶ Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

¹⁷ <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses>

¹⁸ Philip K Hopke, 'A Guide to Positive Matrix Factorization' (Clarkson University, 2000).

¹⁹ Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

²⁰ Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

La Tabla 3-5 presenta los principales resultados del estudio. En esta tabla se distinguen las fuentes identificadas en cada ciudad y sus aportes según verano e invierno, dada las importantes diferencias entre ambas estaciones climáticas. Se observa que durante el verano la contribución de fuentes naturales de suelo y mar son importantes, y en invierno el aporte de fuentes industriales y antropogénicas aumenta considerablemente ²¹.

Tabla 3-5 Contribución promedio al MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Quillota y Linares

Average source contributions to PM10 ($\mu\text{g m}^{-3}$) in Quillota and Linares

		Quillota		Linares		
		Summer	Winter	Summer	Winter	
PM10	Smelter 1	0.4	1.8	Smelter	2.3	5.2
	Smelter 2	4.0	6.9	Soil	18.4	2.8
	Soil	19.1	15.7	Sea	2.4	1.0
	Traffic	11.3	23.1	Wood Burning	10.2	16.4
	Sea	6.1	2.7	Residual oil	1.5	2.0
	Sum modelled	40.9	50.2	Sum modelled	34.8	27.4
	Monitored level	43.8	55.0	Monitored level	30.2	27.4
	Rel. RMSE ^a (%)	15.6		Rel. RMSE ^a (%)	22.3	

^aRoot mean square error in percent of monitored mean value.

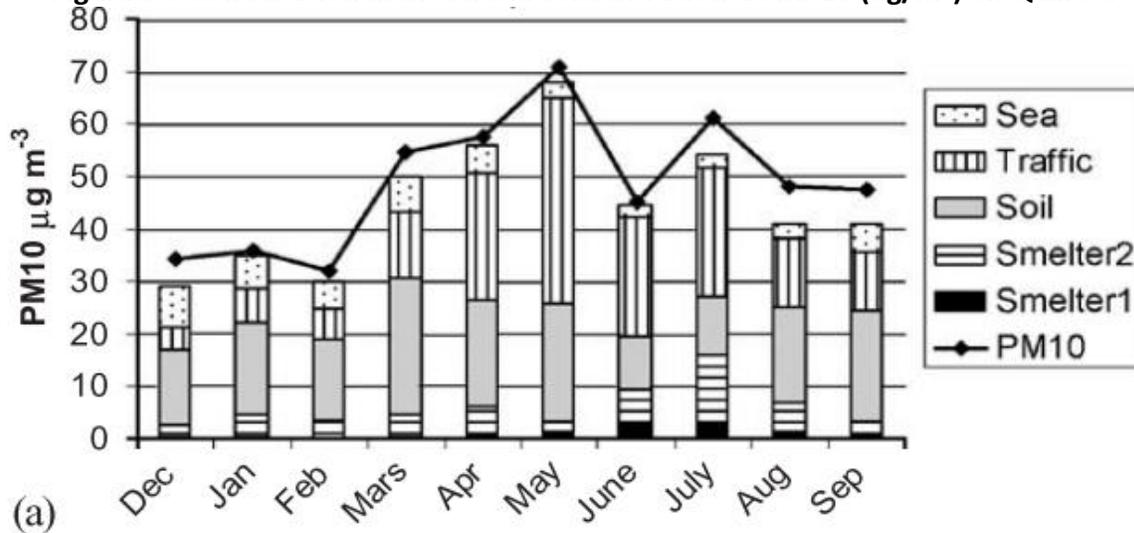
Fuente: Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61

La Figura 3-6 presenta las contribuciones mensuales de las distintas fuentes, para la comuna de Quillota. En esta se observa que la contribución del suelo es constante a lo largo del año, mientras que la contribución del tráfico vehicular es dominante en invierno ²². Se observa también que la fundición 1, identificada probablemente como Chagres, contribuye mayoritariamente en invierno; mientras que la fundición 2, identificada probablemente como Ventanas, contribuye durante todo el año y de mayor forma en invierno ²³.

²¹Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

²² Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

²³ Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

Figura 3-6 Contribución mensual a la concentración de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Quillota


Fuente: Emma Hedberg, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–61.

3.4 Inventario de Emisiones Regional

El año 2011 se realizó el último inventario de emisiones en la zona de interés, incluyendo toda la región de Valparaíso ²⁴. El objetivo principal del estudio fue la actualización del inventario de emisiones para la región considerando los contaminantes MP10, MP2.5, SO₂, NO_x, CO, NH₃ y COVs ²⁵. El año base considerado para el inventario fue el año 2008.

Las distintas fuentes emisoras fueron clasificadas en categorías: fijas, móviles en ruta, areales, fugitivas y móviles fuera de ruta ²⁶. Las emisiones de cada categoría se calcularon considerando diversas fuentes emisoras y distinto nivel de detalle.

Los resultados a nivel regional del inventario son:

- MP10:** Se estiman 11.5 mil toneladas por fuentes estacionarias (fijas y areales), principalmente por combustión y procesos; y 41 mil toneladas por polvo fugitivo, principalmente por construcción y polvo resuspendido.

²⁴ Ambiosis and others, *Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional*, 2011.

²⁵ Ambiosis and others, *Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional*, 2011.

²⁶ Ambiosis and others, *Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional*, 2011.

- **MP2.5:** Se estiman 9 mil toneladas por fuentes estacionarias, principalmente por combustión y quema de leña residencial y 6 mil toneladas por polvo fugitivo.
- **CO:** Se estima 95 mil toneladas, principalmente por fuentes móviles y quema de leña residencial.
- **NOx:** Se estiman 50 mil toneladas, principalmente por fuentes móviles y combustión de fuentes fijas.
- **SO₂:** Se estiman 55 mil toneladas, principalmete por fuentes fijas de combustión.

En el inventario regional se analizan los aportes de una sola de las comunas de interés, Catemu²⁷. La Figura 3-7 y Figura 3-8 presentan estos resultados, donde se observa que para las emisiones de MP10 y MP2.5 el principal aporte proviene de fuentes fijas de procesos de la fundición Chagres y de la combustión de leña²⁸. Se observa también que la mayoría del SO₂ proviene de las fuentes fijas, en particular de la fundición Chagres.

Figura 3-7 Resultados inventario de emisiones comuna Catemu fuentes estacionarias y móviles, año 2008

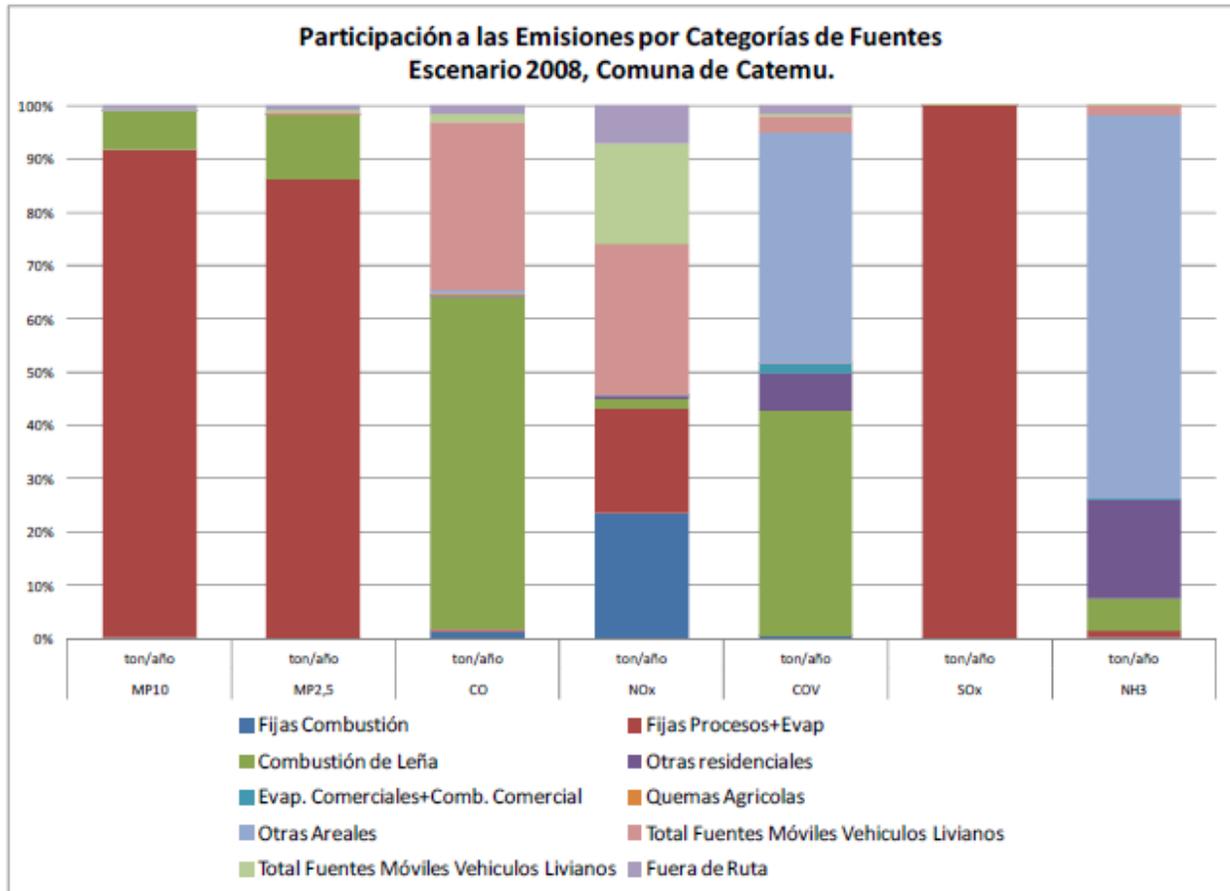
INVENTARIO DE EMISIONES ANUAL COMUNA DE CATEMU, ESCENARIO 2008							
FUENTES FIJAS, AREALES Y MÓVILES ESCENARIO 2008							
Categoría de Fuente	MP10 ton/año	MP2,5 ton/año	CO ton/año	NOx ton/año	COV ton/año	SOx ton/año	NH3 ton/año
Fijas Combustión	1,98	0,47	12,14	56,12	4,42	3,73	0,12
Fijas Procesos+Evap	798,82	441,49	4,75	46,92	0,16	11.666,05	0,88
Combustión de Leña	63,70	61,78	595,50	4,41	539,84	0,68	3,73
Otras residenciales	0,06	0,02	0,35	1,39	88,16	0,11	11,97
Evap. Comerciales+Comb. Comercial	0,18	0,18	0,39	0,04	24,20	0,00	0,06
Quemas Agrícolas	0,82	0,79	5,12	0,24	0,48	0,03	-
Otras Aerales	0,82	0,79	6,20	0,27	551,07	0,03	46,12
Total Estacionarias	866,38	505,53	624,44	109,39	1.208,32	11.670,63	62,89
Total Fuentes Móviles Vehiculos Livianos	0,66	0,61	301,20	67,67	38,77	0,29	1,07
Total Fuentes Móviles Vehiculos Livianos	2,06	1,89	14,23	44,94	5,73	0,81	0,01
Fuera de Ruta	4,74	4,36	13,31	16,81	18,74	-	0,0000
Total Móviles	7,46	6,86	328,74	129,42	63,24	1,09	1,0855
TOTAL MOVILES Y ESTACIONARIAS	873,84	512,39	953,17	238,80	1.271,55	11.671,72	63,97

Fuente: Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011

²⁷ Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.

²⁸ Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.

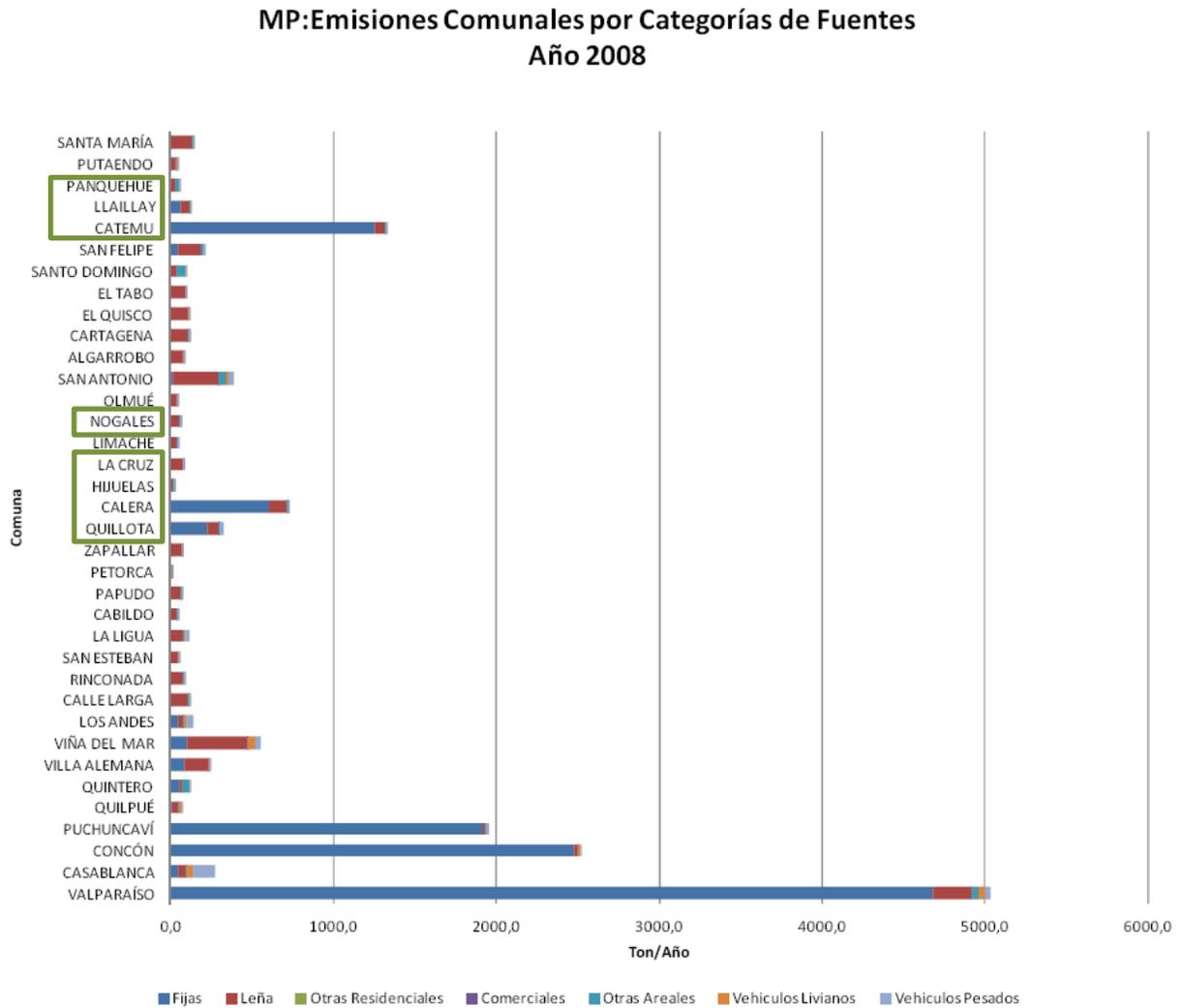
Figura 3-8 Participación en las emisiones por categoría de fuentes comuna Catemu, año 2008



Fuente: Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011

La Figura 3-9 presenta las emisiones de MP por comuna, y se destacan las de interés para el presente estudio. Se observa que las comunas con mayor emisión de MP son Catemu y La Calera, con presencia importante de emisiones de fuentes fijas y en menor medida de combustión a leña residencial.

Figura 3-9 Emisiones de MP por comuna y categoría de fuentes, año 2008



Nota: En verde se destacan las comunas de interés para el presente estudio.

Fuente: Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011

4. Análisis de la Calidad el Aire

En la presente sección se busca realizar un análisis de las concentraciones ambientales monitoreadas en la zona de interés, de acuerdo al objetivo específico a) del presente estudio. Este objetivo es el análisis de datos meteorológicos y de concentraciones registradas en estaciones de monitoreo en redes de empresas privadas en la zona.

La información utilizada en la presente sección fue entregada por la contraparte técnica del estudio, y corresponde a lo declarado y registrado por las empresas en la zona. En particular se cuenta con registros de concentración y datos meteorológicos registrados por estaciones de monitoreo particulares, y recopiladas por la contraparte técnica.

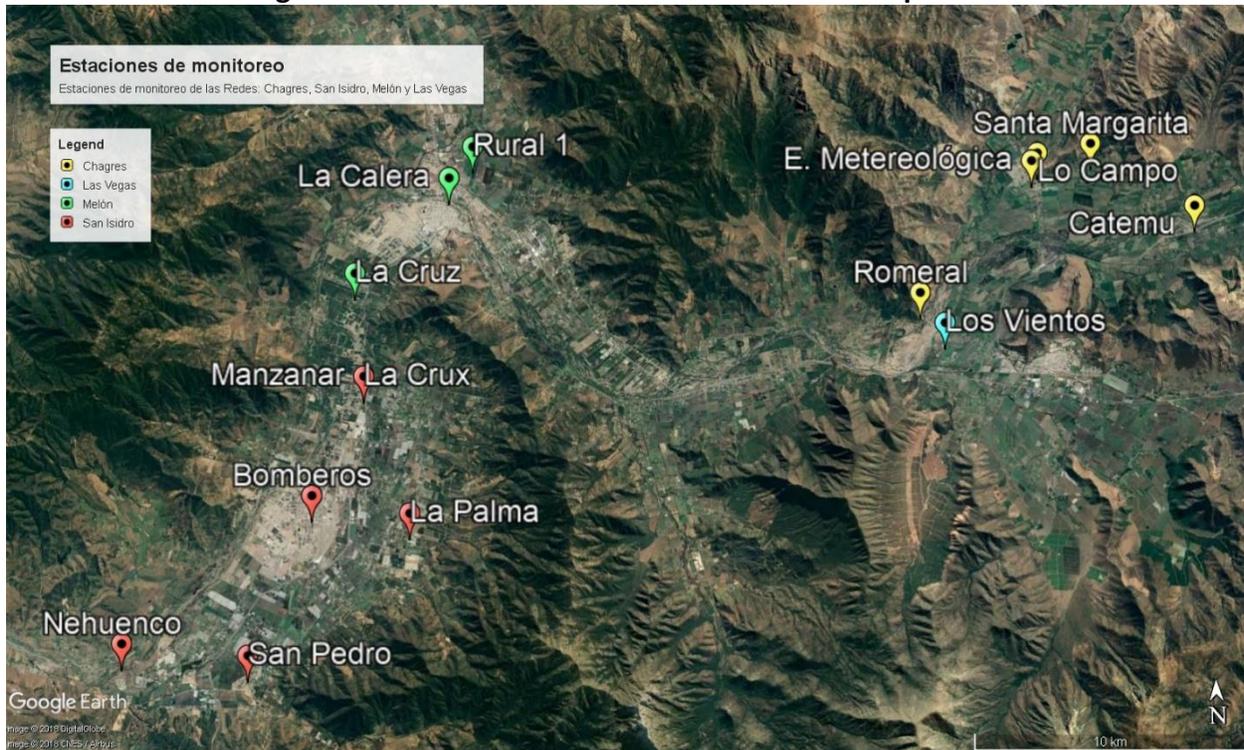
4.1 Descripción de estaciones y variables medidas

La Figura 4-1 muestra la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo en la zona de interés. En total se contabilizan 15 estaciones, en cuatro redes distintas:

- Red Chagres
- Red La Vegas
- Red Melón
- Red San Isidro - Nehuenco

Se debe destacar que todas las estaciones de monitoreo son operadas por empresas privadas, y miden distintos parámetros de meteorología y contaminación.

Figura 4-1 Ubicación de estaciones de monitoreo por red



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Las coordenadas geográficas exactas de cada estación se presentan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Ubicación nominal y coordenadas geográficas de cada estación

Red	Estación	Coordenada UTM (m)		Comuna
		Latitud	Longitud	
Chagres	Santa Margarita	6.371.812	318.469	Catemu
	Lo Campo	6.369.529	322.275	Panquehue
	Catemu	6.371.481	316.512	Catemu
	Romeral	6.366.428	312.181	Hijuelas
	E. Meteorológica	6.371.200	316.300	Catemu
San Isidro - Nehuenco	Nehuenco ^a	6.353.854	282.790	Quillota
	Bomberos	6.359.202	289.818	Quillota
	San Pedro	6.353.393	287.422	Quillota
	La Palma	6.358.533	293.403	Quillota
	La Cruz	6.363.531	291.759	Quillota
	Manzanar	6.363.531	291.759	Quillota
Melón	La Calera	6.370.730	294.940	La Calera
	La Cruz	6.367.285	291.464	La Cruz
	Rural 1	6.371.858	295.815	La Calera
Las Vegas	Los Vientos	6.365.324	313.086	Llay Llay

a. Corresponde a la estación meteorológica de la central termoeléctrica Nehuenco

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Tabla 4-2 y Tabla 4-3 se señalan los contaminantes y parámetros medidos en forma horaria en cada estación de monitoreo respectivamente. Se observa que ninguna estación mide el MP2.5, y en 8 de las 15 se mide MP10. En todas las estaciones se monitorea velocidad y dirección del viento.

Tabla 4-2 Contaminantes medidos por Estación

Red	Estación	MP10	NOx	NO ₂	NO	SO ₂	CO
Chagres	Santa Margarita	x	x	x	x	✓	x
	Lo Campo	✓	x	x	x	✓	x
	Catemu	✓	x	x	x	✓	x
	Romeral	x	x	x	x	✓	x
	E. Meteorológica	x	x	x	x	x	x
San Isidro - Nehuenco	Nehuenco	x	x	x	x	x	x
	Bomberos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	San Pedro	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	La Palma	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	La Cruz	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Manzanar	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Melón	La Calera	x	x	✓	✓	✓	x
	La Cruz	x	x	x	x	✓	x
	Rural 1	x	x	✓	✓	✓	x
Las Vegas	Los Vientos	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Tabla 4-3 Parámetros medidos por Estación

Red	Estación	Velocidad del viento	Dirección del viento	Temperatura
Chagres	Santa Margarita	✓	✓	✗
	Lo Campo	✓	✓	✗
	Catemu	✓	✓	✗
	Romeral	✓	✓	✗
	E. Meteorológica	✓	✓	✓
San Isidro - Nehuenco	Nehuenco	✓	✓	✓
	Bomberos	✓	✓	✗
	San Pedro	✓	✓	✗
	La Palma	✓	✓	✗
	La Cruz	✓	✓	✗
Melón	Manzanar	✓	✓	✗
	La Calera	✓	✓	✗
	La Cruz	✓	✓	✗
Las Vegas	Rural 1	✓	✓	✓
	Los Vientos	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

4.2 Concentración promedio anual

En la presente sección se muestra la disponibilidad de datos y el promedio anual de MP10. Se debe señalar que estos datos fueron obtenidos a partir de las mediciones discretas, realizadas cada tres días mediante gravimetría y filtros.

A continuación, se muestra la disponibilidad de datos horarios MP10. Se observa que en todas las estaciones con filtros se tienen casi la totalidad de los datos.

Tabla 4-4 Disponibilidad de filtros de MP10 [días/año]

Red	Sitio	2015	2016	2017
Chagres	Catemu	119	121	122
	Lo Campo	119	122	122
Melón	Calera	122	122	122
	La Cruz	122	122	122
	Rural 1	122	122	122

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Tabla 4-5 se muestra el promedio anual de MP10 medido en las redes Chagres y Melón.

Tabla 4-5 Promedio anual MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$]

Red	Sitio	2015	2016	2017	Promedio Trianual
Chagres	Catemu	78	73	66	72
	Lo Campo	44	42	37	40
Melón	Calera	53	51	48	51
	La Cruz	39	35	35	36
	Rural 1	40	37	35	37
San Isidro-Nehuenco ^a	Bomberos	43	39	37	40
	San Pedro	37	35	33	35
	La Palma	34	32	32	33
	Manzanar	29	27	29	28
	La Cruz	51	49	49	50

a. Mediciones continuas

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Como referencia, la norma anual de MP10 está fijada en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y la condición de latencia (80%) en $40 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. En la Tabla 4-5 se observa que en la estación Catemu la norma anual se supera para los tres años, y en la estación Calera la norma se supera en el promedio trianual. La estación Lo Campo se encuentra en condición de latencia de acuerdo al promedio trianual y en las otras estaciones la norma no se supera en ningún año, excepto en Rural 1 en el año 2015, donde se alcanza la condición de latencia. Para las estaciones de la red Neuenco, que son mediciones continuas, se observa que la estación La Cruz alcanza la norma anual para su promedio trianual, mientras que la estación Bomberos se encuentra en condición de latencia.

4.3 Concentración promedio diaria

En la presente sección se analizan los promedios diarios de los contaminantes medidos discretamente (MP10), es decir, mediante filtros. Cabe señalar que la medición discreta se realiza cada tres días. Se analiza el percentil 98 de la concentración diaria de cada año.

Tabla 4-6 Percentil 98 de la concentración diaria de MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$]

Red	Sitio	2015	2016	2017
Chagres	Catemu	167	126	132
	Lo Campo	76	72	62
Melón	Calera	103	91	89
	La Cruz	15	62	66
	Rural 1	81	67	74
San Isidro-Nehuenco ^a	Bomberos	97	74	74
	San Pedro	80	62	63
	La Palma	75	54	57
	Manzanar	65	50	62
	La Cruz	106	82	83

a. Mediciones continuas

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

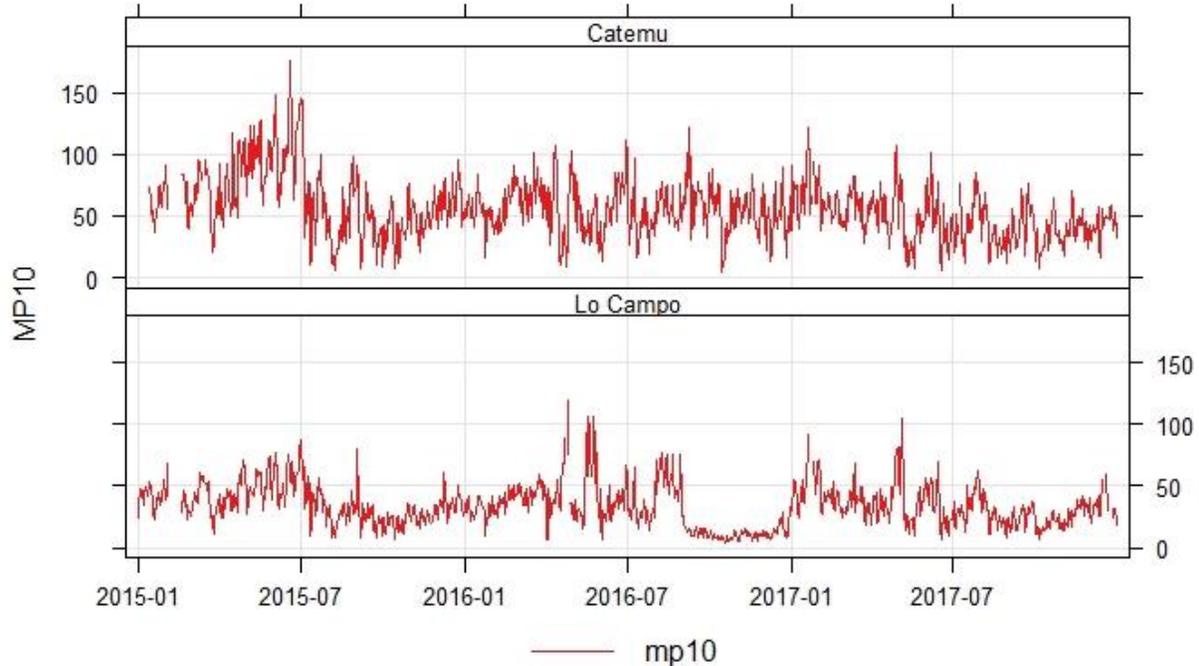
La norma medida como percentil 98 de la concentración diaria está fijada en $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP10, por lo tanto, esta es superada en la estación Catemu el año 2015. Para las demás estaciones y años no se supera la norma diaria.

4.4 Serie temporal de concentración de material particulado y precursores

En los siguientes gráficos se ilustra la progresión temporal de los niveles de MP10 y sus precursores en forma de series de tiempo para las quince estaciones de monitoreo, las cuales registran la concentración en frecuencia horaria (medición continua). Para facilitar el desarrollo del análisis, este se dividió por las cuatro redes.

4.4.1 Análisis Red Chagres

La Figura 4-2 muestra la progresión diaria de la concentración de MP10 para la Red Chagres.

Figura 4-2 Progresión de MP10 diaria período 2015- 2017 Red Chagres [ug/m³N]


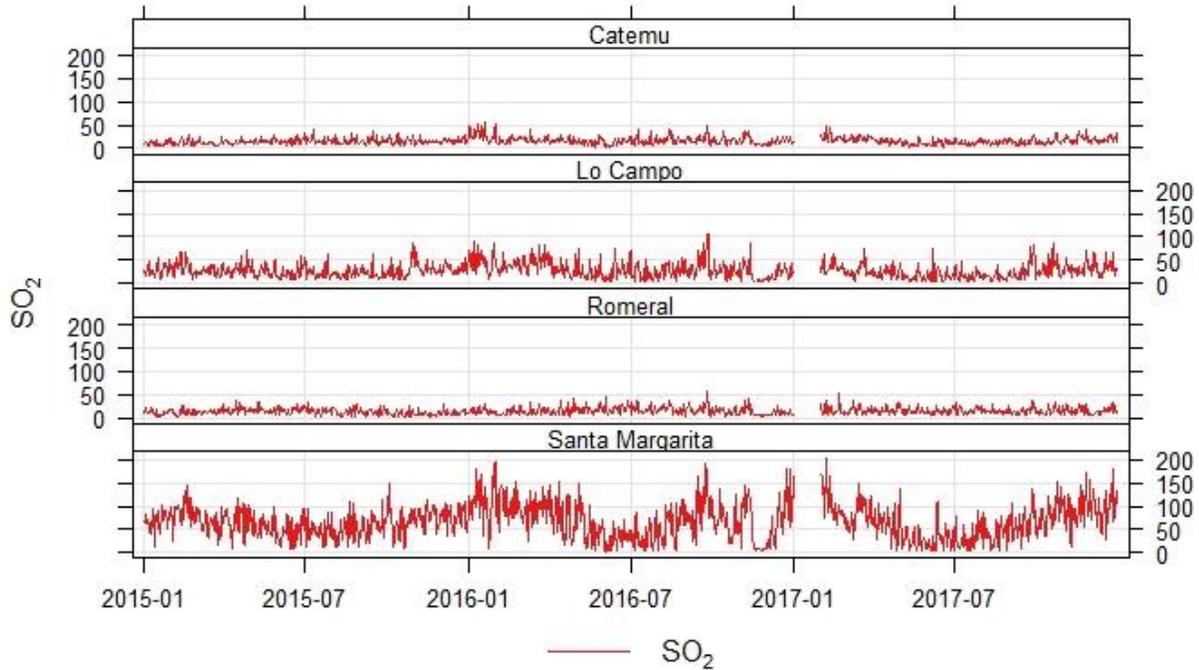
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

A partir de la Figura 4-2 es posible observar que no existe una tendencia de estacionalidades evidentes ni decrecimiento a través de los años. Salvo en la estación Catemu que tiene un aumento de concentraciones en el 2015, para luego decrecer el resto de los años. La norma diaria de MP10 correspondiente a 150 ug/m³N se ve sobrepasada únicamente en una oportunidad durante el año 2015²⁹. La concentración promedio de ambas estaciones se centra en 50 ug/m³N, valor más alto que en otras redes.

En la Figura 4-3 muestra la progresión diaria de SO₂.

²⁹ Esto no indicaría superación de la norma, ya que esta se evalúa con el percentil 98 de los promedios diarios.

Figura 4-3 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red Chagres [ug/m³]



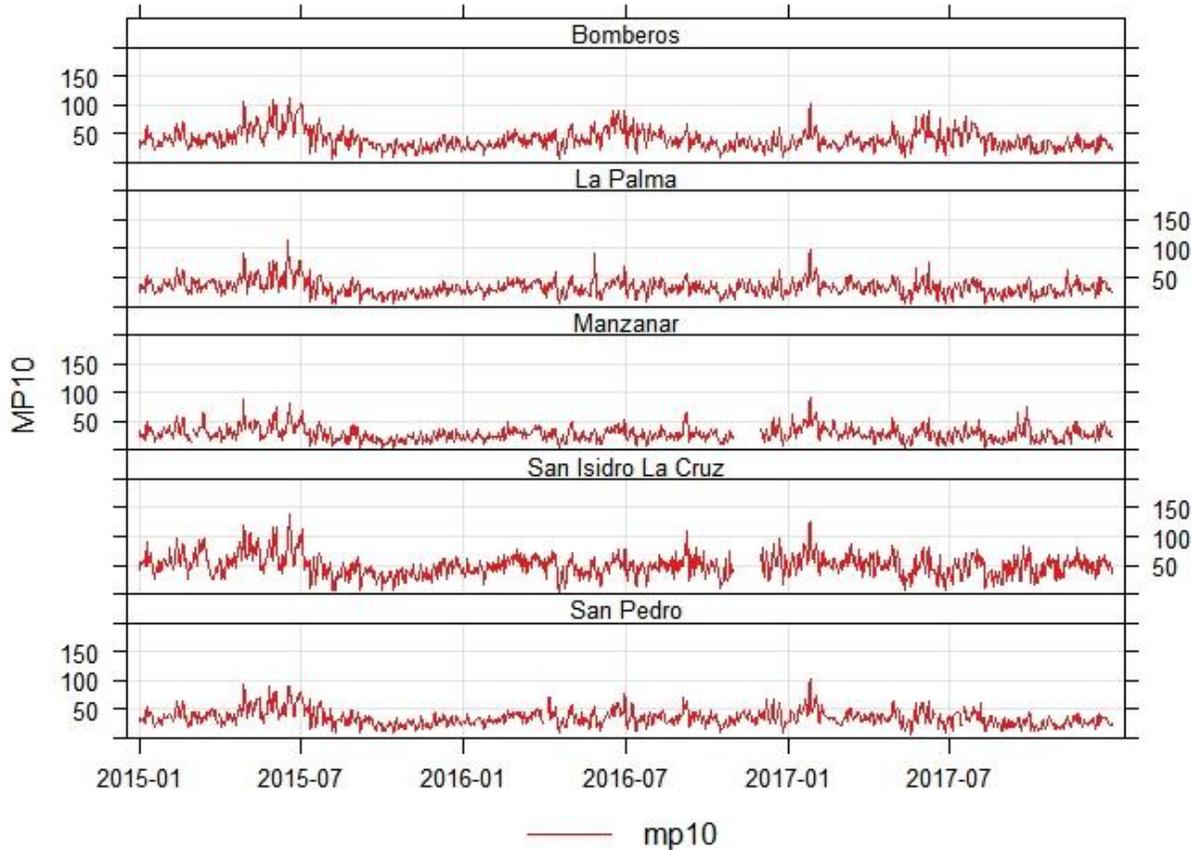
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-3 se evidencia una concentración constante de SO₂, entre 0 a 50 ug/m³, para el período en las estaciones de Catemu, Lo Campo y Romeral. Por otro lado, en la estación Santa Margarita se miden concentraciones mucho mayores, alcanzando hasta 200 ug/m³. Como referencia la norma anual de SO₂ es de 250 ug/m³ por lo que esta no se supera en ningún caso. Los valores son más altos que en el resto de las redes pues en esta red se encuentra cercana a la Fundación Chagres, una de las principales fuentes emisoras de SO₂.

4.4.2 Análisis Red San Isidro

En la Figura 4-4 se muestra la progresión diaria de MP10.

Figura 4-4 Progresión de MP10 diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³N]

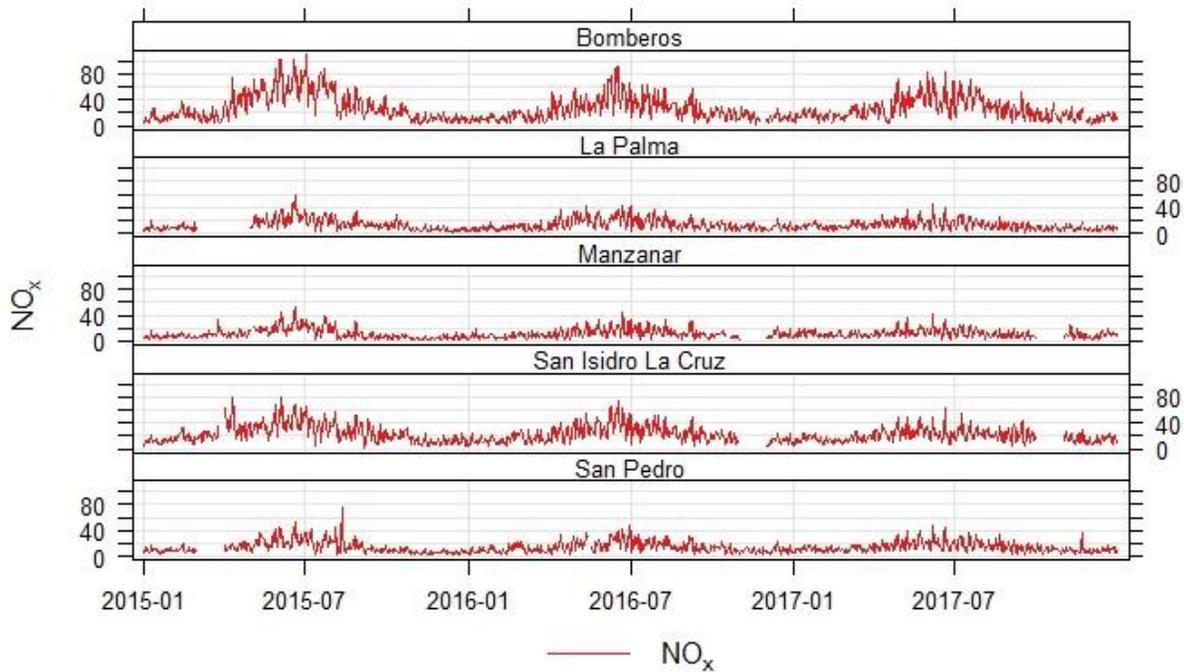


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Es posible observar que, al igual que en la red Chagres, el material particulado grueso no presenta una tendencia notoria. Las cinco estaciones miden similarmente al MP10, sin causar diferencias mayores. Sin embargo, se percibe que en invierno las concentraciones son levemente mayores. En la Sección 4.5.2 se muestra específicamente el comportamiento de concentración según temporalidad climática.

En la Figura 4-5 se muestra la progresión de NOx.

Figura 4-5 Progresión de NOx diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³]

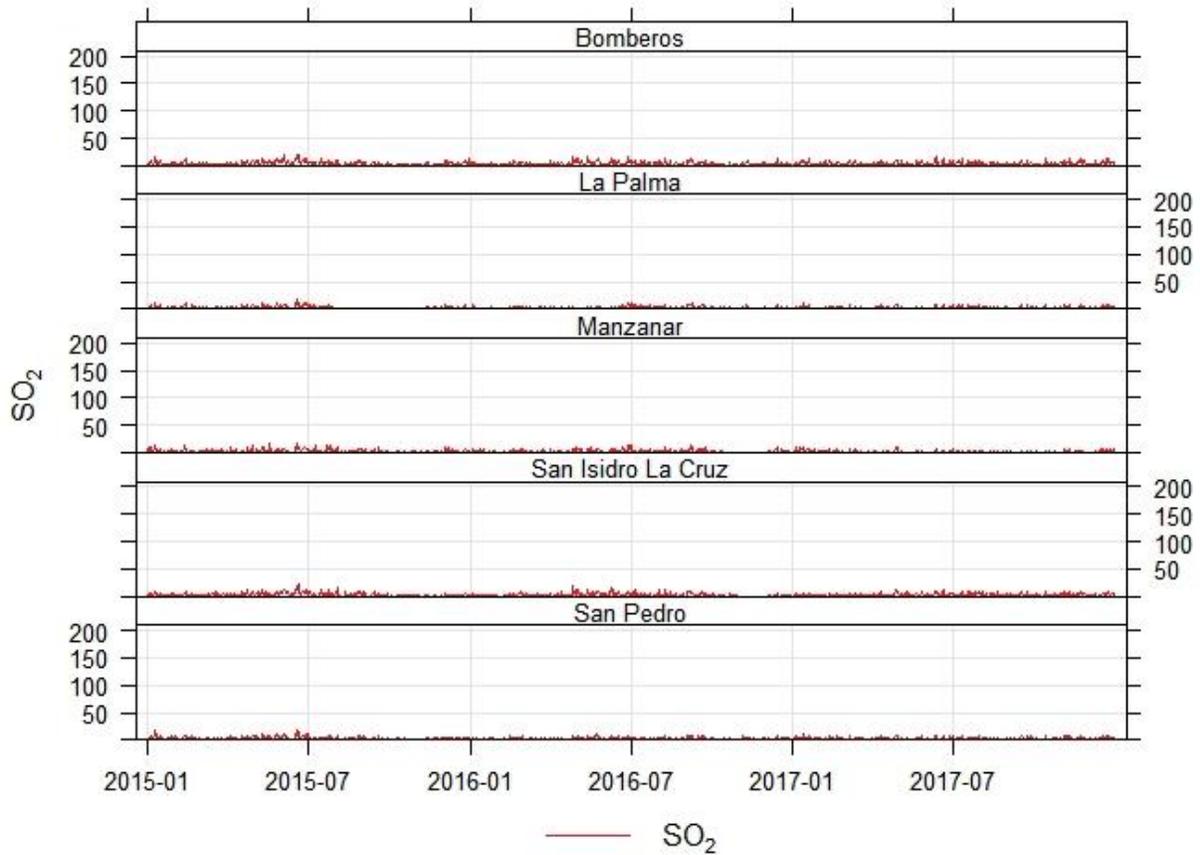


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-5 es posible observar la estacionalidad de este contaminante, el que se pronuncia en mayor magnitud en los meses de invierno. Su principal fuente de emisión no natural proviene de los combustibles fósiles utilizados para el transporte, calefacción y generación de energía. Además, el efecto de inversión térmica se acentúa en invierno y no permite la circulación vertical de gases, causando las mayores concentraciones de NO_x.

En el siguiente gráfico se muestra la progresión de SO₂.

Figura 4-6 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³]

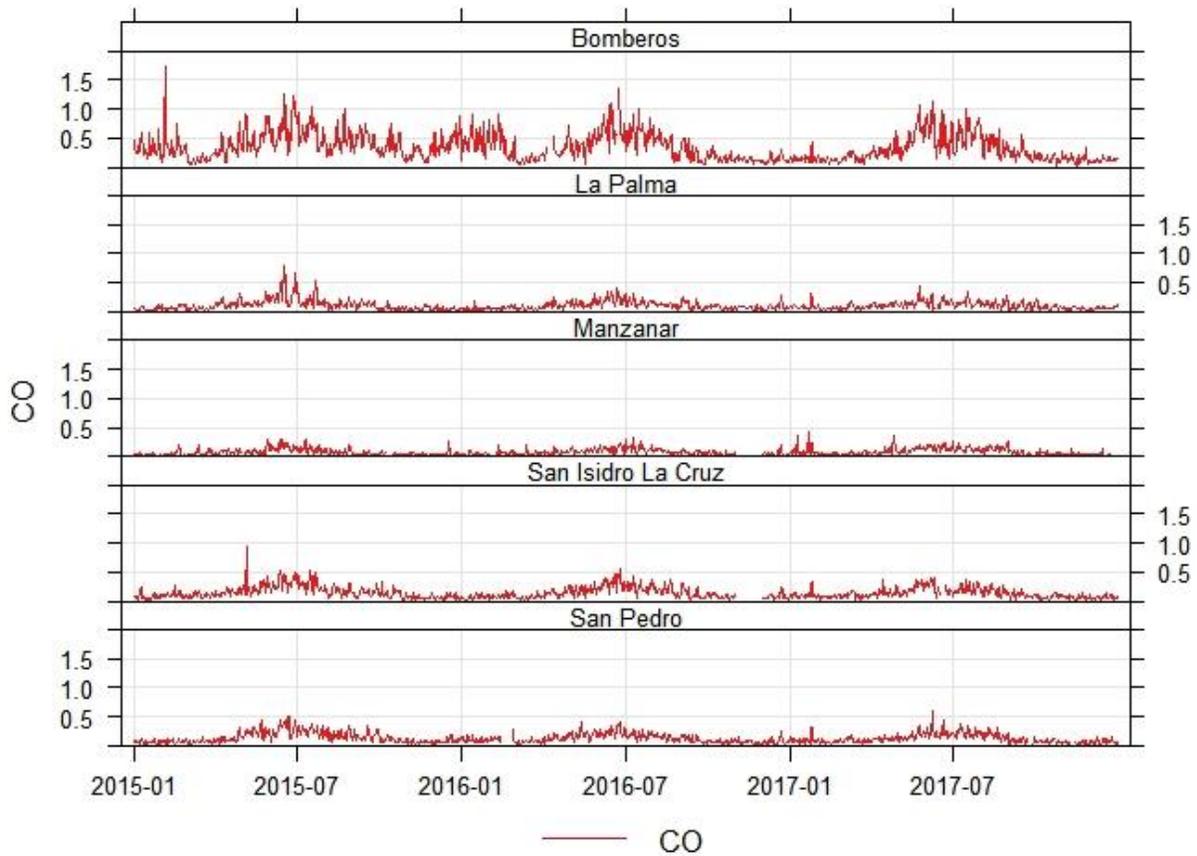


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-6 es posible ver que la concentración de SO₂ no ha disminuido ni aumentado en el período. Al igual que con el NO_x, se puede apreciar una leve estacionalidad marcada en los meses de invierno, donde las concentraciones son mayores.

En la Figura 4-7 se muestra una progresión de CO.

Figura 4-7 Progresión de CO diaria período 2015- 2017 Red San Isidro [ug/m³]



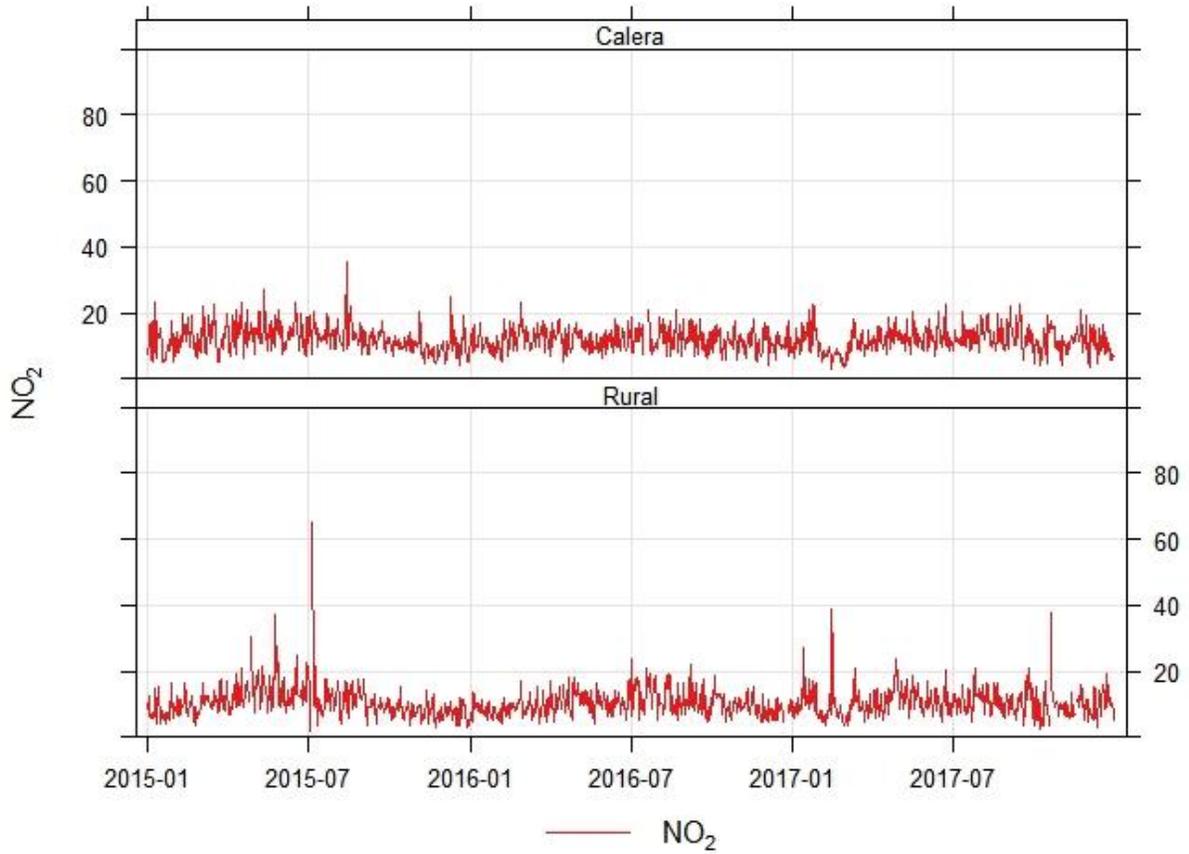
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-7 se pueden observar bajas concentraciones de CO. Estas alcanzan como máximo 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.4.3 Análisis Red Melón

En la siguiente figura se muestra una progresión para el NO₂.

Figura 4-8 Progresión de NO₂ diaria período 2015- 2017 Red Melón [ug/m³]

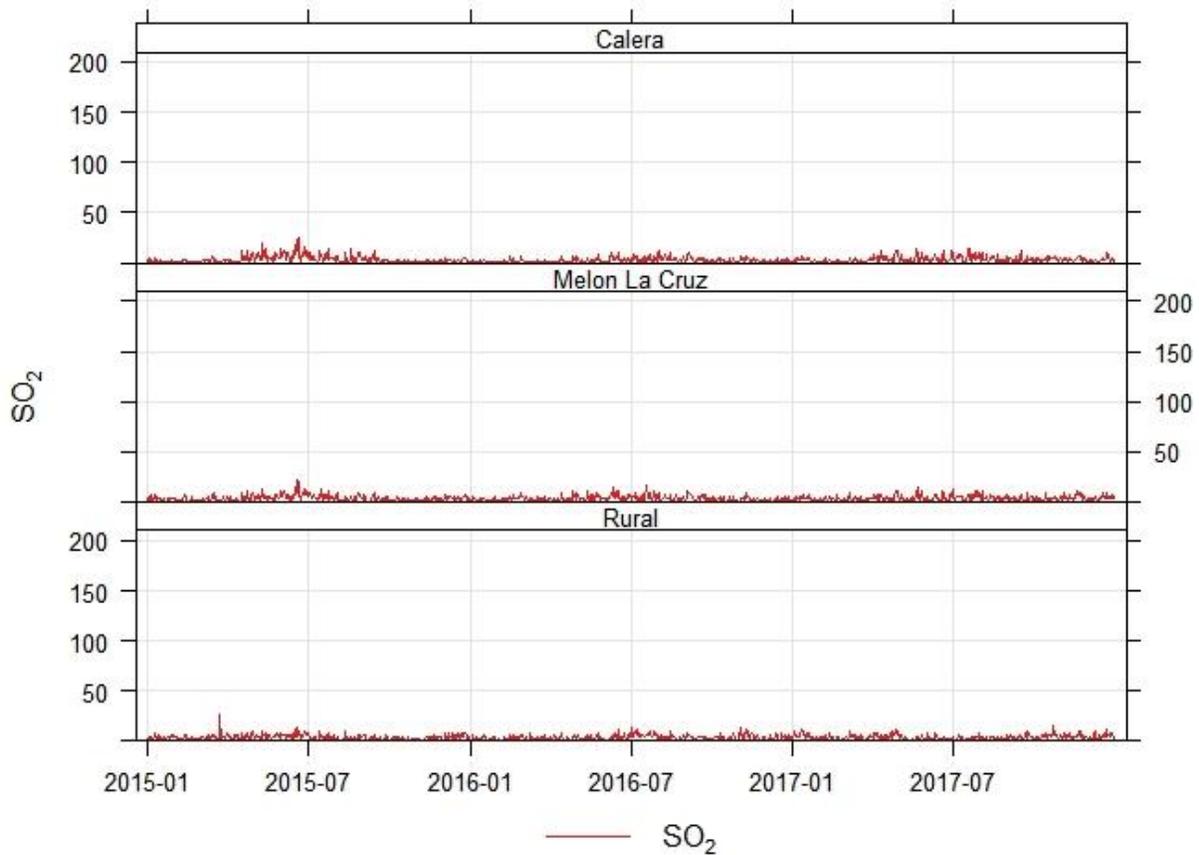


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-8 es posible observar una progresión constante a lo largo de los años, rondando los 15 ug/m³.

A continuación, se muestra una progresión para el SO₂.

Figura 4-9 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red Melón [ug/m³]



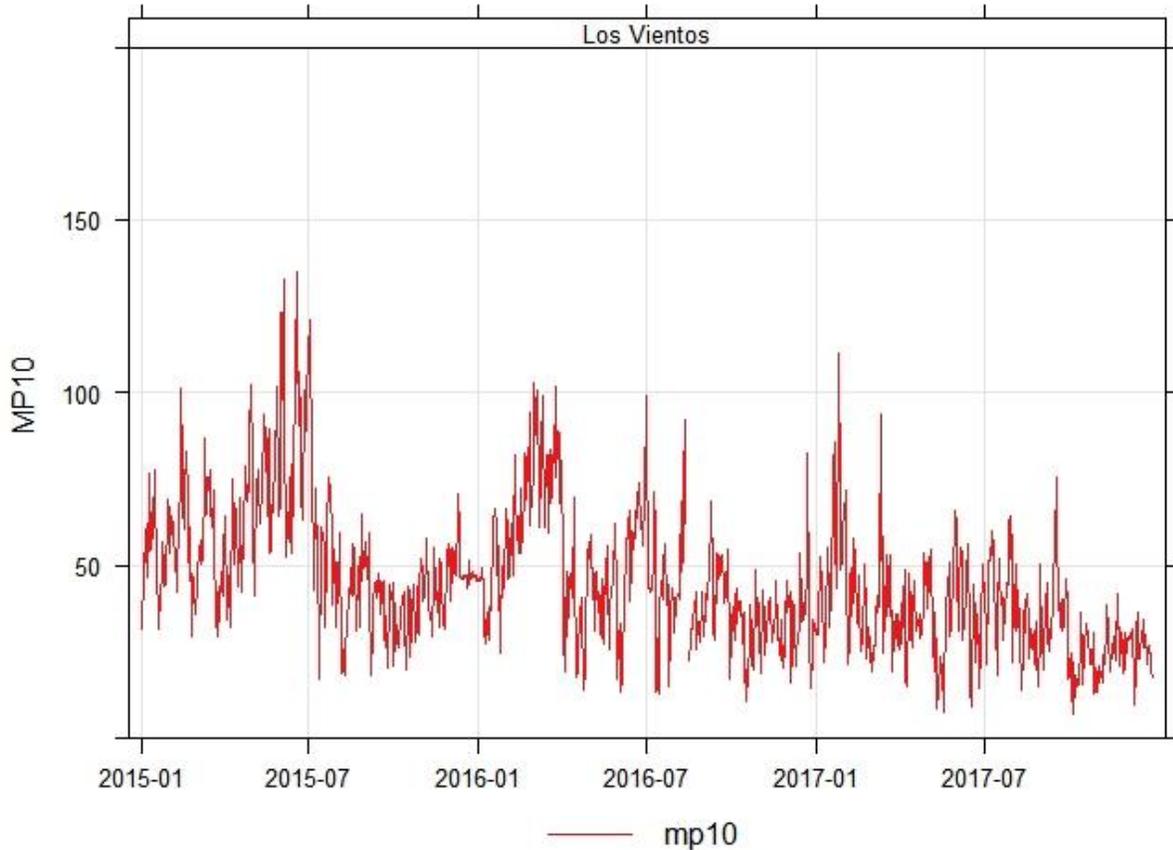
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-9 es posible observar que no existe mayor diferencia entre estaciones, esto se puede deber a su cercanía. Se observa un aumento importante durante los meses de invierno.

4.4.4 Análisis Red Las Vegas

La Figura 4-10 muestra la progresión de MP10.

Figura 4-10 Progresión de MP10 diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³N]

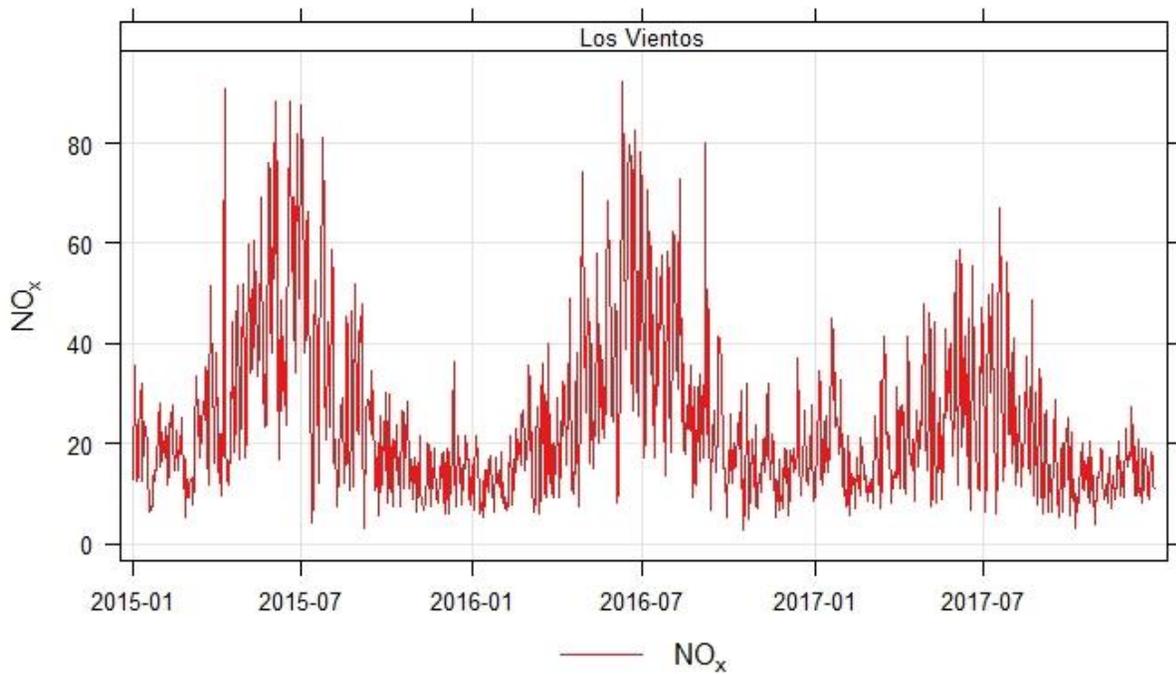


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

A través de la Figura 4-10 es posible observar la tendencia a disminuir de la concentración de MP10. En el año 2015 se bordea la norma diaria, alcanzando un máximo cercano a 150 ug/m³N, y hacia el año 2017 se llega a concentraciones inferiores a 25 ug/m³N.

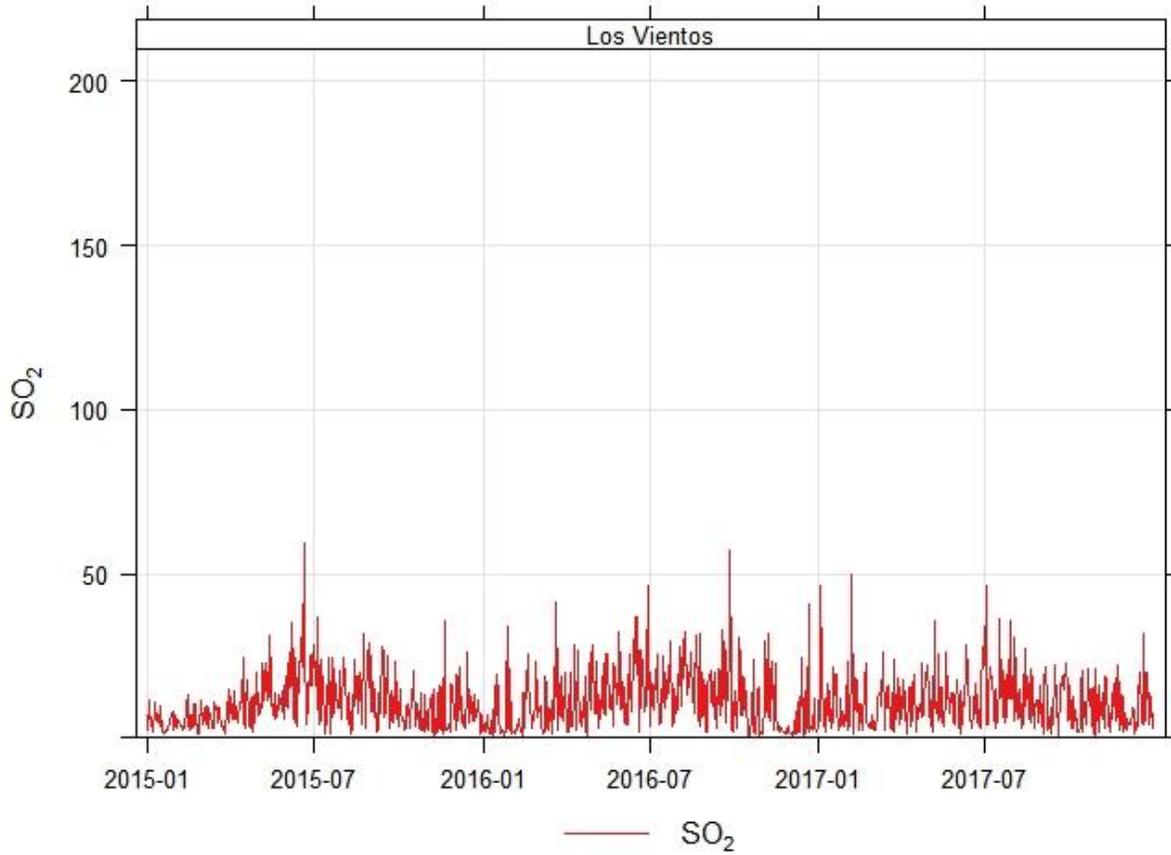
La Figura 4-11 muestra las progresiones diarias de NO_x, y al igual que en las otras estaciones, se observa un aumento de concentración en los meses de invierno. En particular dicho aumento llega a ser cinco veces mayor que las concentraciones alcanzadas en los meses de verano.

Figura 4-11 Progresión de NOx diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³]



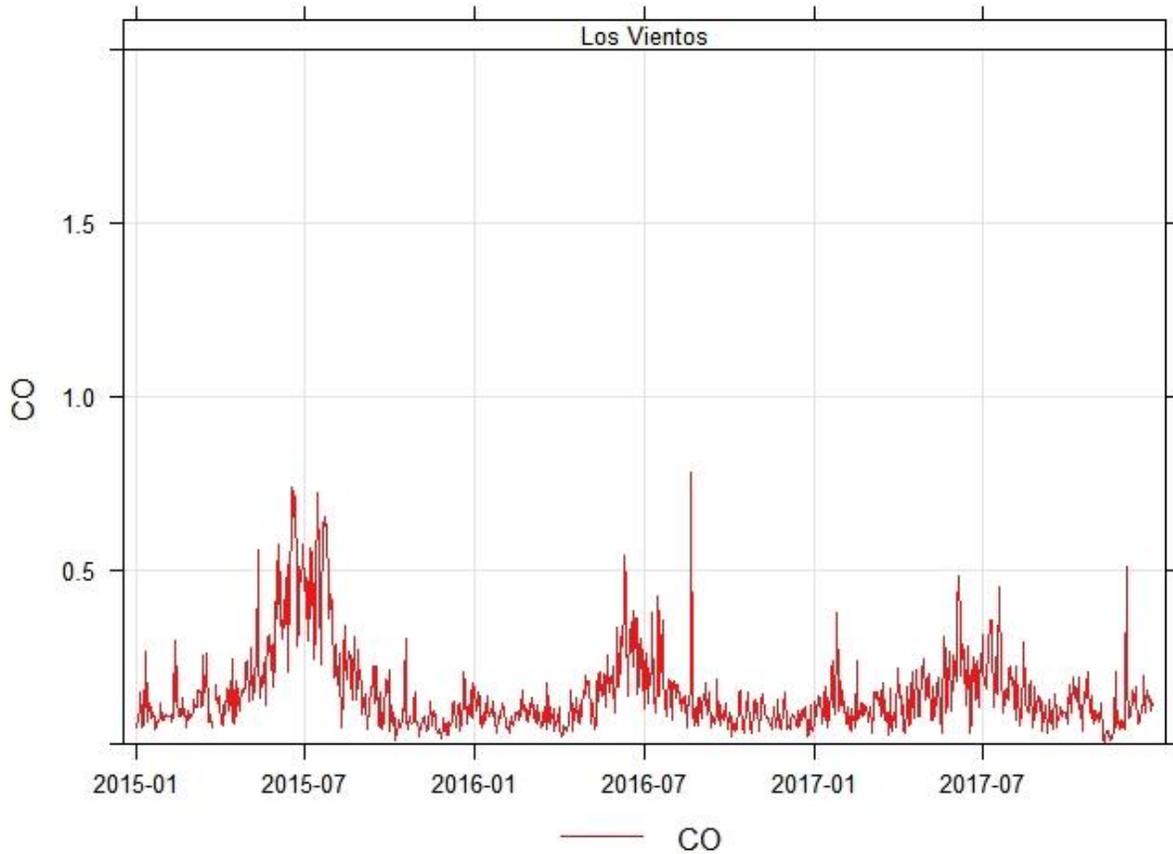
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

A continuación se muestra la progresión de SO₂ y CO en Figura 4-12 y Figura 4-13 respectivamente. Para ambas se puede concluir que los niveles se han mantenido constantes en el período, además de notar un leve aumento de concentraciones en el período invernal. Las concentraciones medias de SO₂ bordean los 10 ug/m³ mientras que las concentraciones de CO alcanzan un valor medio de 0,2 ug/m³.

Figura 4-12 Progresión de SO₂ diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³]

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 4-13 Progresión de CO diaria período 2015- 2017 Red Las Vegas [ug/m³]



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

4.5 Análisis temporal de la concentración de material particulado y precursores

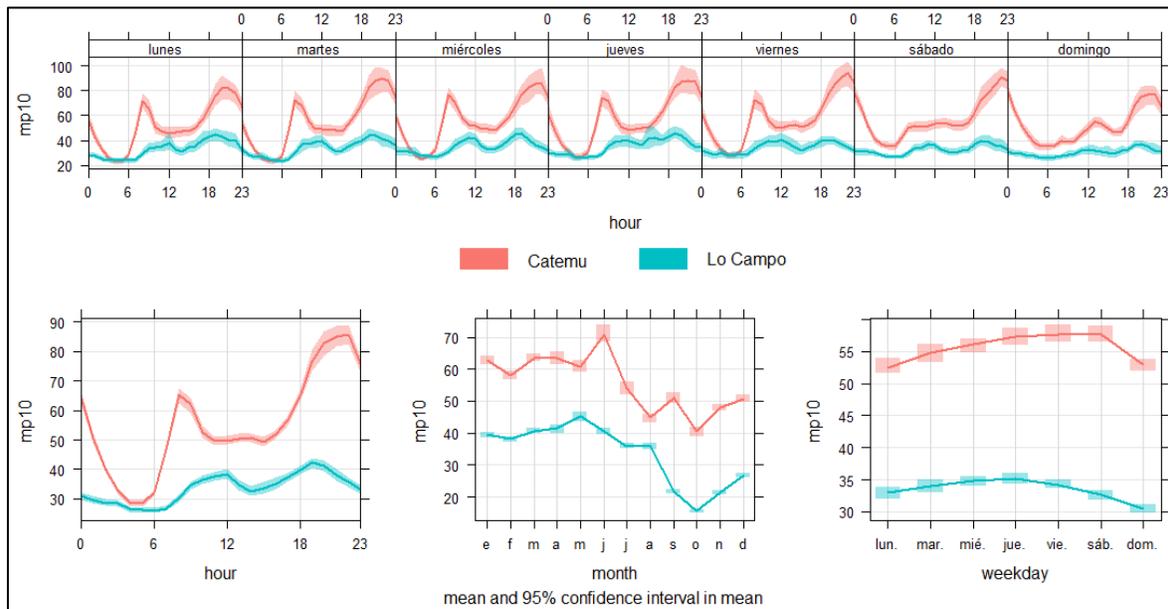
En la presente sección se analizan las variaciones mensuales, semanales, diarias y horarias de la concentración de material particulado grueso y sus precursores. Al igual que en la Sección 4.4, se modelarán las 15 estaciones de monitoreo, las cuales registran la concentración en frecuencia horaria (medición continua).

Según la Sección 4.4 es posible concluir que no existen mayores diferencias de medición entre las estaciones de una misma red. Por lo tanto, se continuará con un análisis más global a escala de red.

4.5.1 Análisis Red Chagres

En la Figura 4-14 se muestra la variación temporal de la concentración de MP10, para las estaciones de la Red Chagres que monitorean concentraciones de MP10, específicamente estación Catemu y Lo Campo, según escala mensual, semanal y horaria.

Figura 4-14 Variación temporal de la concentración [ug/m³N] de MP10 Red Chagres, Periodo 2015-2017.



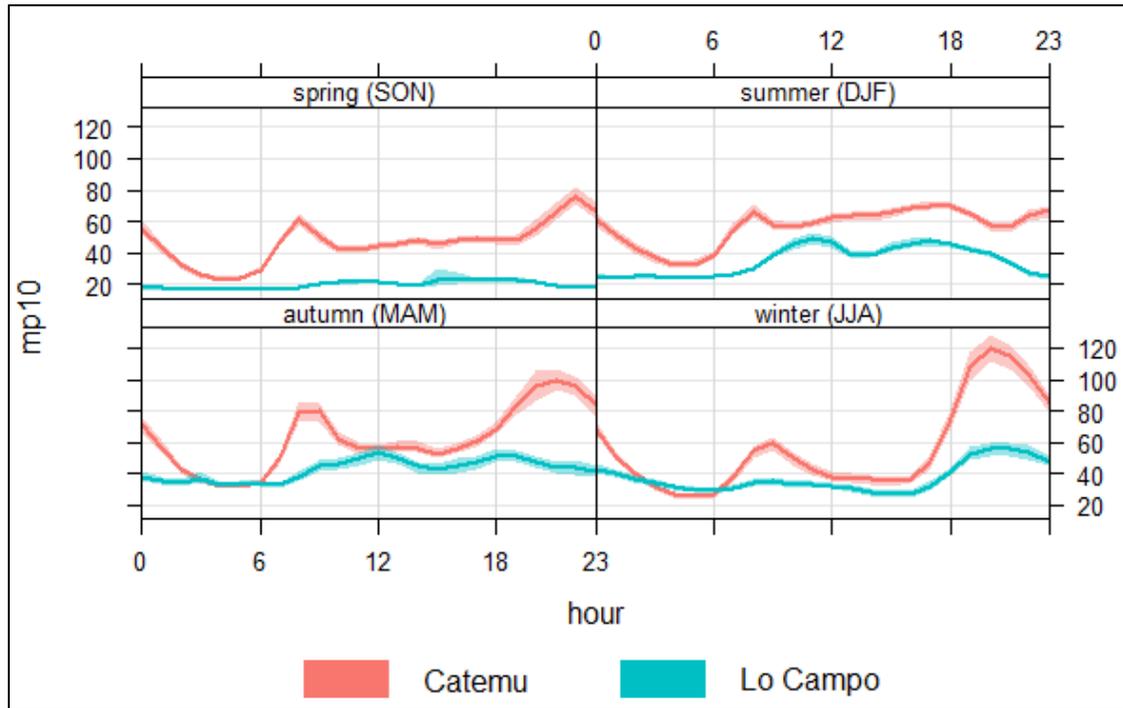
Fuentes: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-14 se observa el comportamiento del MP10 a diferentes escalas temporales:

- **Escala mensual:** Se evidencia que los niveles de MP10 aumentan considerablemente en los meses de invierno (alcanzando los 70 ug/m³N para Catemu) y disminuyen en primavera-verano (cayendo a 40 ug/ m³N para Catemu). Este aumento se puede explicar por:
 - Mayores condiciones de estabilidad atmosférica en invierno, provocada por el efecto de la inversión térmica que dificulta la ventilación de la zona.
- **Escala semanal:** Se observa una baja de alrededor de 5 ug/ m³N los fines de semana en comparación a los días de semana. Esta disminución se puede explicar por:
 - Mayor actividad industrial y de fuentes móviles en la semana.
- **Escala horaria:** Se ve un aumento considerable de la concentración de MP10 con el progreso del día, con un rango de aproximadamente 50 ug/ m³N entre extremos. Este ciclo se observa todos los días de la semana, siendo menos pronunciado el día domingo. En particular se destaca lo siguiente de los principales puntos de inflexión observados:

- La concentración más baja se produce en la madrugada (5 am) y es cercana a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.
- Para analizar los dos *peaks* de concentración ambiental se analizarán los ciclos por temporada climática, lo que se muestra en la siguiente figura.

Figura 4-15 Ciclo horario MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] por temporada climática Red Chagres, Periodo 2015-2017.

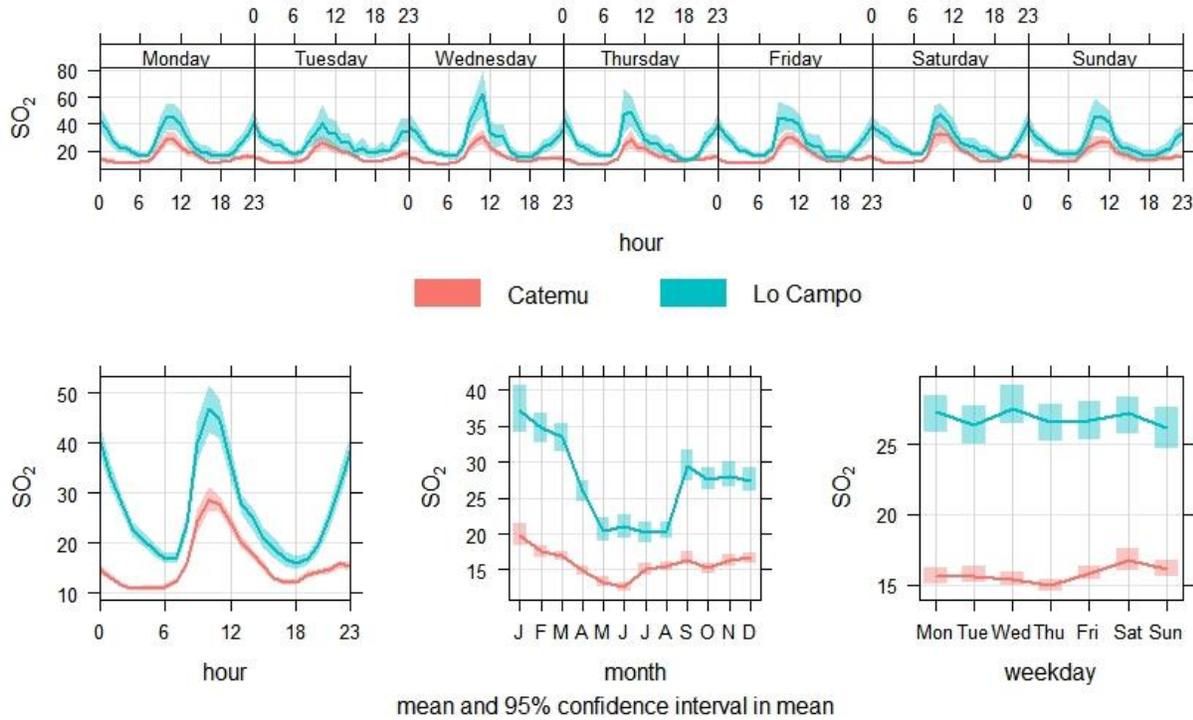


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

La Figura 4-15 presenta el ciclo horario según la temporada climática. Se observa que los puntos de inflexión se mantienen en las cuatro temporadas, siendo más notorios en los meses fríos del año. Se observa que el punto más bajo de concentración es similar y ocurre en la madrugada para todas las estaciones. Se observan *peaks* de concentración entre las 7 y 9 y entre las 18 y 20 horas, las cuales podrían atribuirse a fuentes móviles. En el caso del invierno, se observa un aumento importante entre las 18 y 23 hrs, el cual puede atribuirse a las condiciones de ventilación desfavorables en esta época por la baja de temperatura en las noches.

A continuación, se muestra la variación temporal del SO_2 .

Figura 4-16 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red Chagres, Periodo 2015-2017.



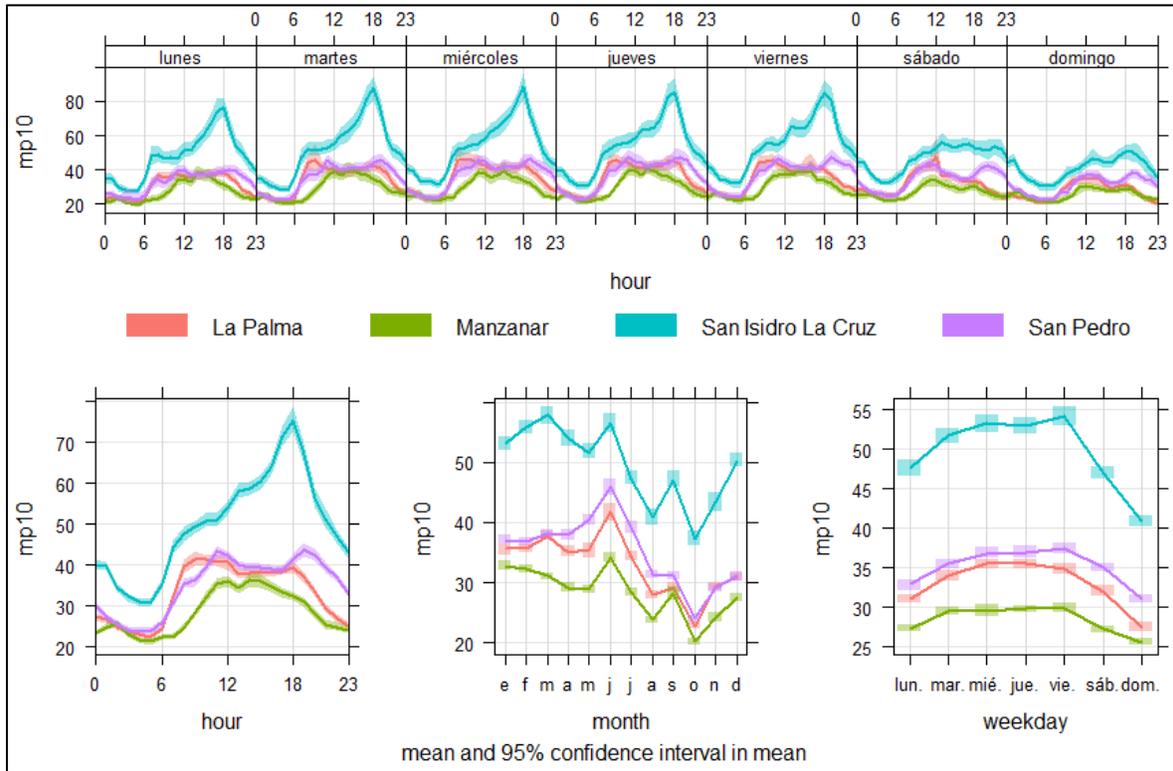
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-16 se observa la variación temporal de la concentración de SO₂ en la red Chagres, cercana a la fundición Chagres y a la central Las Vegas. Estas concentraciones son atribuibles en mayor medida a la emisión de la fundición Chagres y en menor medida a la emisión de la central Las Vegas y condiciones inestables en la atmosfera que causan descenso de masas de aire a nivel del suelo.

4.5.2 Análisis Red San Isidro

En la Figura 4-17 se muestra la variación temporal de MP10 en la red San Isidro.

Figura 4-17 Variación temporal de la concentración [ug/m³N] de MP10 Red San Isidro, Periodo 2015-2017.

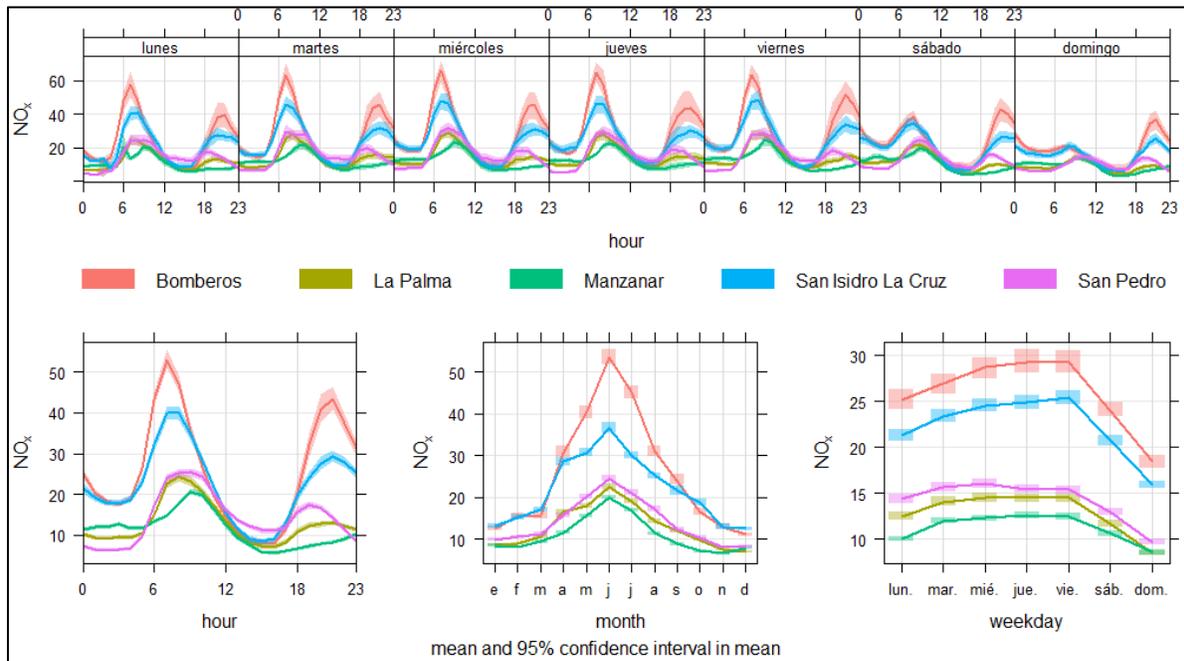


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

A través de la Figura 4-17 es posible observar que el MP10 se comporta con patrones temporales similares que la red Chagres, pero con menores concentraciones. Esto se debe a que San Isidro se ubica inserta en la ciudad de Quillota.

En la Figura 4-18 se muestra la variación temporal de NOx de la red San Isidro.

Figura 4-18 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de NO_x Red San Isidro, Periodo 2015-2017.



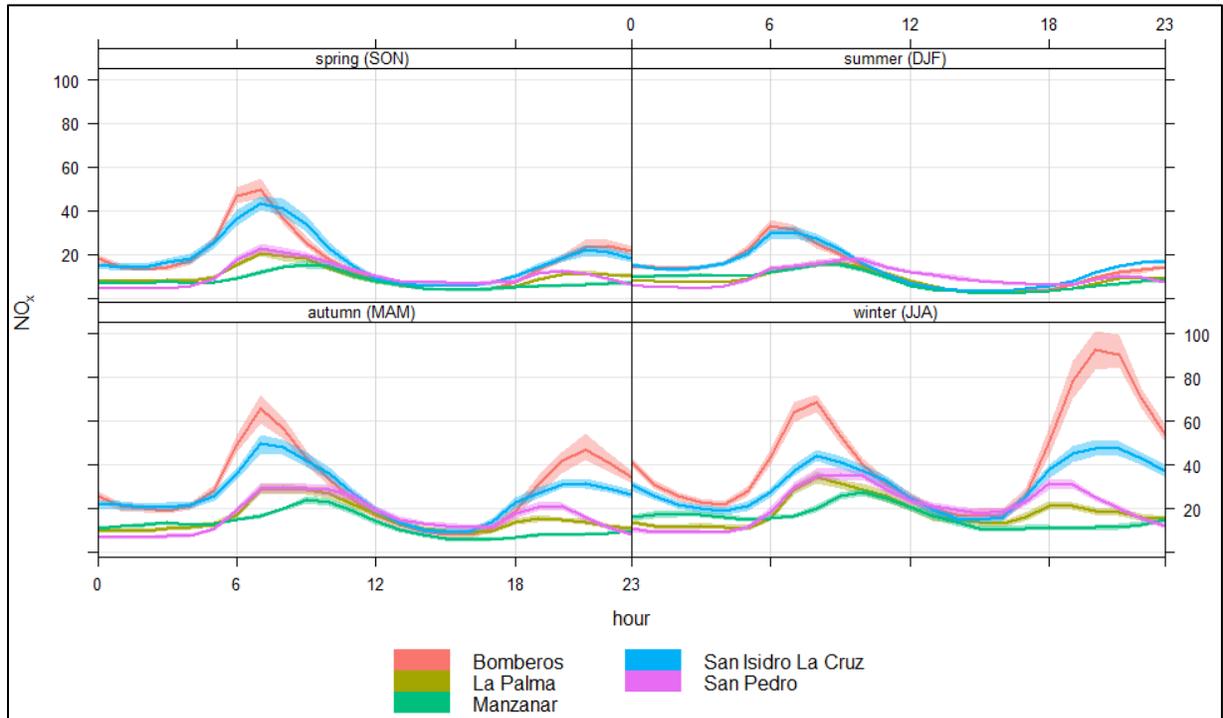
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-18 se observa el comportamiento del NO_x a diferentes escalas temporales:

- **Escala mensual:** Se evidencia que los niveles de NO_x aumentan considerablemente en los meses de invierno y disminuyen en verano. Este aumento se puede explicar por:
 - Mayores condiciones de estabilidad atmosférica en invierno, provocada por el efecto de la inversión térmica, lo que dificulta la ventilación de la zona.
- **Escala semanal:** Se observa una baja entre 5 y 10 ug/m³ los fines de semana en comparación a los días de semana. Esta disminución se puede explicar por:
 - Mayor actividad industrial, como las centrales de combustión y de fuentes móviles, como lo son los automóviles, en la semana.
- **Escala horaria:** Se observan dos *peaks*, de los cuales se puede destacar lo siguiente:
 - La concentración más baja se produce entre las 12 y 18 horas.
 - La concentración más alta se produce cerca de las 6 y de las 19 horas. Esta concentración es atribuible a la alta actividad de fuentes móviles en estas horas, por el traslado de la gente al trabajo y hogar.

En la Figura 4-19 se muestra el detalle de la variación diaria por temporada climática.

Figura 4-19 Ciclo horario NOx [ug/m³] por temporada climática Red San Isidro, Periodo 2015-2017.

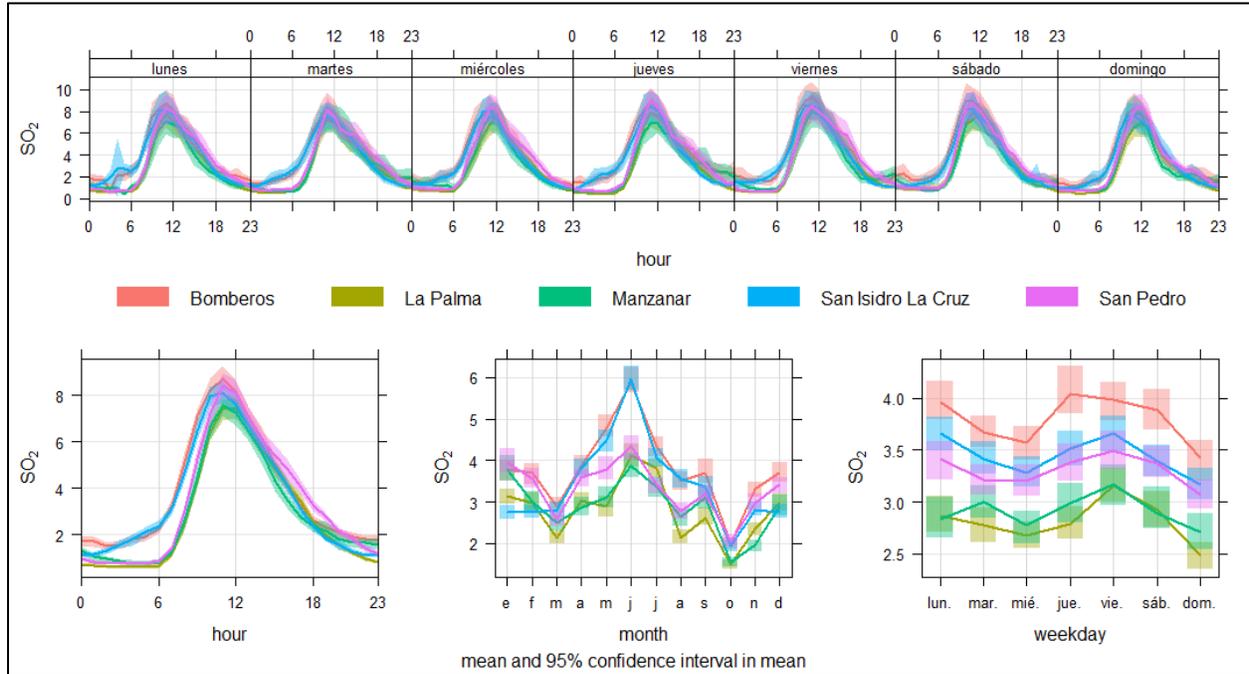


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-19 se puede observar que los *peaks* se mantienen en las cuatro temporadas, siendo más pronunciados en invierno y menos en verano. El primer *peak* de la madrugada se da por la actividad de la ciudad, en la que aumenta el uso de los automóviles.

Luego, se muestra la variación temporal de SO₂.

Figura 4-20 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red San Isidro, Periodo 2015-2017.

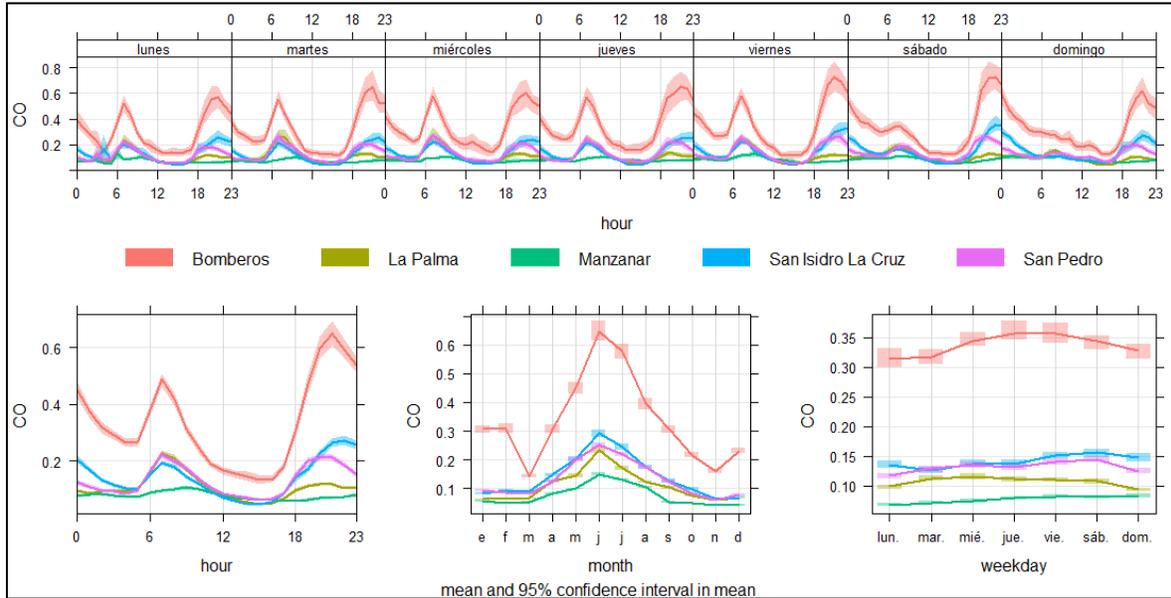


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-20 se evidencian las bajas concentraciones de SO₂ en el sector de Quillota, en comparación con la red de Chagres (ver Figura 4-16). Esta diferencia puede atribuirse a la baja de emisión de SO₂ en la zona, en comparación con la red de Chagres. Para la escala diaria se tiene un único peak a las 12 horas, que alcanza 8 ug/m³.

Finalmente, en la Figura 4-21 se muestra la variación temporal de CO.

Figura 4-21 Variación temporal de la concentración [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] de CO Red San Isidro, Período 2015-2017.



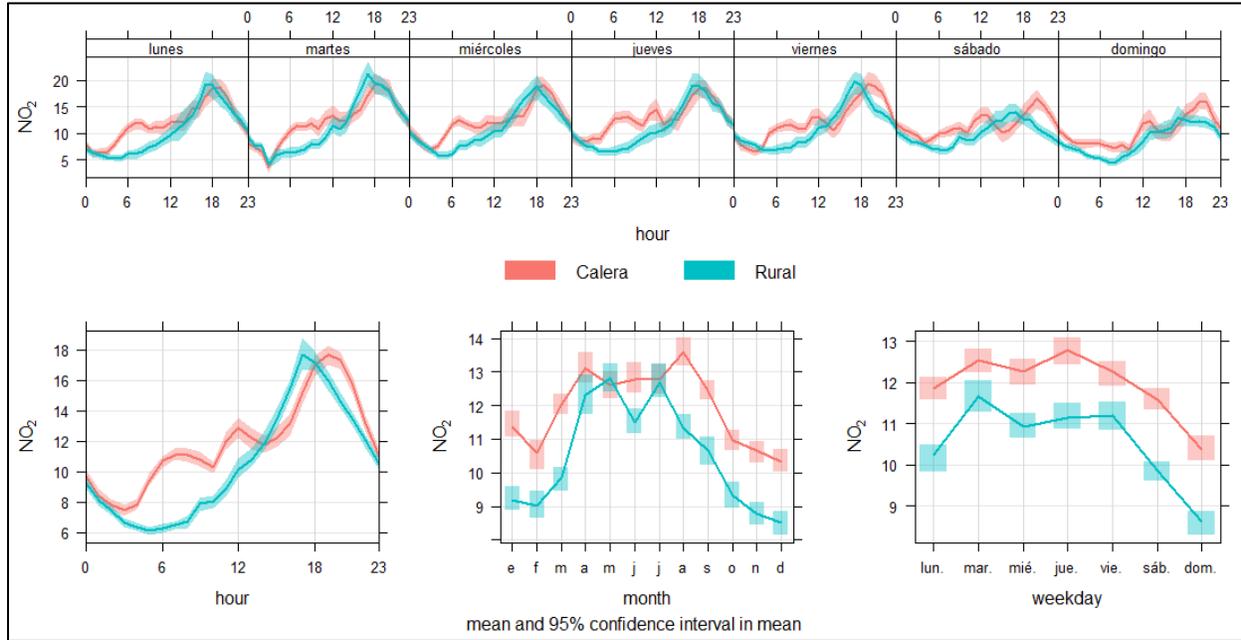
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-21 es posible observar que las concentraciones de CO son muy bajas. Además, el comportamiento del CO es similar al del MP10, pues tiene dos *peaks* diarios datos en la madrugada y a media noche, se ve un aumento marcado en los meses de invierno y para el fin de semana las concentraciones disminuyen. Esta similitud se debe a que el CO también es provocado por combustión, siendo la fuente principal la combustión de leña.

4.5.3 Análisis Red Melón

En la siguiente figura se muestra la variación temporal de NO₂ en la red Cemento según diferentes escalas temporales.

Figura 4-22 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de NO₂ Red Cemento, Periodo 2015-2017.

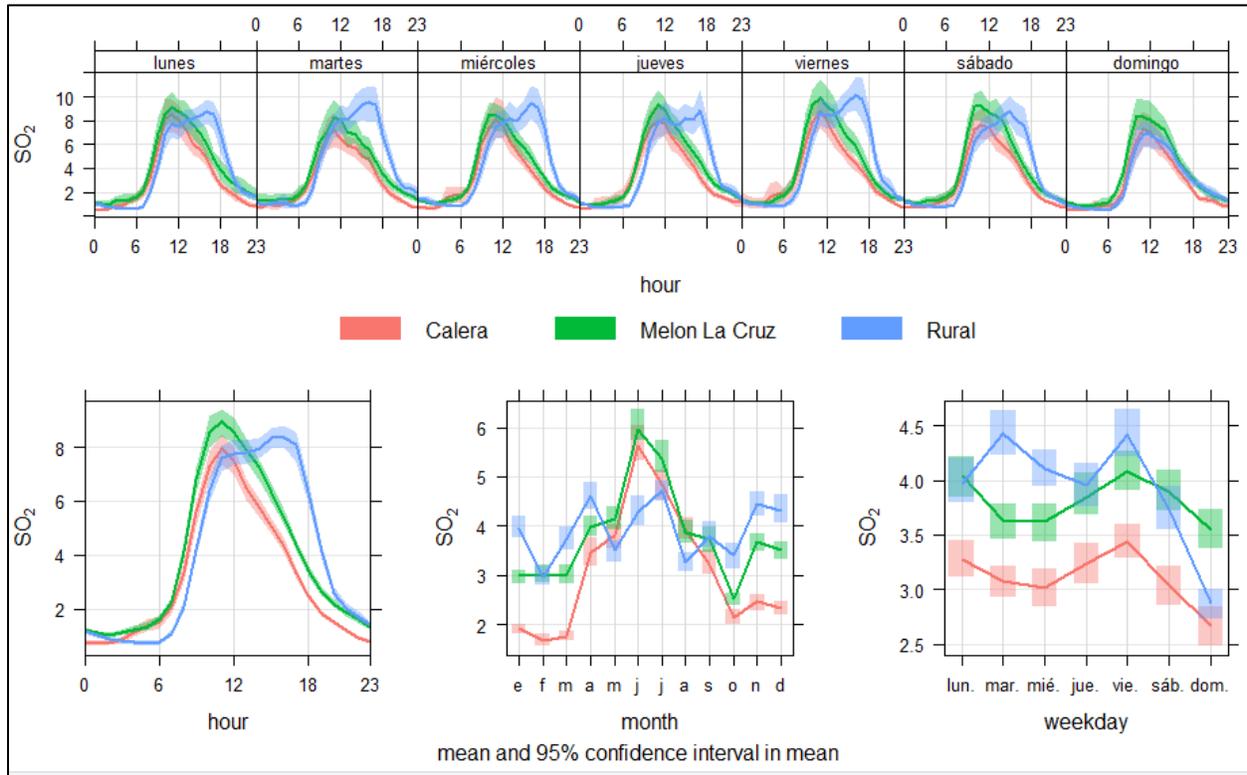


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-22 se observa la variación temporal del NO₂ según diferentes escalas temporales. La concentración máxima que se alcanza al día es de 17 ug/m³ y se da a las 18 horas.

Finalmente, se muestra la variación temporal de SO₂.

Figura 4-23 Variación temporal de la concentración [ug/m3] de SO₂ Red Cemento, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

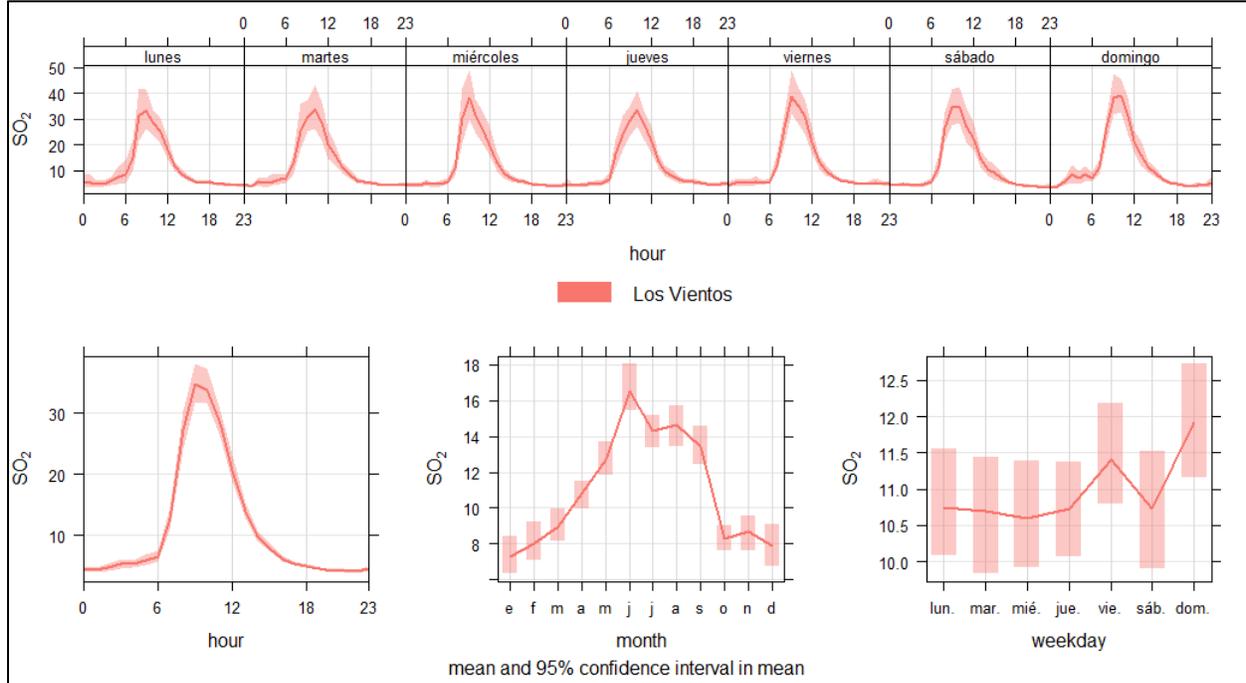
En la Figura 4-23 es posible observar que el comportamiento del SO₂ es similar entre las diferentes redes, pero con la diferencia de que las concentraciones son mayores en Chagres (ver Figura 4-16).

4.5.4 Análisis Red Las Vegas

Mediante los análisis revisados en las redes Chagres, San Isidro y Melón se concluyó que los contaminantes se comportan de la misma forma independiente de la red. Pero existen pequeñas variaciones en el comportamiento que se pueden explicar según cada caso. Particularmente, la red influye en la magnitud de las concentraciones.

La Figura 4-24 muestra la concentración temporal de SO₂.

Figura 4-24 Variación temporal de la concentración [ug/m³] de SO₂ Red Las Vegas, estación Los Vientos, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-24 se pueden concluir diferentes comportamientos según escala temporal:

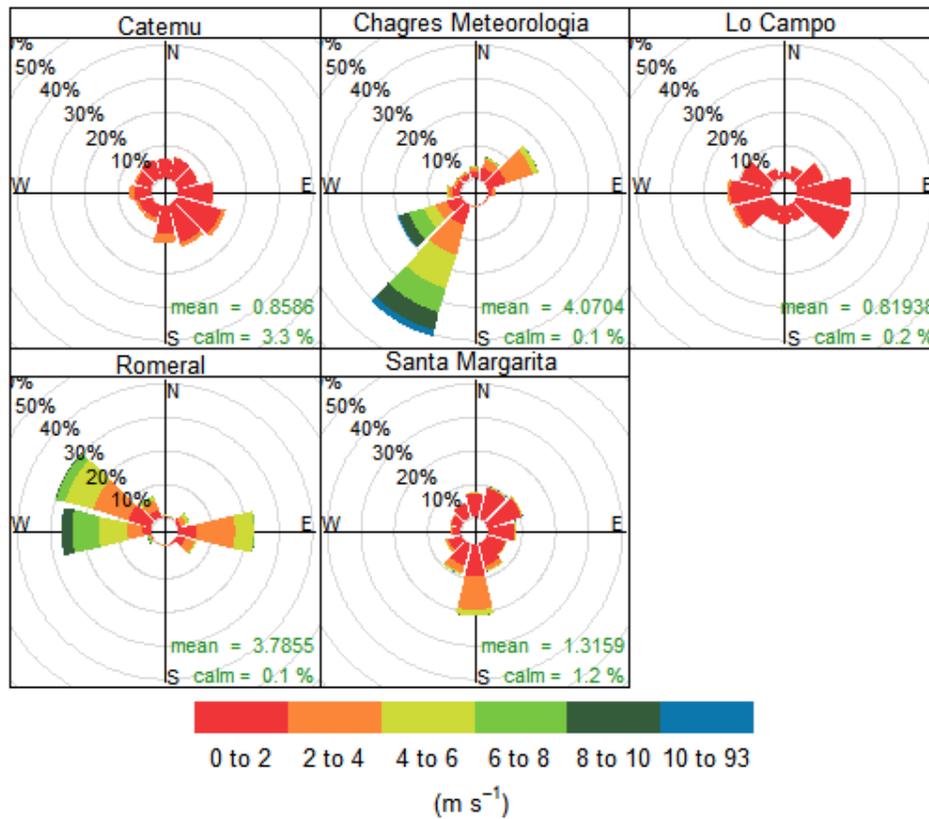
- **Escala mensual:** Se evidencia que los niveles de los contaminantes aumentan considerablemente en los meses de invierno y disminuyen en verano. Este aumento se puede explicar por:
 - Mayores condiciones de estabilidad atmosférica en invierno, provocada por el efecto de la inversión térmica, lo que dificulta la ventilación de la zona.
- **Escala semanal:** Se observa una baja leve en los fines de semana en comparación a los días de semana. Esta disminución se puede explicar por:
 - Mayor actividad industrial (sector minería, energía, instalación fabril, entre otras) y de fuentes móviles en la semana.
- **Escala horaria:** Se destaca un único *peak* durante el día, entre las 6 y 16 horas.

4.6 Análisis de concentración de Material Particulado y Dióxido de Azufre por dirección y velocidad de viento

La siguiente sección pretende realizar un análisis de la relación entre el viento, su dirección y frecuencia y el efecto de estas en la concentración de material particulado, dióxido de Azufre (SO₂) y sus precursores.

Como antecedente general, en la Figura 4-25, Figura 4-26, Figura 4-27 y Figura 4-28 se presentan las rosas de los vientos, para cada estación meteorológica según su red. Luego, para continuar con el análisis, es seleccionada una estación por red, de acuerdo con su cercanía con el poblado más cercano respectivamente, para el análisis de concentraciones de material particulado y SO₂.

Figura 4-25 Rosa de los vientos para estaciones de la Red Chagres, Periodo 2015-2017.

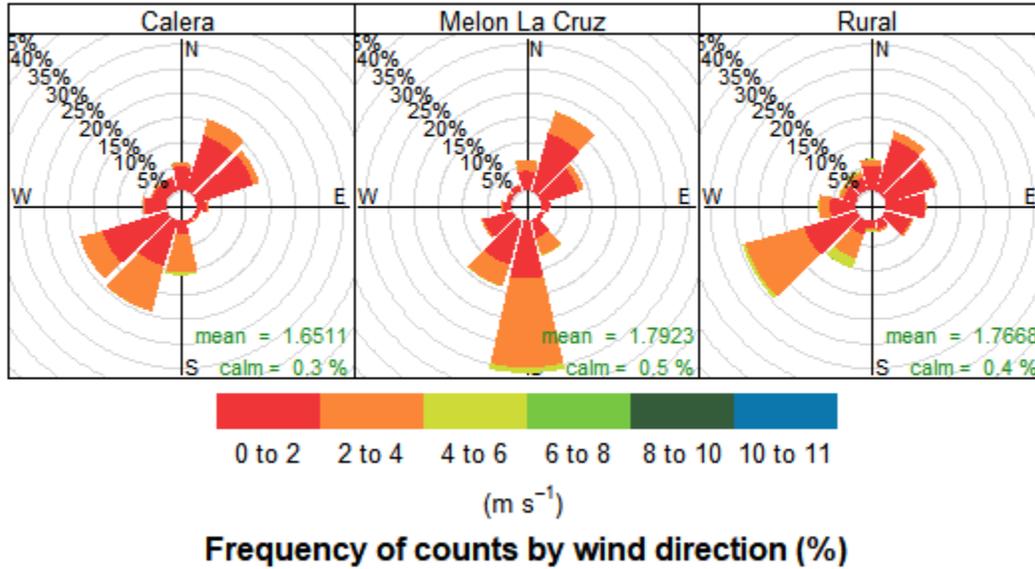


Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

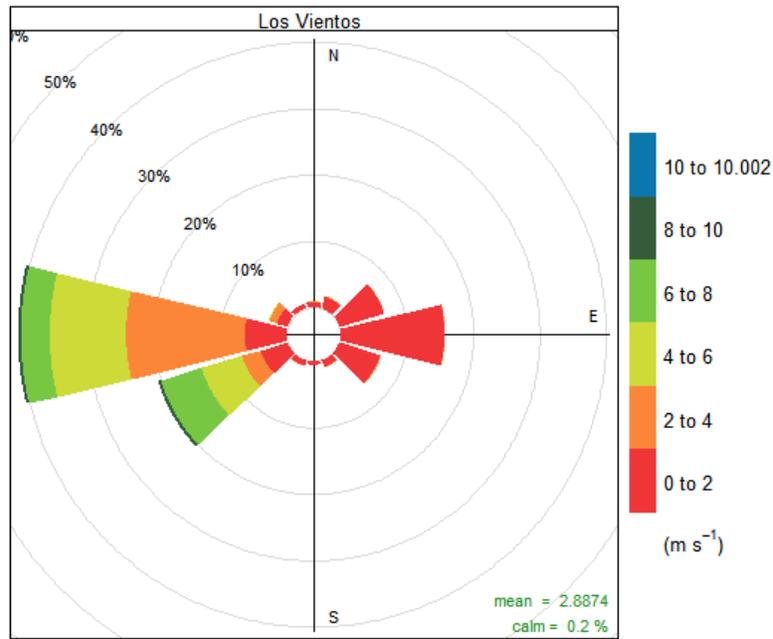
Figura 4-26 Rosa de los vientos para estaciones de la Red Cementos Melón, Periodo 2015-2017.



La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 4-27 Rosa de los vientos para estaciones de la Red Las Vegas, Periodo 2015-2017.

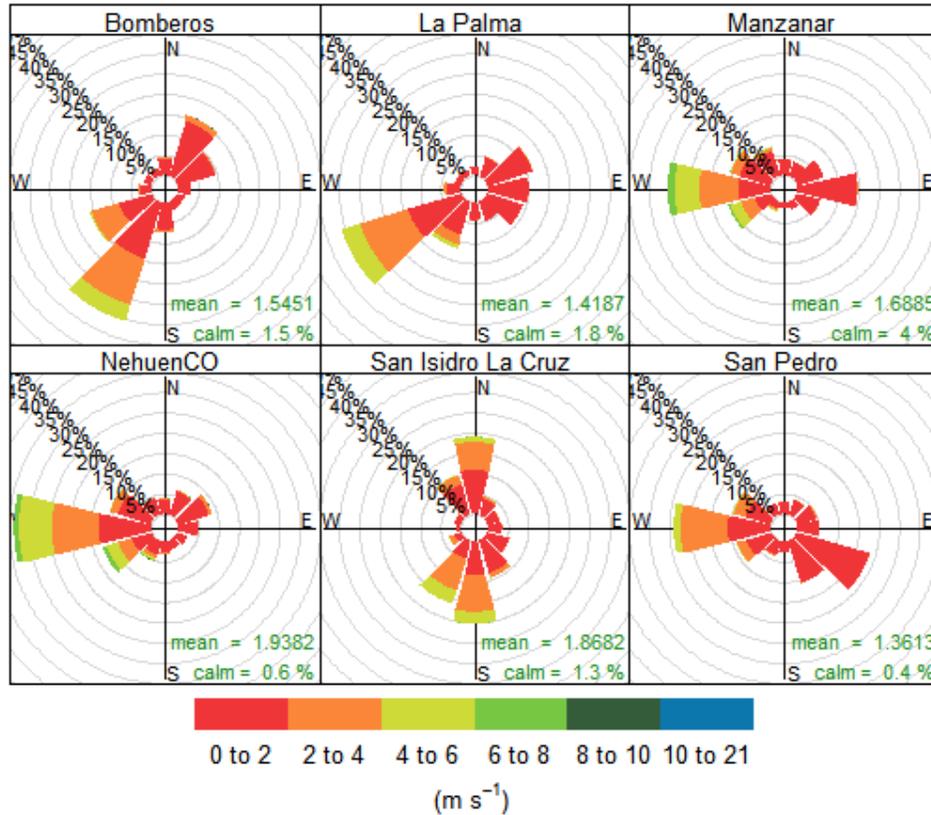


Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 4-28 Rosa de los vientos para estaciones de la Red San Isidro, Periodo 2015-2017.



Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

A continuación, se puede apreciar con más detalle, la distribución de las velocidades del viento, direcciones y frecuencia, separada por periodos del día (cuartiles), para la estación más próxima a algún poblado perteneciente al sector de cada red³⁰ (ver Tabla 4-7).

Tabla 4-7 Estaciones seleccionadas por Red.

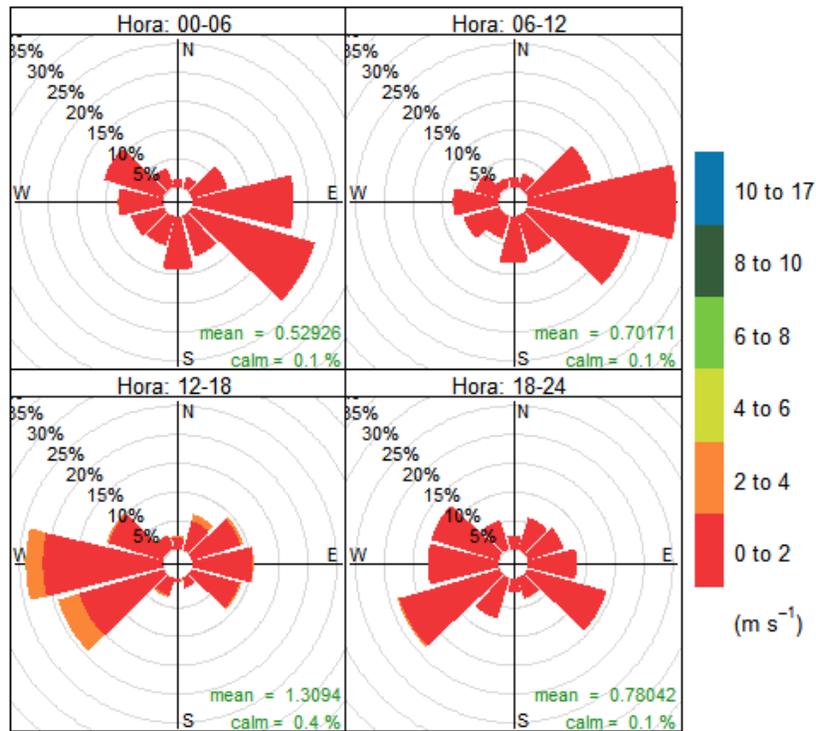
Red	Estación Seleccionada
Fundición Chagres	Lo Campo
Cementos Melón	La Calera
San Isidro	Bomberos
Los Vientos	Los Vientos

Fuente: Elaboración propia

³⁰ El mapa de las estaciones de monitoreo se presenta en la Figura 4-1.

4.6.1 Red Fundición Chagres, estación Lo Campo.

Figura 4-29 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Lo Campo, Periodo 2015-2017.



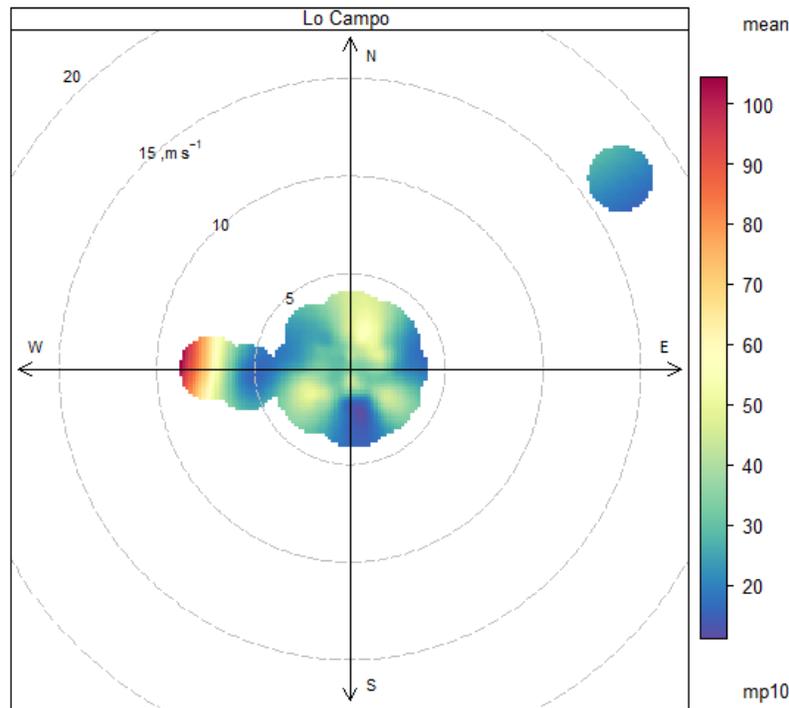
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la Figura 4-29, se desprende de los datos recogidos por la estación Lo Campo, que el viento presenta bajas velocidades a lo largo del día, alcanzando velocidades promedio máximas, por cuartil, entre 2 y 4 m/s. También se aprecia que durante la madrugada (primeros dos cuartiles) los vientos provienen principalmente desde el este, denominados vientos catábaticos (de la montaña hacia el mar) y durante el día, se comporta de manera contraria, los vientos proceden desde el oeste hacia el este, denominados vientos anabáticos (del mar hacia la montaña). Esta es una tendencia bastante común, pero que no ocurre en todas las estaciones analizadas, debido a corredores de vientos generados por valles.

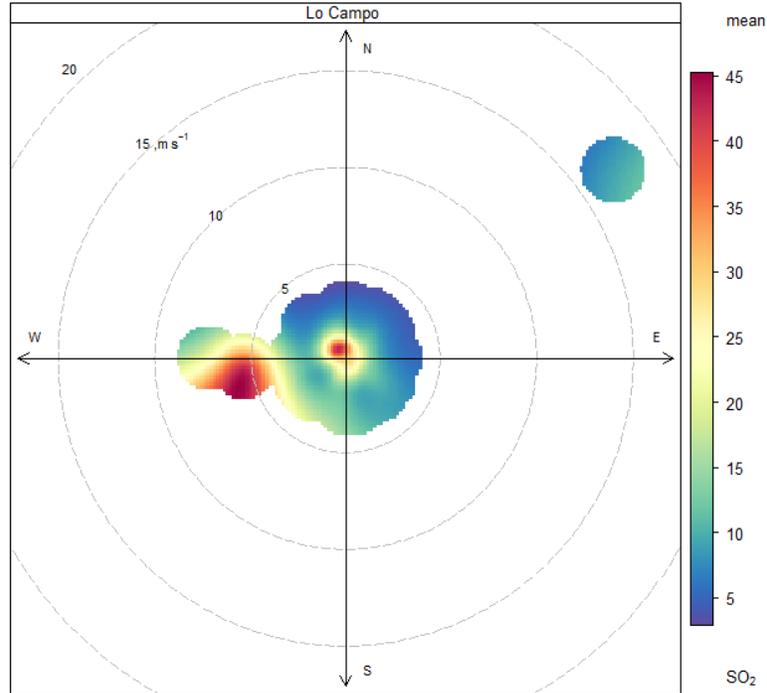
Figura 4-30 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] según dirección y velocidad del viento estación Lo Campo, Periodo 2015-2017



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-30 se puede apreciar concentraciones elevadas de material particulado, provenientes desde el oeste de la estación meteorológica Lo Campo. Este nivel de contaminantes llega a concentraciones de aproximadamente $90 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Estas concentraciones se podrían explicar por la presencia de la planta Catemu, perteneciente a la Compañía Minera Amalia, al Oeste de la ciudad. Esta estación de monitoreo se encuentra al interior de la comuna, por lo que se explica una distribución relativamente homogénea de concentraciones de material particulado para vientos de velocidades inferiores a 5 m/s.

Figura 4-31 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Lo Campo, Periodo 2015-2017.

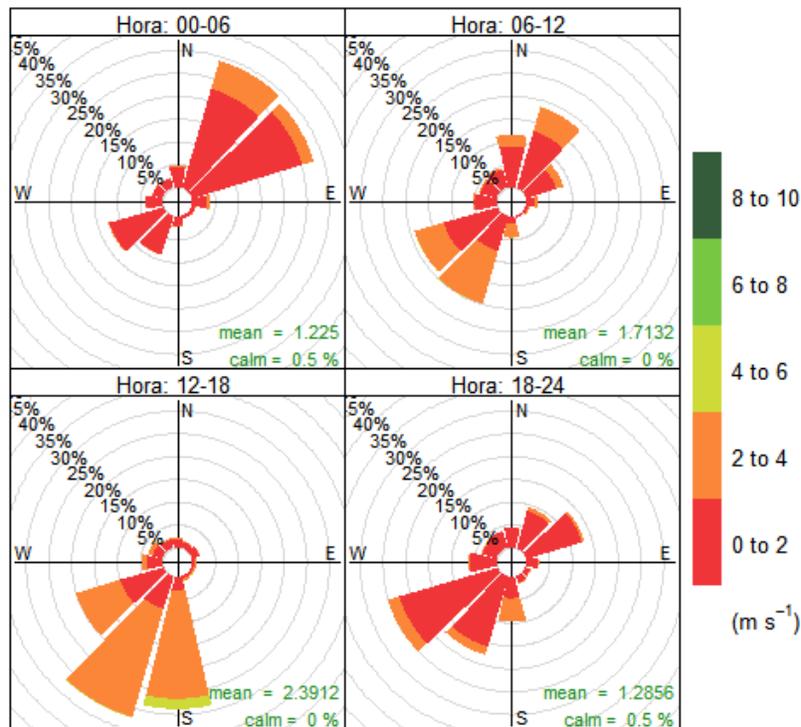


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Al igual que para la dispersión de material particulado, se puede apreciar de la Figura 4-31, que las mayores concentraciones de dióxido de azufre se asocian con vientos provenientes desde el oeste, lugar donde se encuentra la Compañía de extracción de cobre, Minera Amalia. Del grafico se desprende que existe un incremento en las concentraciones de este contaminante cuando las velocidades del viento están entre 5 y 10 m/s, dirección Este, alcanzando concentraciones de aproximadamente 45 ug/m³.

4.6.2 Red Cementos Melón, estación Calera.

Figura 4-32 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Calera, Periodo 2015-2017.



Frequency of counts by wind direction (%)

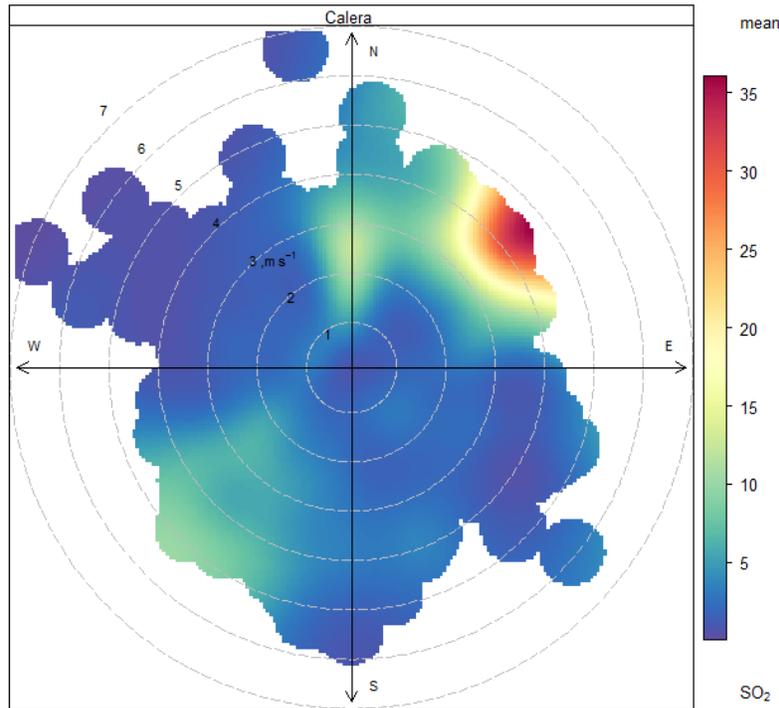
La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la figura anterior se concluye un comportamiento similar, en relación a la procedencia de la dirección del viento según las horas, la gran diferencia que se puede apreciar es que, durante el tercer cuartil, vale decir, entre las 12:00 horas hasta las 18:00 horas, es bastante más recurrente la presencia de vientos de 2-4 m/s, alcanzando incluso, un promedio de entre 4-6 m/s registrado en viento dirección Sur para el periodo entre los años 2015 y 2017.

No es posible realizar el análisis de concentración para material particulado, debido a la inexistencia de datos horarios para la red Cementos Melón. Por lo que la Figura 4-33, que se encuentra a continuación, muestra la dispersión de concentración según dirección y velocidad del viento en la estación Calera, para el contaminante SO₂.

Figura 4-33 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Calera, Periodo 2015-2017

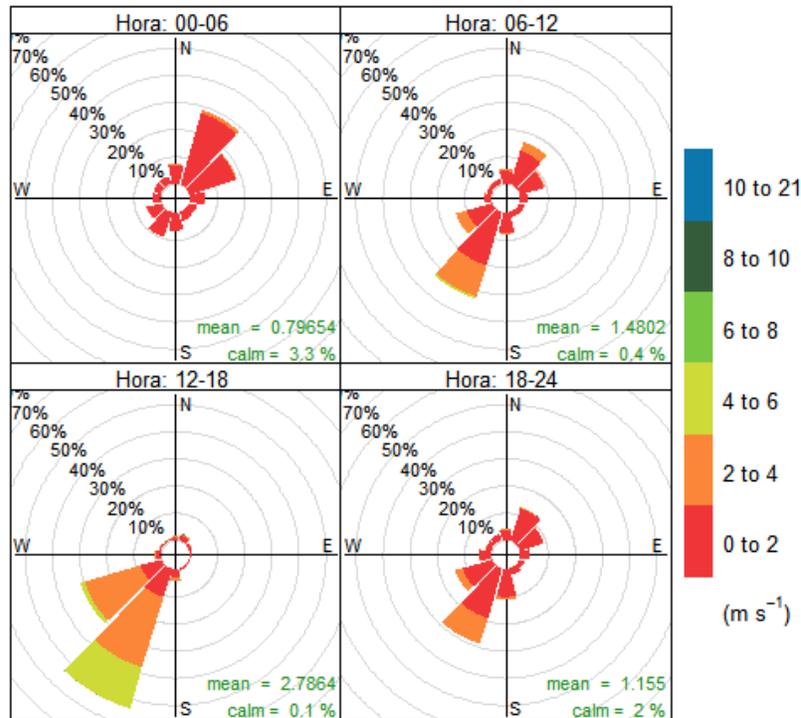


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Como puede apreciarse de la figura anterior, la estación Calera registra concentraciones relativamente bajas de dióxido de azufre para un rango de velocidades del viento entre 0 y 7 m/s, con concentraciones promedios de aproximadamente 3 ug/m³ particularmente para vientos dirección Sureste y Norponiente. Mientras que para el viento en dirección Noreste con velocidades promedio entre 3-5 m/s se presenta un leve aumento en la concentración de contaminante, alcanzando los 10 ug/m³. Para los vientos con dirección Surponiente, con velocidad entre 3 y 5 m/s se presenta una saturación de dióxido de azufre, alcanzando concentraciones cercanas a 35 ug/m³. Esto podría explicarse debido a la morfología del valle, donde en esa dirección se encuentra un cordón montañoso que puede funcionar como obstáculo para la correcta dispersión del aire, pero no existe certeza de la procedencia de este contaminante. De todas maneras, los valores están bajo lo propuesto en el anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre, por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, con fecha 14 de marzo de 2017, que establece el límite de concentración horaria en 500 ug/m³.

4.6.3 Red San Isidro, estación Bomberos.

Figura 4-34 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Bomberos, Periodo 2015-2017.



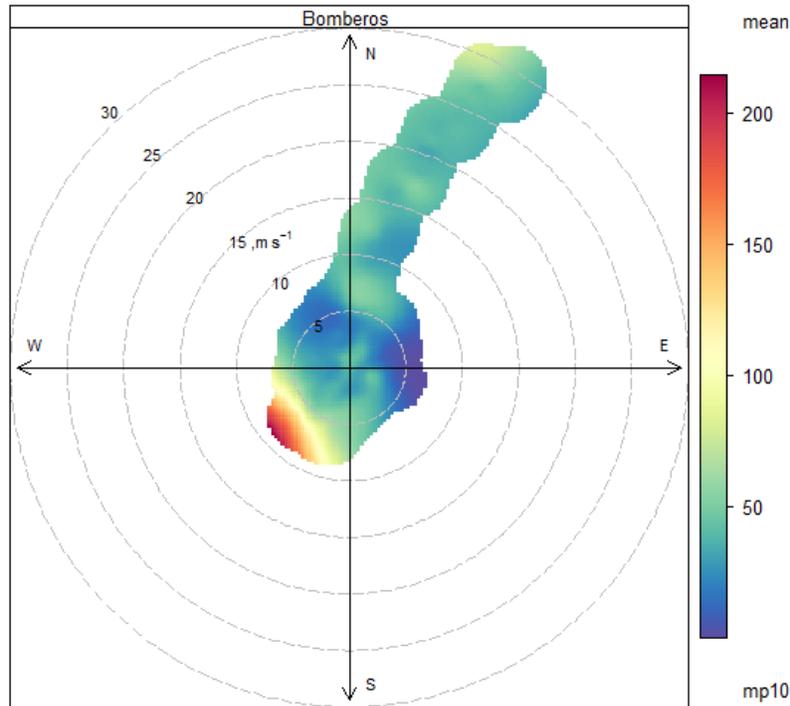
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Se observa desde la Figura 4-34, que durante las horas de la madrugada (primer cuartil) los vientos provienen principalmente desde el Noreste, mientras que durante el resto del día, los vientos registrados por la estación Bomberos, indican que provienen desde el Suroeste, con velocidades promedio entre 4 y 6 m/s durante las 12:00 hrs y las 18:00 hrs.

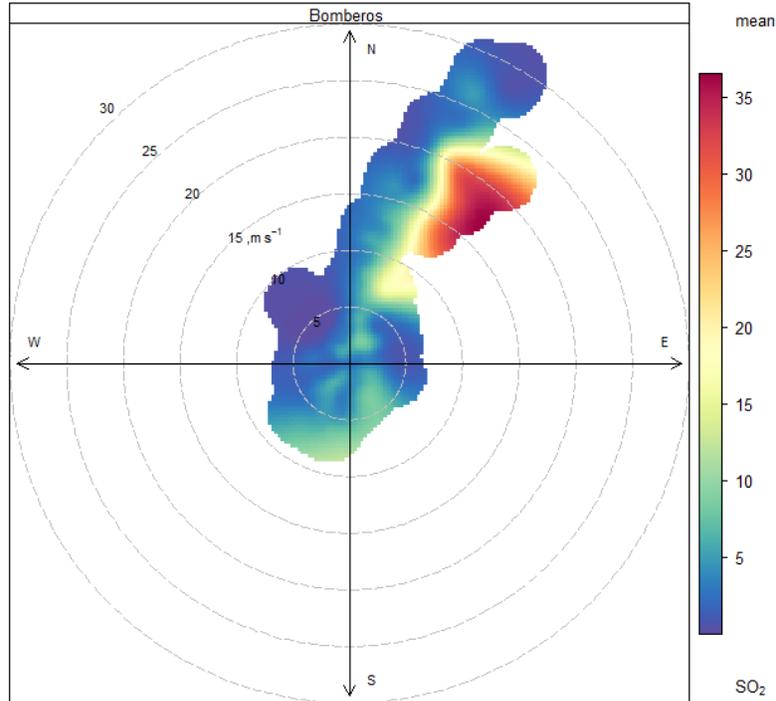
Figura 4-35 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Bomberos, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

La Figura 4-35 muestra la concentración de MP10 según dirección y velocidad del viento en la estación Bomberos, perteneciente a la red San Isidro. Las mayores concentraciones se encuentran con viento a baja velocidad proveniente desde el Suroeste de la estación, estas emisiones pueden ser explicada debido a la gran cantidad de fuentes que se encuentran en esa dirección, entre las que se encuentran, Central termoeléctrica nehuenco, Subestación eléctrica San Luis, Minera no metalica “Áridos Aconcagua”, Estación elevadora de aguas servidas San Pedro, AES Gener, Sistema productivo de agua potable. Por otro lado, hacia el Noreste, se puede apreciar una pluma de concentraciones cercanas a los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta pluma y su forma se ve explicada principalmente por la forma del valle en esta zona, el corredor ventoso que se forma y también, debido a las fuentes que se encuentran en esa dirección, como por ejemplo, Biacruz Generación e incluso pudiendo considerar también emisiones provenientes desde La Calera.

Figura 4-36 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Bomberos, Periodo 2015-2017

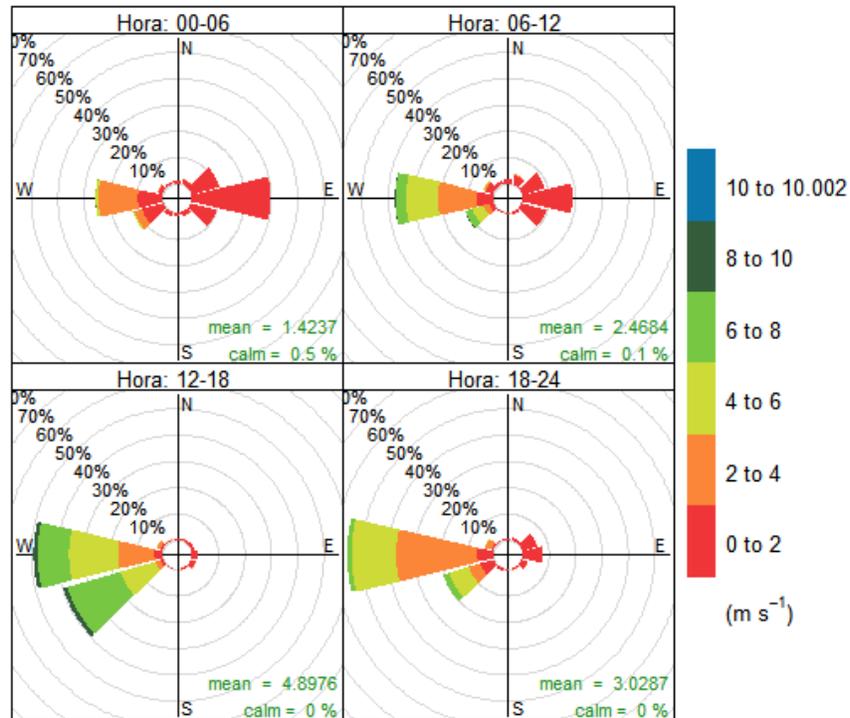


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-36 se muestra la concentración de dióxido de azufre para los datos recogidos por la estación Bomberos, perteneciente a la red San Isidro, la dispersión de contaminante es relativamente parecida a la de material particulado en cuanto a forma pero, se puede apreciar un aumento en los niveles de SO₂ en la dirección Noreste cuando existen velocidades promedio entre 12-24 m/s, que coincide en forma con una cresta del cordón montañoso que se encuentra ahí. La procedencia de este contaminante no se ha podido determinar, debido al tipo de fuentes que se encuentran en la zona. De todas maneras, los niveles de concentración de dióxido de azufre se encuentran dentro de la normativa primaria de calidad del aire.

4.6.4 Red Las Vegas, estación Los Vientos.

Figura 4-37 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Los Vientos, Periodo 2015-2017.



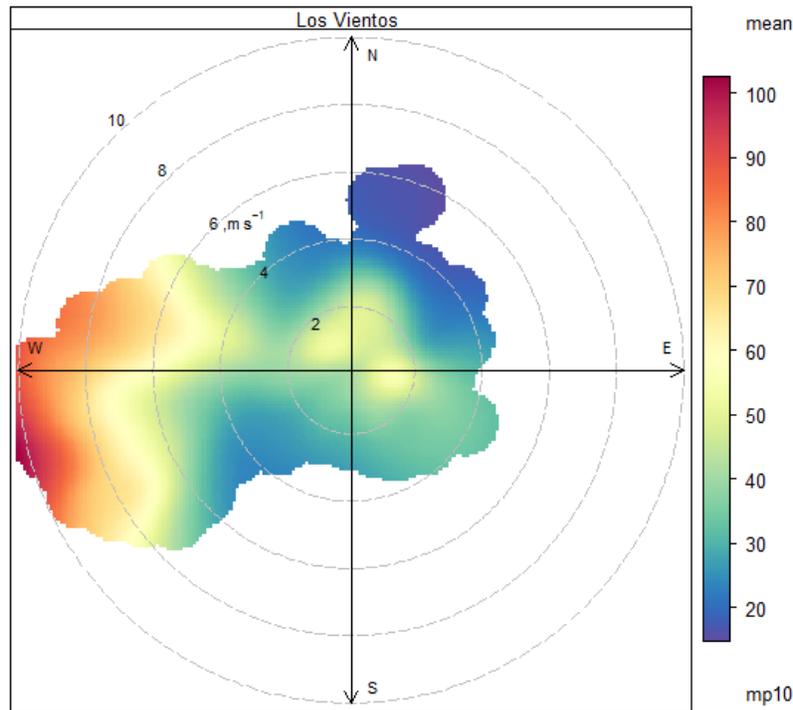
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la Figura 4-37 se puede apreciar, y en comparación a la Rosa de los vientos de las estaciones anteriores, que esta estación presenta con más frecuencia vientos superiores a los 6 m/s provenientes desde el Oeste y el Suroeste, particularmente se destaca el tercer cuartil, en donde hay alta inestabilidad atmosférica, lo que debería favorecer la dispersión de los contaminantes desde la fuente, pero también podría arrastrar contaminantes desde otras zonas hasta el punto en cuestión.

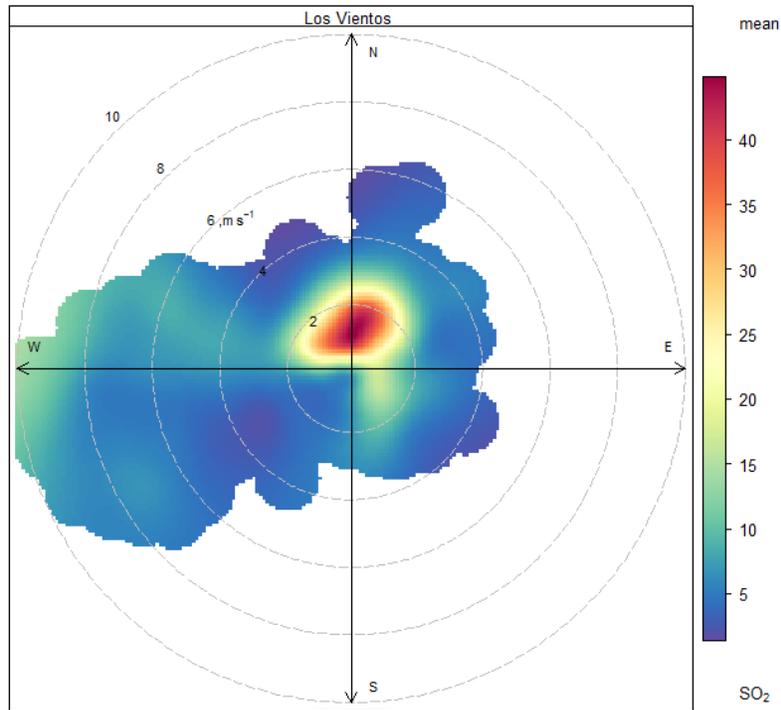
Figura 4-38 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] según dirección y velocidad del viento estación Los Vientos, Periodo 2015-2017



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-38 se observa que los niveles de concentración para material particulado presentan máximos niveles, cercanos a $95 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, cuando el viento tiene velocidades promedio entre 8 y 10 m/s provenientes desde el Oeste. Este fenómeno puede ser explicado debido a la existencia de una zona bastante seca, sin uso agrícola y que los altos vientos anteriormente señalados generan un levantamiento de polvo en dirección Este. La estación Los Vientos, está emplazada en una zona rural, donde los caminos no son pavimentados, lo que explica los niveles de concentración entre 20 y $60 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, cuando las velocidad promedio del viento es baja.

Figura 4-39 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Los Vientos, Periodo 2015-2017



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Finalmente, en la Figura 4-39, se analiza la concentración de dióxido de azufre, donde se puede ver que para vientos con velocidades bajas, existe una concentración máxima de aproximadamente 45 ug/m³ proveniente del Norte y levemente desde el Este. Estas emisiones se explican debido a que en esa dirección se encuentra la Fundición Chagres, que, en sus procesos productivos generan este tipo de emisiones. Es importante señalar, que las concentraciones alcanzadas por dióxido de azufre se encuentran bajo la norma establecida en las normas primarias de calidad del aire.

5. Análisis meteorológico

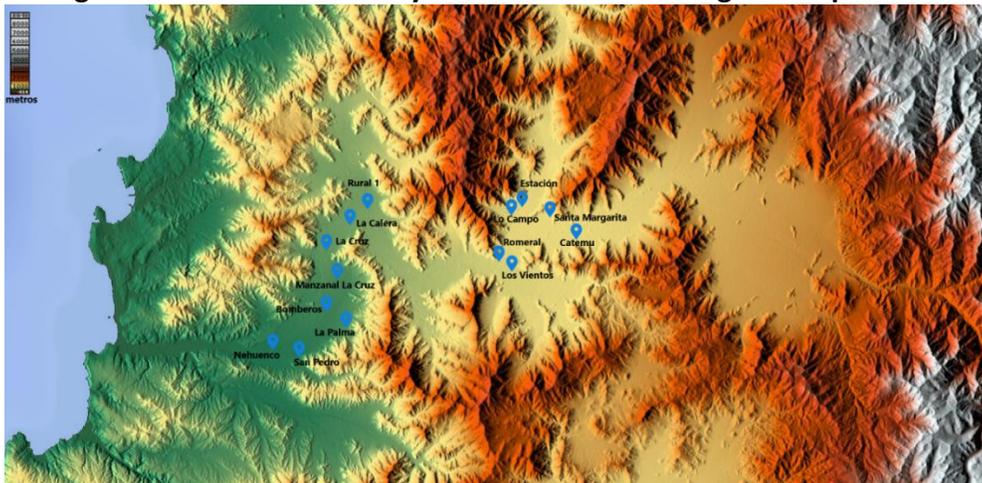
A continuación, se realiza un análisis meteorológico de la zona, incluyendo un análisis de trayectorias de vientos y altura de mezcla.

El análisis meteorológico se enfoca en el análisis de trayectoria de masas de aire y flujos de viento, y como macro fenómenos tienen incidencia en estos.

La Cordillera de los Andes se presenta como una delgada cadena montañosa que en promedio supera los 4.000 m de altitud y alcanza los 5.500 msnm, mientras que la anchura media de su relieve sobre los 2.000 y 3.000 msnm de altitud es de 160 y 90 Km respectivamente.

Dada esta cadena montañosa, la zona de estudio posee un Clima Templado Cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada (7 a 8 meses). Es un clima más continental debido a que se distancia del litoral y por la presencia de la Cordillera de la Costa. Al disminuir la influencia del océano, las variaciones térmicas diarias y estacionales se hacen más heterogéneas en tanto que la humedad relativa disminuye. En invierno son frecuentes las heladas, las que aumentan a medida que se asciende hacia la Cordillera de Los Andes.

Figura 5-1 Zona de estudio y estaciones meteorológicas emplazadas



Fuente: Elaboración propia a partir de <https://maps-for-free.com/>

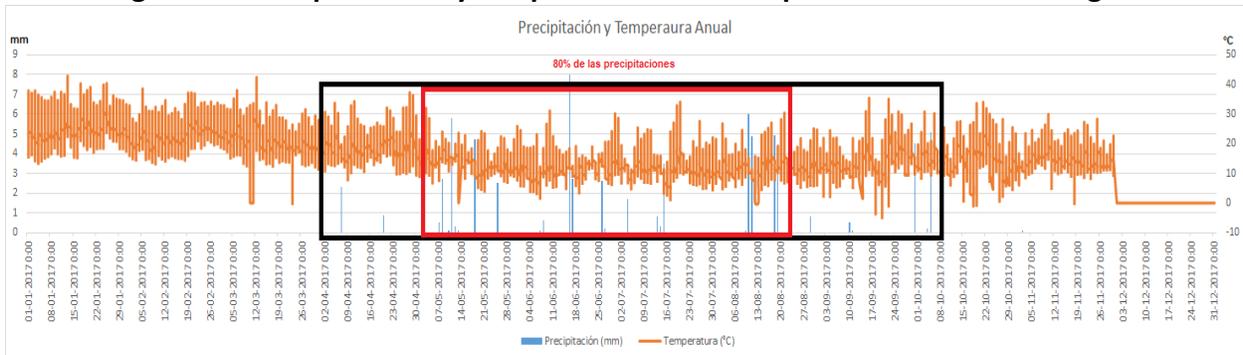
Más cerca de la costa se presenta una gran cantidad de nubosidad durante todo el año, con mayor intensidad en invierno, asociada a nieblas y lloviznas, lo que a su vez produce bajas amplitudes térmicas.

La diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el más frío es de sólo 5° a 6° C, y la diferencia diaria entre temperaturas máximas y mínimas varía entre 7° C en verano y sólo 5° C en invierno, lo que es entre 1° y 3° inferior, respectivamente, que en el mismo clima kilómetros más al norte. La humedad atmosférica es alta, con un valor medio de 82%.

Las precipitaciones superan los 350 milímetros anuales, aunque todavía existen 8 meses secos, en que llueve menos de 40 mm. En los 4 meses lluviosos (mayo a agosto), precipita más del 80% del total anual.

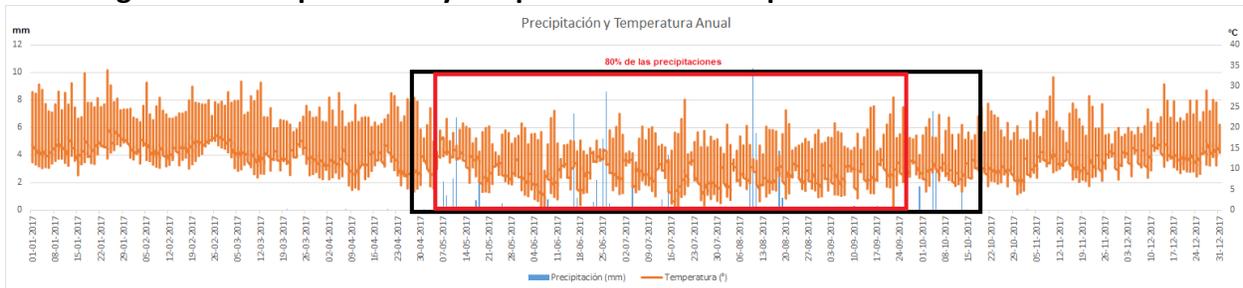
La estación más al interior llamada Chagres y la más costera Nehuenco en el año 2017 reflejan lo expuesto en párrafos anteriores respecto de temperatura y precipitación:

Figura 5-2 Precipitaciones y temperatura año 2017 para la estación de Chagres



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 5-3 Precipitaciones y temperatura año 2017 para la estación de Nehuenco



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Otra característica de las precipitaciones es su anormalidad, pues hay una gran diferencia entre años lluviosos y años con sequía. En los inviernos más lluviosos puede precipitar hasta 10 veces más que en los inviernos con sequía. Contrastes similares pueden encontrarse a lo largo de un mismo año, pues las precipitaciones pueden concentrarse en períodos de dos a tres semanas, dejando el resto de la estación con déficit.

5.1 Análisis de masas de aire y flujos de viento

La variabilidad de los flujos de vientos en el área de estudio, obedece a los distintos tipos de fenómenos meteorológicos que afectan año a año la zona. Por cada uno de ellos se ve

influenciado el transporte de masas bajo distintos principios dinámicos y termodinámicos. A continuación se analizará las características y cómo afecta el transporte de contaminantes cada uno de estos.

5.1.1 Sistemas Frontales

Sobre distintas zonas de la superficie de la Tierra, la atmósfera adquiere ciertas características termodinámicas (básicamente de temperatura y contenido de humedad) correspondientes a la superficie sobre la cual permanece posada un tiempo suficiente, comúnmente llamadas masas de aire.

La superficie de contacto entre dos masas de aire de distintas características termodinámicas (temperatura, humedad y densidad) corresponde a un sistema frontal, el que se manifiesta en abundante nubosidad y muchas veces también en precipitaciones de distintas características.

Aunque la zona de estudio se ubica en latitudes subtropicales, durante el invierno la circulación atmosférica sobre esta región exhibe una significativa variabilidad asociado al paso de sistemas frontales que se desplazan de oeste a este y que son los precursores de las acumulaciones por sobre el 85% anual de la precipitación. La aproximación de este tipo de sistemas reduce considerablemente la acumulación de contaminantes.

En el sistema frontal el aire frío hace que el aire cálido ascienda, y si el aire cálido asciende se enfría y se humedece hasta alcanzar su punto de saturación formando nubosidad que finalmente deja precipitaciones. Estos ascensos continuos de las parcelas de aire dan paso a que se rompa la inversión de subsidencia diurna/nocturna en el valle y con ello la capa de mezcla aumenta considerablemente dispersando los contaminantes. Este proceso perdura mientras el sistema frontal este sobre la zona.

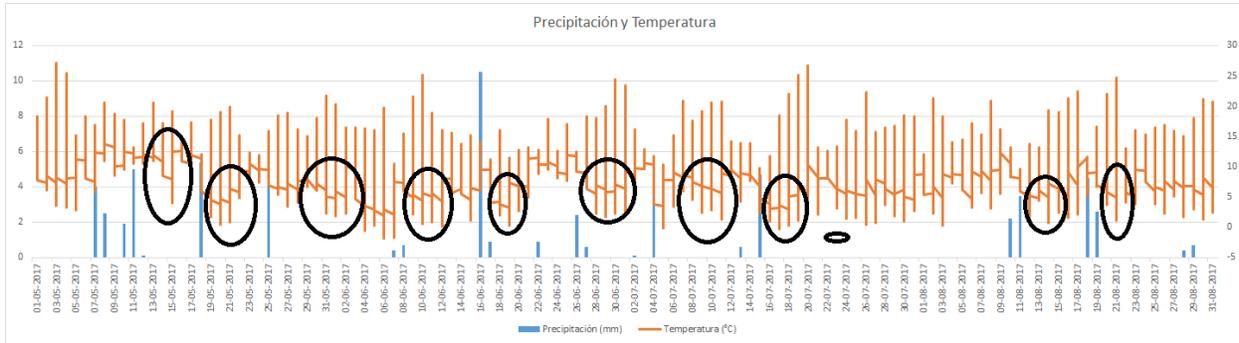
5.1.2 Masas de aire frío

Según su comportamiento termodinámico se pueden dividir en:

- **Fría:** Cuando es más fría que las masas de aire próximas o que la superficie sobre la cual se desplaza.
- **Cálida:** Se la denomina de esta forma cuando es más caliente que las masas de aire próximas o que la superficie sobre la cual se desplaza.

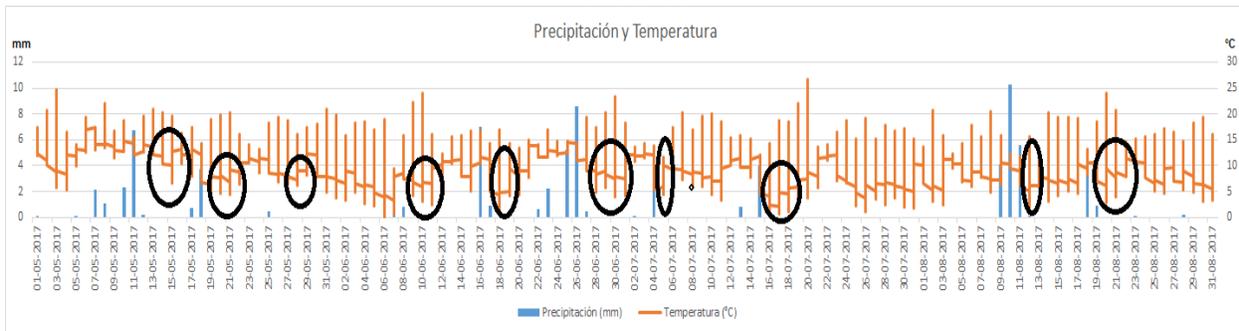
En la zona de estudio las masas de aire predominantes son cálidas, y cada vez que ingresan sistemas frontales toma mucha más relevancia el aire polar marítimo que ingresa por el Océano Pacífico. Este fenómeno se puede observar en las mediciones realizadas por las estaciones Los Vientos y Nehuenco (más cercana a la costa) entre los meses de Mayo y Agosto de 2017. Los círculos negros destacan las bajas de temperatura que corresponden al avance del aire polar marítimo posterior a las lluvias (ver Figura 5-4 y Figura 5-5).

Figura 5-4 Descenso de temperatura asociado a las masas de aire frío para la estación Los Vientos



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 5-5 Descenso de temperatura asociado a las masas de aire frío para la estación Nehuenco



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

La masa de aire frío de origen marítimo polar es la más dañina para la dispersión de contaminantes, ya que tiene un desplazamiento lento con una inversión de subsidencia a pocos metros de la superficie con vientos aleatorios y baja intensidad (casi nula), transformando a la atmósfera en inestable.

La atmósfera se halla estable cuando hay una gran resistencia a que en ella se desarrollen movimientos verticales, por lo que si una "burbuja" de aire se desplaza de su posición de equilibrio tiende a recuperarlo. En caso de inestabilidad ocurre lo contrario.

Si la burbuja al ascender y enfriarse encuentra una atmósfera más caliente que ella, bajará y volverá al nivel de partida (estabilidad). Si el aire de alrededor es más frío que ella, proseguirá su ascenso (inestabilidad). El vapor de agua es sumamente importante, ya que el aire húmedo pesa

menos que el aire seco y además desde el momento en el que se alcanza la saturación por medio de ascensos adiabáticos (nivel de condensación) su dinamismo se acelera, pues al recoger el calor desprendido en la condensación, su "flotabilidad" aumenta y los movimientos verticales se aceleran.

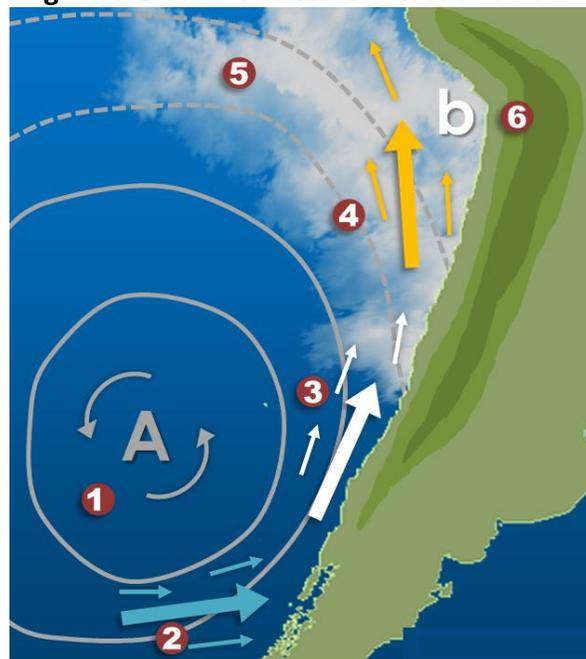
5.1.3 Vaguada Costera

Este fenómeno se origina por el desplazamiento de la masa de aire frío hacia el territorio argentino, y es la causa de las malas condiciones de ventilación en la zona de estudio. Su formación, culminación y termino poseen características que favorecen/desfavorecen la ventilación a escala regional.

La orografía influye en los vientos cercanos a la costa. Debido a la Cordillera de los Andes y de la Costa los vientos no pueden entrar al continente y permanecen paralelos al litoral. Esto produce que, para equilibrar las fuerzas, el Anticiclón se ubique con cierto ángulo a la costa, produciendo una zona de baja presión pegada a la costa norte del país llamada Vaguada Costera.

En la Figura 5-6 se puede observar el Anticiclón (1) en condiciones normales. Este se encuentra en la costa afuera de Chile, lo que provoca un viento constante a lo largo de la costa del país, pero en diferentes direcciones (2, 3 y 4).

Figura 5-6 Condiciones normales anticiclón



Fuente: ³¹

³¹ Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008.

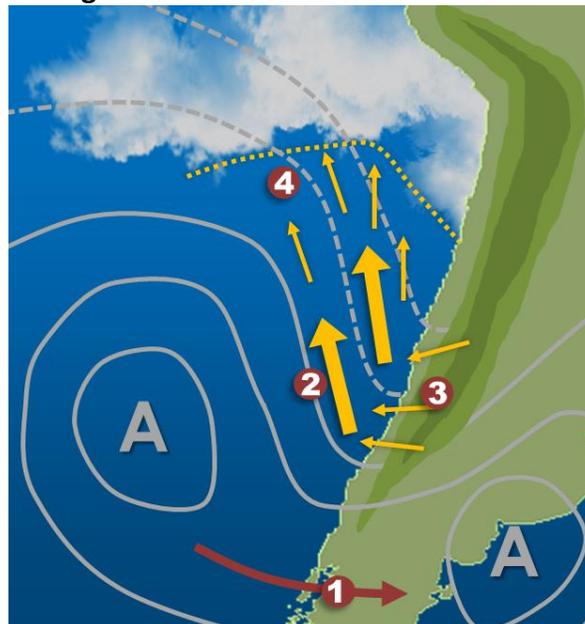
5.1.3.1 Fase de desarrollo

En la Figura 5-7 se puede observar el Anticiclón en la fase de desarrollo del sistema frontal. Cuando un sistema frontal atraviesa el sur de Chile (1) generalmente viene acompañado de una alta presión fría, que altera el comportamiento normal de la presión en el país.

Esto produce que el viento costa afuera se intensifique transformándose en un viento con un importante componente desde el Este (2), e intentará seguir las líneas de presión (isobaras). Debido a que la cordillera impide el ingreso de aire desde Argentina hacia Chile, se genera un vacío de aire sobre los valles centrales, lo que gatilla un movimiento de aire desde arriba.

Este aire descendente se conoce como subsidencia forzada (3), provocando que la capa de mezcla disminuya su altura, y por lo tanto disminuye la ventilación de contaminantes y aumenta su concentración³². La subsidencia genera también que se disipen los estratocúmulos costeros (4).

Figura 5-7 Fase inicial sistema frontal



Fuente: Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008

5.1.3.2 Fase de culminación

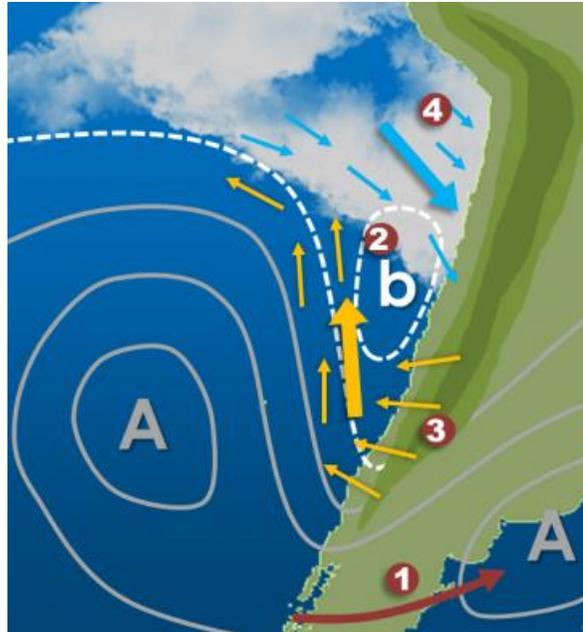
En la Figura 5-8 se ilustra el proceso de formación de la Vaguada Costera. El alta fría continúa avanzando hacia el lado argentino (1) y en la costa centro de Chile se forma la Vaguada Costera

³² Al bajar la altura de la capa de mezcla, los contaminantes se dispersan en un menor volumen, lo que aumenta así su concentración.

(2) de carácter sinóptico. Esta es reforzada producto del calentamiento adicional que genera la subsidencia forzada y la falta de nubes.

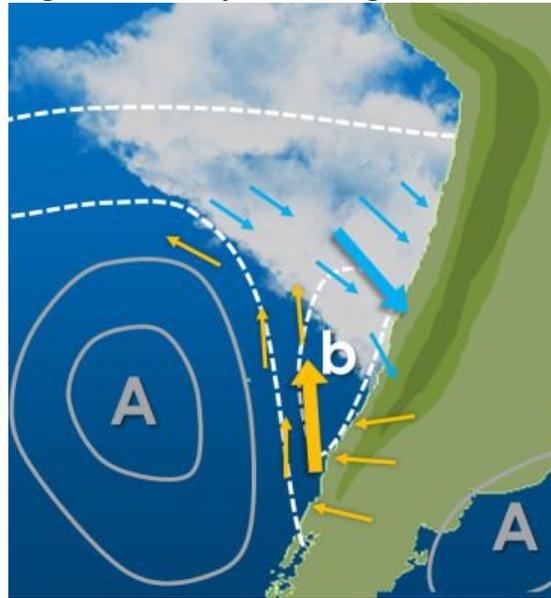
La presencia de esta baja aumenta la diferencia de presión entre la zona centro y sur intensificando aún más el viento del Este que sale desde el continente (3). Al norte de la Vaguada Costera el viento fluye desde el Oeste, ingresando nubosidad a los valles (4). En este proceso la dispersión de contaminantes sigue siendo muy baja, por lo que se ven aumentos en la concentración.

Figura 5-8 Formación de la vaguada costera



Fuente: Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008

Luego, la baja comienza a profundizarse y avanzar hacia el sur tal como se presenta en la Figura 5-9, la ventilación comienza a mejorar.

Figura 5-9 Desaparición vaguada costera


Fuente: Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008

5.1.3.3 Fase de término

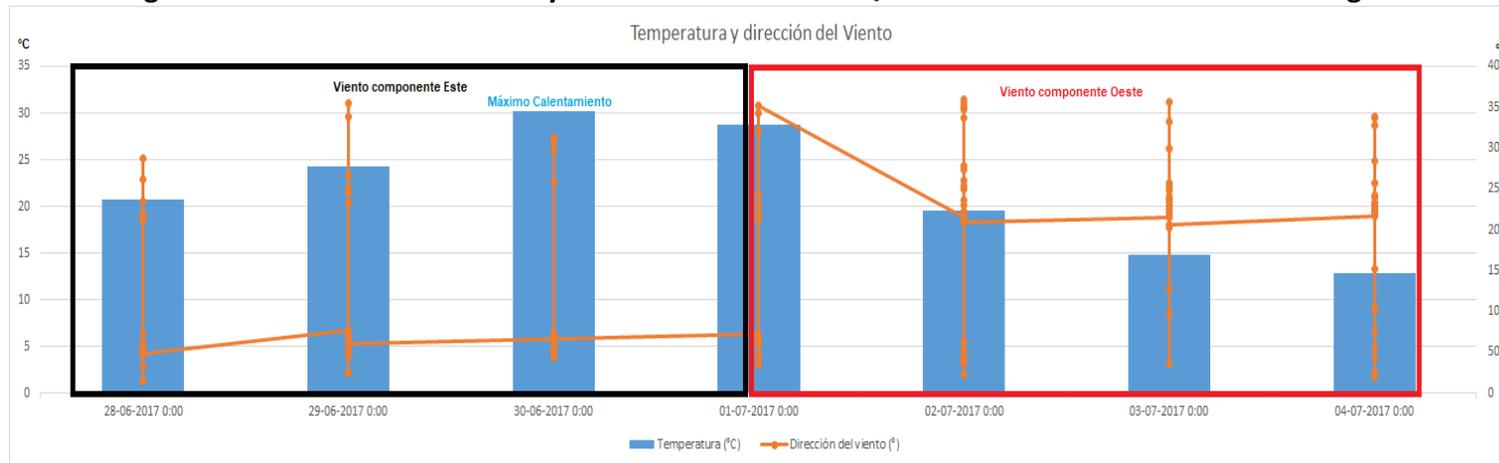
Cuando la alta fría se mueve hacia el Este cruzando hacia Argentina, la Vaguada Costera se va desplazando lentamente hacia el sur. En este proceso se va recuperando la altura de la capa de mezcla permitiendo la entrada de nubosidad costera a los valles centrales.

Por último, se revierte el flujo del Este, volviendo a ser mayormente del Oeste e incluso Noroeste. Si el cambio es muy brusco, ingresa nubosidad estratiforme al Valle de Aconcagua favoreciendo la ventilación de la cuenca.

Todo este proceso ocurre en un par de días y en cualquier época del año. Es por esto que en pleno invierno en los valles centrales puede haber días muy cálidos (cuando la Vaguada Costera está en desarrollo y culminación) seguidos de unos días fríos y nubosos (cuando la Vaguada Costera está en fase de término).

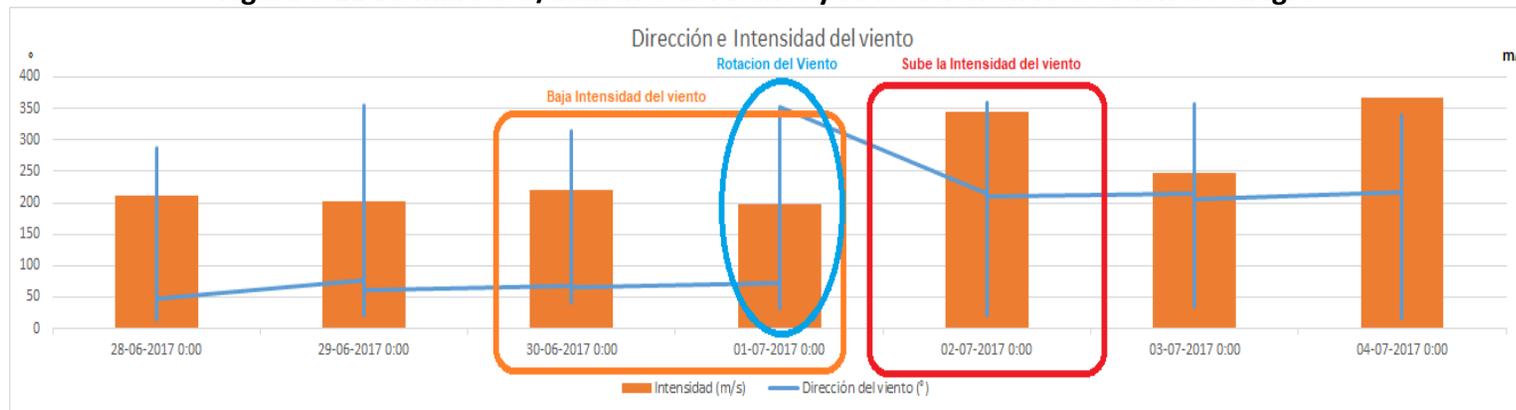
Para demostrar esto con datos reales de estaciones, hemos analizado la estación de Chagres, la cual muestra una secuencia para estos mismos días dando a entender que la teoría se cumple a la perfección, la temperatura sube aproximadamente unos 10°C en la fase de Desarrollo, y desciende unos 10-12°C luego de la culminación. La dirección del viento también señala una rotación importante junto a un aumento en la intensidad:

Figura 5-10 Dirección del viento y máximo calentamiento/enfriamiento en la estación de Chagres



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

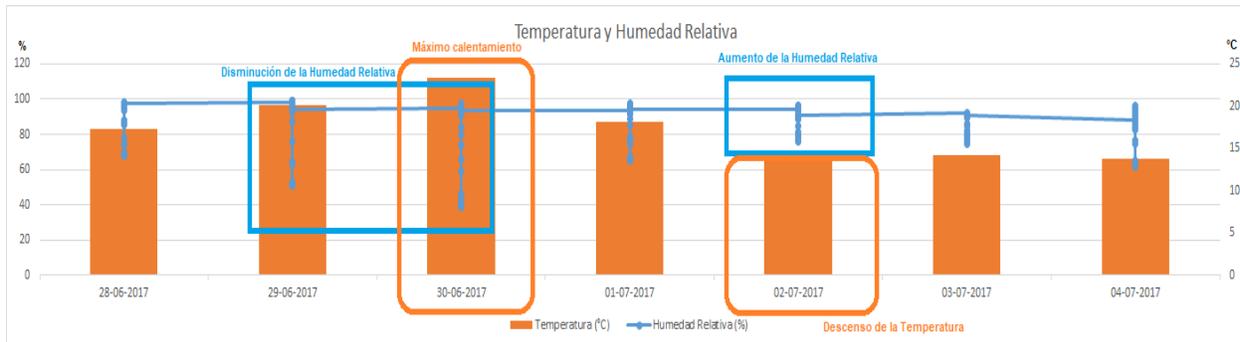
Figura 5-11 Disminución/aumento del viento y su rotación en la estación de Chagres



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Si analizamos la estación más costera (Nehuenco) que posee datos de Humedad Relativa del aire, podemos apreciar el calentamiento y la disminución de humedad antes de la fase de culminación, y un aumento de la humedad relativa junto a un enfriamiento en la fase de término de la Vaguada Costera:

Figura 5-12 Disminución/aumento de la Humedad relativa-Temperatura en la estación de Neuhuenco



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En resumen, la Vaguada Costera es un complejo fenómeno que tiene una gran relevancia en las variaciones del tiempo atmosférico en Chile Centro y Sur, y tiene una implicancia directa en la calidad del aire y su ventilación.

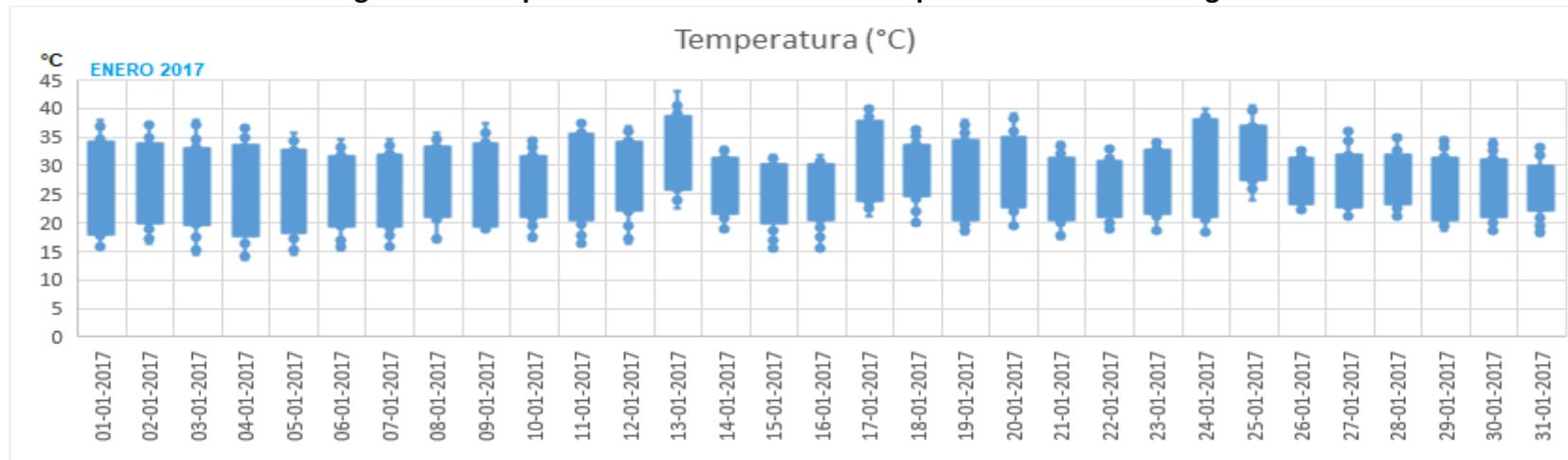
5.1.4 Flujo día/noche bajo condiciones normales/dorsal

El anticiclón subtropical del Pacífico suroriental (masa cálida) ejerce su influencia en la zona prácticamente durante todo el año lo cual genera una casi permanente inversión térmica de subsidencia. Esta posee un tope estimado de 600-1.200 msnm. Sin embargo, el ciclo diario de calentamiento-enfriamiento de la superficie terrestre tiene un gran efecto en la altura de la inversión y su intensidad.

En la noche el enfriamiento radiativo genera un incremento de la temperatura en los primeros 20 metros de altitud de hasta 3°C. Este aumento se acopla con la inversión de subsidencia y potencia la formación de una capa estable hasta aproximadamente los 600 metros. La turbulencia dentro de esta capa es muy baja, minimizando la dispersión de contaminantes.

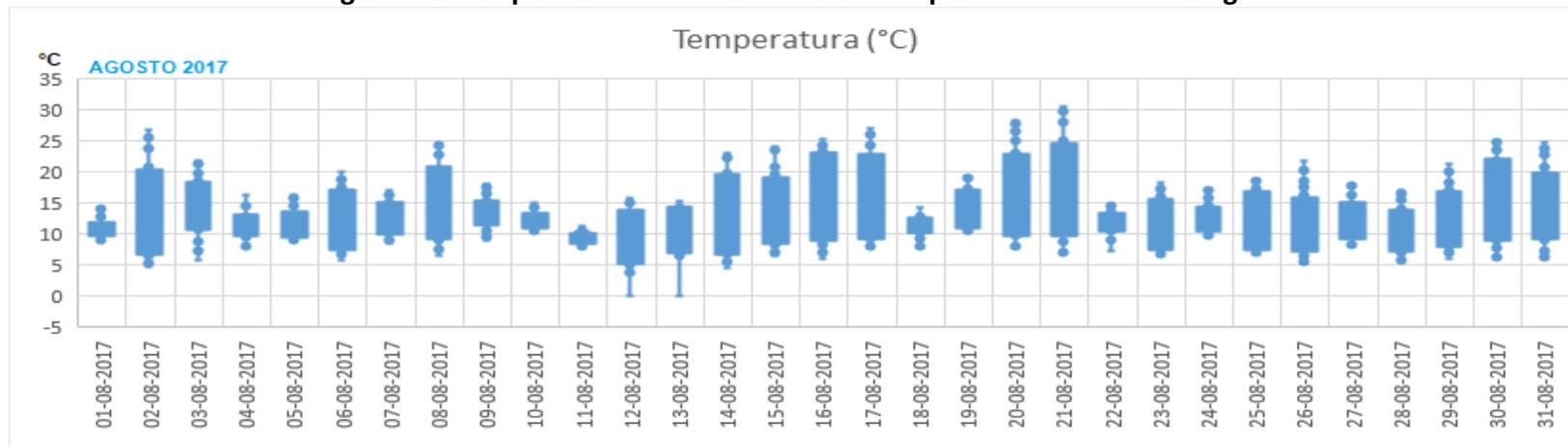
Durante el día, la radiación solar comienza a calentar el suelo, y el aire inmediatamente posado sobre la superficie también se calienta generando una mayor turbulencia capaz de romper la inversión de subsidencia. Las siguientes figuras enseñan la amplitud térmica diaria para la estación de Chagres (invierno y verano) y de forma similar posteriormente para la estación de Neuhuenco, reflejando lo expuesto anteriormente:

Figura 5-13 Amplitud térmica diaria en verano para la estación de Chagres



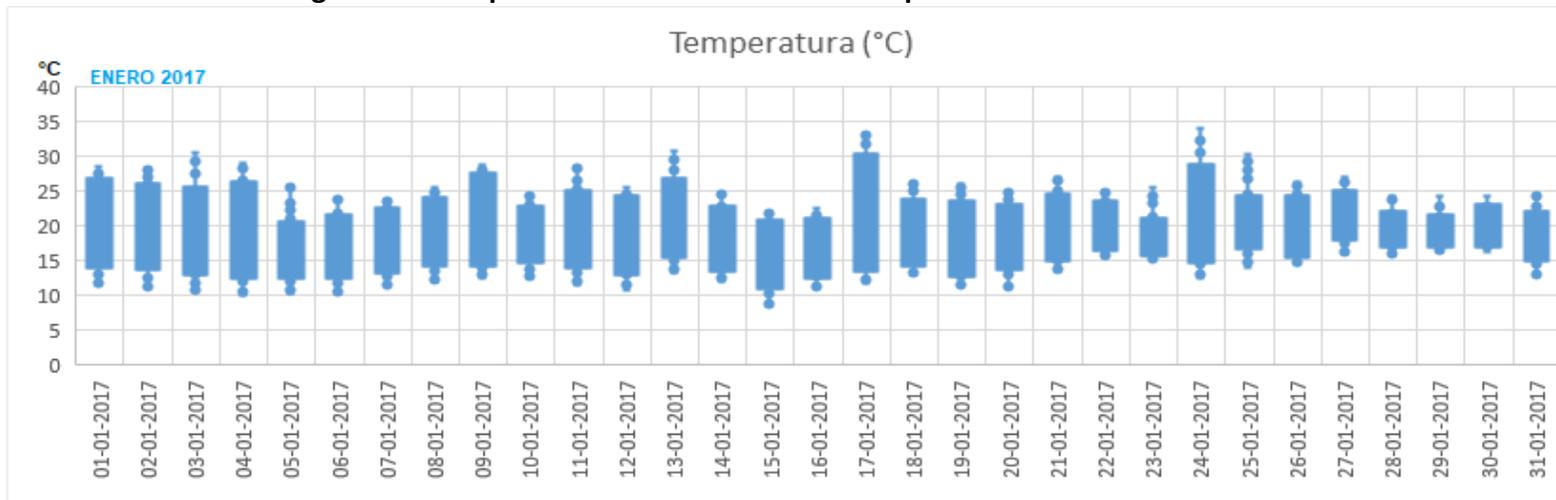
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 5-14 Amplitud térmica diaria en invierno para la estación de Chagres



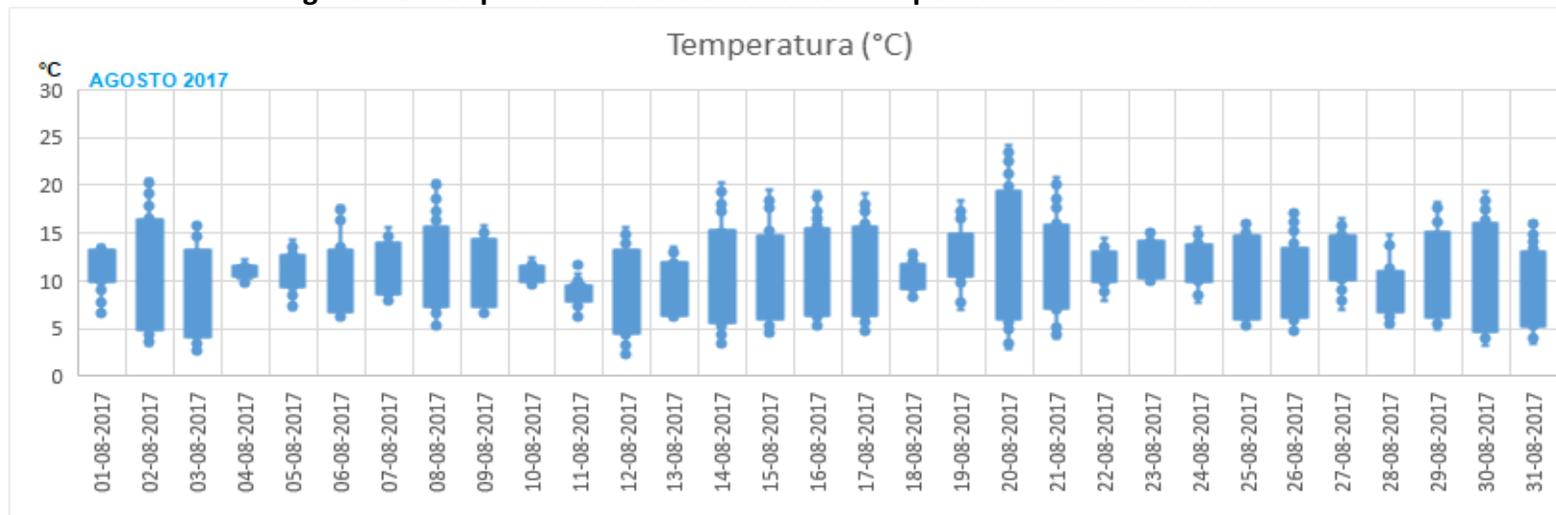
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 5-15 Amplitud térmica diaria en verano para la estación de Nehuenco



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Figura 5-16 Amplitud térmica diaria en invierno para la estación de Nehuenco



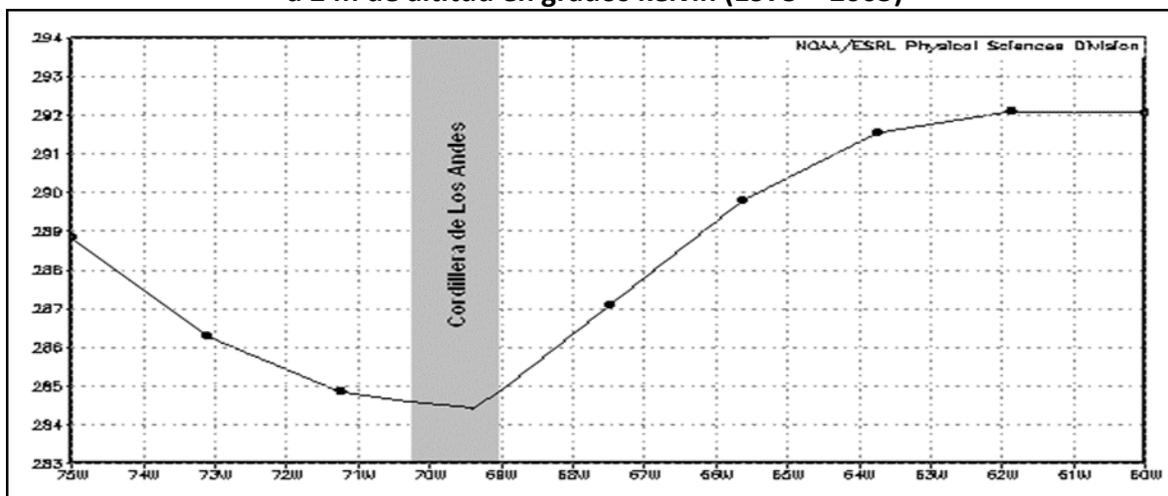
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

El relieve regional y la presencia de la inversión térmica tienen un marcado efecto sobre la cuenca. Entre el tope de la Cordillera de Los Andes y los 2.000 msnm predomina el viento del Noroeste sin mayores variaciones en el ciclo diario. Bajo los 2.000 msnm, se aprecia un marcado ciclo diario del viento. Durante la noche y la madrugada predomina una ligera brisa desde la cordillera hacia el mar (viento Este-Sureste) con una altura mínima alrededor de los 700 msnm debido a que la inversión de subsidencia impide que llegue hasta la superficie. De forma contraria, en el día el flujo del viento rota a componente Sur-Suroeste entre la superficie y los 500 msnm coincidentes con el tope de la capa de mezcla alcanzando las máximas intensidades en las primeras horas de la tarde.

5.1.5 Tormentas Eléctricas

Los Andes actúa como una barrera climatológica. En el periodo comprendido entre 1975 – 2005, el promedio histórico de la temperatura superficial (2 metros de altura) a ambos lados de la Cordillera de Los Andes en latitudes centrales indica que el sector argentino tiene temperaturas más elevadas que el sector chileno (ver Figura 5-17).

Figura 5-17 Corte latitudinal a los 33 °S de temperaturas promedios históricos a 2 m de altitud en grados kelvin (1975 – 2005)

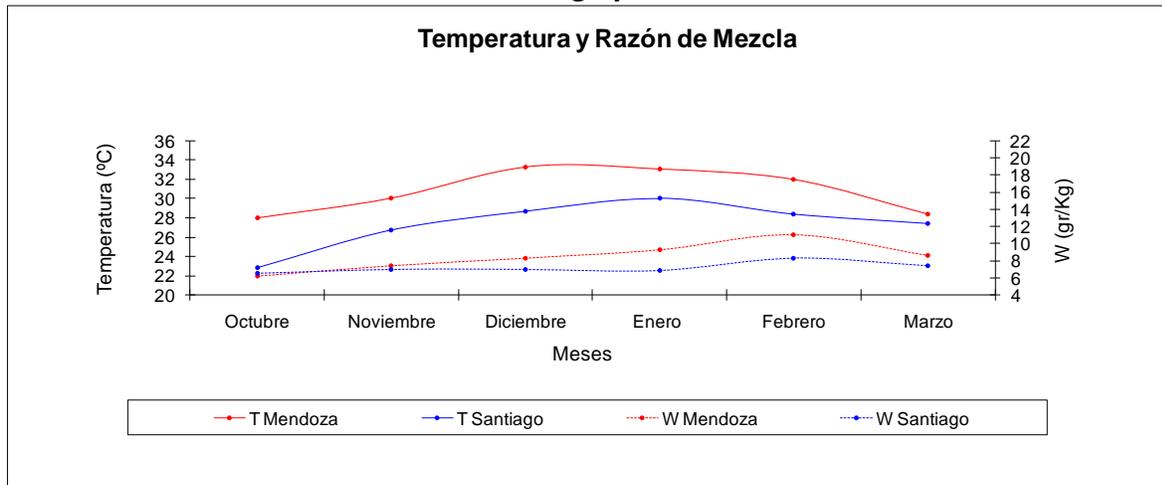


La barra vertical color plomo señala altitud de la Cordillera de Los Andes > 2000 m.s.n.m

Fuente: Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008

Se observa que en el comportamiento medio mensual de las temperaturas máximas y de la razón de mezcla entre la ciudad de Santiago y Mendoza el sotavento de Los Andes en general las dos variables son más elevadas que a barlovento de ella, indicando un notorio contraste entre ambos climas, en donde la ladera Este del macizo cordillerano manifiesta claramente una troposfera más cálida y húmeda (ver Figura 5-18).

Figura 5-18 Promedio mensual de temperatura máxima y razón de mezcla en las ciudades de Santiago y Mendoza.



Fuente: Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008

En época estival la cordillera de la V región es afectada por tormentas eléctricas. Estas son fenómenos de rápida aparición, corta duración y difícil predicción. Se postula que son producidas en esta zona debido a la interacción de dos factores: 1) *Incurción de aire frío en altura desde barlovento de la Cordillera de Los Andes* y 2) *Flujos de aire cálido y húmedo en niveles inferiores de la troposfera transportado desde sotavento proveniente de latitudes menores, manifestada por la Baja del Noreste Argentino (BNOA) y el Anticiclón Subtropical del Océano Atlántico Sur*, ya que entre ambos sistemas se establece un corredor de viento norte que transporta masas de aire de origen tropical hacia latitudes medias³³.

5.1.6 Formación Nube de Tormenta

En grandes masas de aire muy inestable, las pequeñas masas o parcelas de aire a medida que ascienden se hacen más livianas que el aire circundante, debido a que la diferencia de temperatura entre la parcela y el medio que la rodea, aumenta con la altura. Siempre que esta condición persista, el aire de la nube sigue elevándose con velocidad creciente.

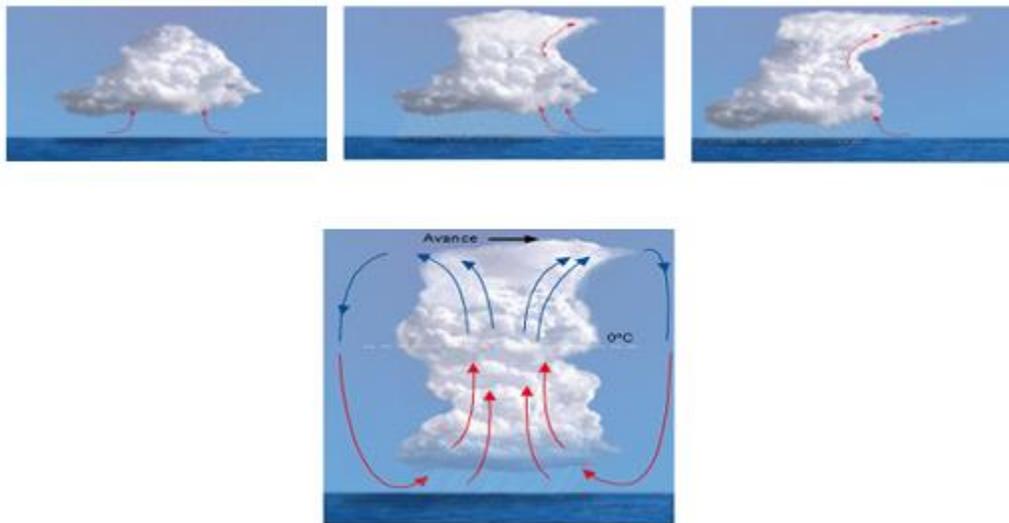
Estas nubes convectivas se llaman cúmulos nimbos, y son nubes caracterizadas por un gran desarrollo vertical, dentro de las cuales es frecuente encontrar fuertes corrientes de aire, tanto ascendente como descendente, turbulencia, regiones con temperaturas muy inferiores a la de congelación, cristales de hielo y granizo. Sus dimensiones son muy considerables: la base se encuentra usualmente por debajo de los dos kilómetros, y su extensión vertical (entre la base y tope) fluctúa entre 5 y 12 kilómetros, en latitudes medias.

³³ Lorena Ferreira, Marcelo Seluchi, and Celeste Saulo, 'Climatología Sinóptica De La Baja Del Noreste Argentino: Campos Medios De Enero y Julio', 2004.

Las nubes cúmulos nimbos poseen tres etapas de existencia: desarrollo, madurez y disipación. La agitación en el interior de estas nubes es muy fuerte; en su etapa de desarrollo, el núcleo está más caliente que el entorno de la nube, siendo atravesada por fuertes corrientes ascendentes haciendo que crezca rápidamente sobrepasando la isoterma 0°C.

Las lluvias intensas y la mayoría de los rayos/relámpagos ocurren en la etapa de madurez. Finalmente, en la etapa disipativa, el movimiento del aire es casi exclusivamente descendente, provocando un enfriamiento en la nube. En esta etapa, la altura del tope, el diámetro de la nube y las lluvias tienden a disminuir, hasta que la nube se disipa. La temperatura también tiende a retornar al valor anterior a la tormenta. En la figura se muestra un esquema del desarrollo de una tormenta en un cúmulo nimbos.

Figura 5-19 Formación de una tormenta en un Cúmulo nimbos



Fuente: Angelo Pascualetti, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008

En las proximidades del suelo las cizalladuras del viento y el calentamiento superficial conducen continuamente al desarrollo de remolinos turbulentos. Estos remolinos constituyen agentes de mezcla sumamente efectivos. Este transporte turbulento ejerce una apreciable influencia sobre el movimiento a través de la capa límite, cuyo espesor puede estar comprendido entre unos 30 metros en condiciones de gran estabilidad y más de 3 km en condiciones altamente convectivas. Por lo tanto, una tormenta eléctrica siempre es favorable para la ventilación de contaminantes. Durante una tormenta la inversión de subsidencia se rompe rápidamente dando paso a una ventilación forzada dispersando notoriamente los contaminantes.

5.2 Análisis de trayectorias del viento

El análisis de trayectorias del viento permite mostrar como las masas de aire que llegan a una ubicación dada (receptor) provienen de distintas ubicaciones espaciales. Luego, las trayectorias permiten entender como las emisiones de distintas zonas pueden terminar llegando a una ubicación fija en la zona estudiada.

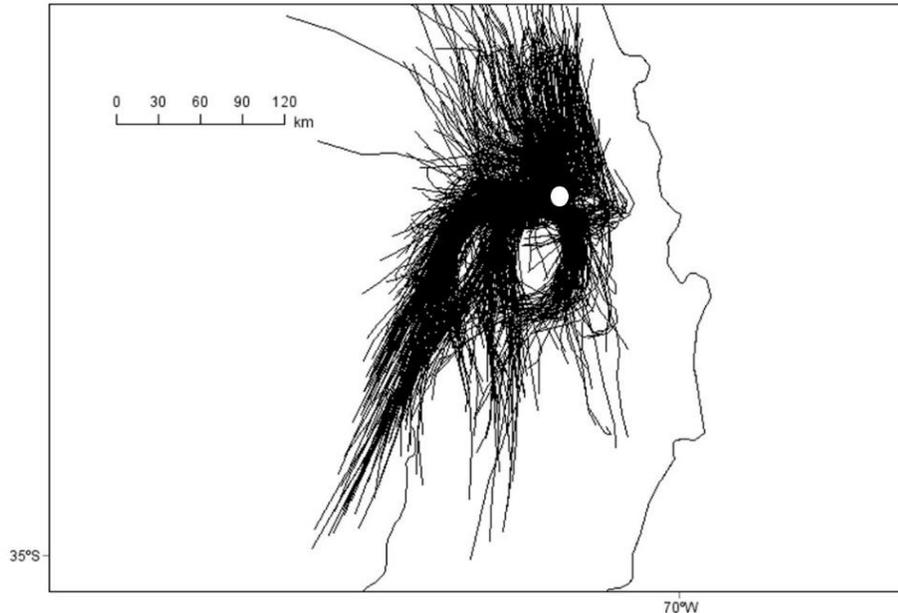
Para fines de generar las trayectorias del viento, vamos a usar el software especializado HYSPLIT, desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Agency de EEUU y disponible en dominio público³⁴.

Se escogieron cuatro localidades urbanas: Catemu, La Calera, Llaillay y Quillota, como receptores urbanos. Se corrió el modelo HYSPLIT para simular trayectorias llegando a cada uno de esos receptores a una altura de 10 m y con duración temporal de 9 horas; las trayectorias comenzaban 4 veces al día (cada 6 h) por un año completo. No se escogieron trayectorias de mayor duración temporal porque en tales casos las trayectorias se alejaban demasiado de la región de Valparaíso, por ejemplo, llegaban al sur de la región del Maule o al norte de la región de Coquimbo; en estos casos no se espera que fuente emisoras ubicadas tan lejos vayan a aportar significativamente a los niveles de concentraciones de MP_{10} observadas en dichos receptores, dada la dilución de dichas emisiones con la distancia recorrida entre fuente y receptor.

Los resultados típicos se muestran en la siguiente figura, donde se grafican todas las trayectorias que llegan a Catemu y cuya duración total es de 9 horas. La figura muestra una gran cantidad de trayectorias (más de 1.400), las que llegan todas al receptor Catemu, el cual se indica con un círculo blanco.

³⁴ <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>

Figura 5-20 Trayectorias del viento llegando a Catemu a 10 m sobre el suelo.



En círculo blanco se indica Catemu, y cada línea negra representa una trayectoria posible de viento que llega a Catemu
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

Para poder analizar este gran número de trayectorias, se procede a hacer un proceso de agrupamiento (*clustering*), el cual es parte de las opciones del programa HYSPLIT. De esta forma, se resume el total de trayectorias en un conjunto acotado de conglomerados representativos del conjunto original de trayectorias modeladas.

A continuación, presentamos los resultados del análisis de conglomerados de trayectorias del viento, para los cuatro receptores considerados en el análisis.

5.2.1 Trayectorias del viento en Catemu

En el caso de Catemu, se encuentran 16 conglomerados (clústeres) de trayectorias. La Tabla 5-1 resume el porcentaje de trayectorias que están incluidas en cada uno de los 16 conglomerados identificados.

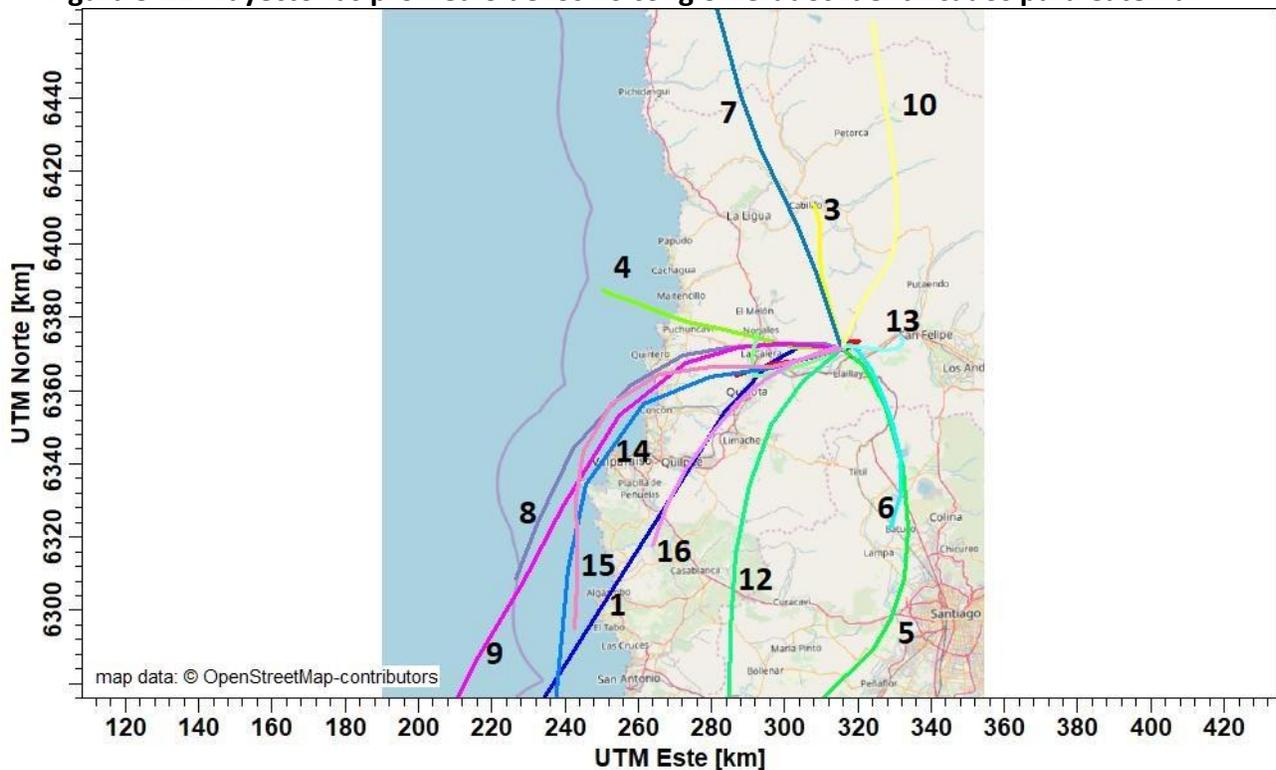
Tabla 5-1 Porcentaje de frecuencia de trayectorias en cada conglomerado, caso de Catemu

Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia
1	2,8	7	5,4	13	11,6
2	9,9	8	3,6	14	4,0
3	11,9	9	5,3	15	3,7
4	8,0	10	7,0	16	6,0
5	3,8	11	8,2		
6	5,8	12	3,1		

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

La Figura 5-21 muestra los conglomerados identificados, mostrando la trayectoria media de cada uno de ellos.

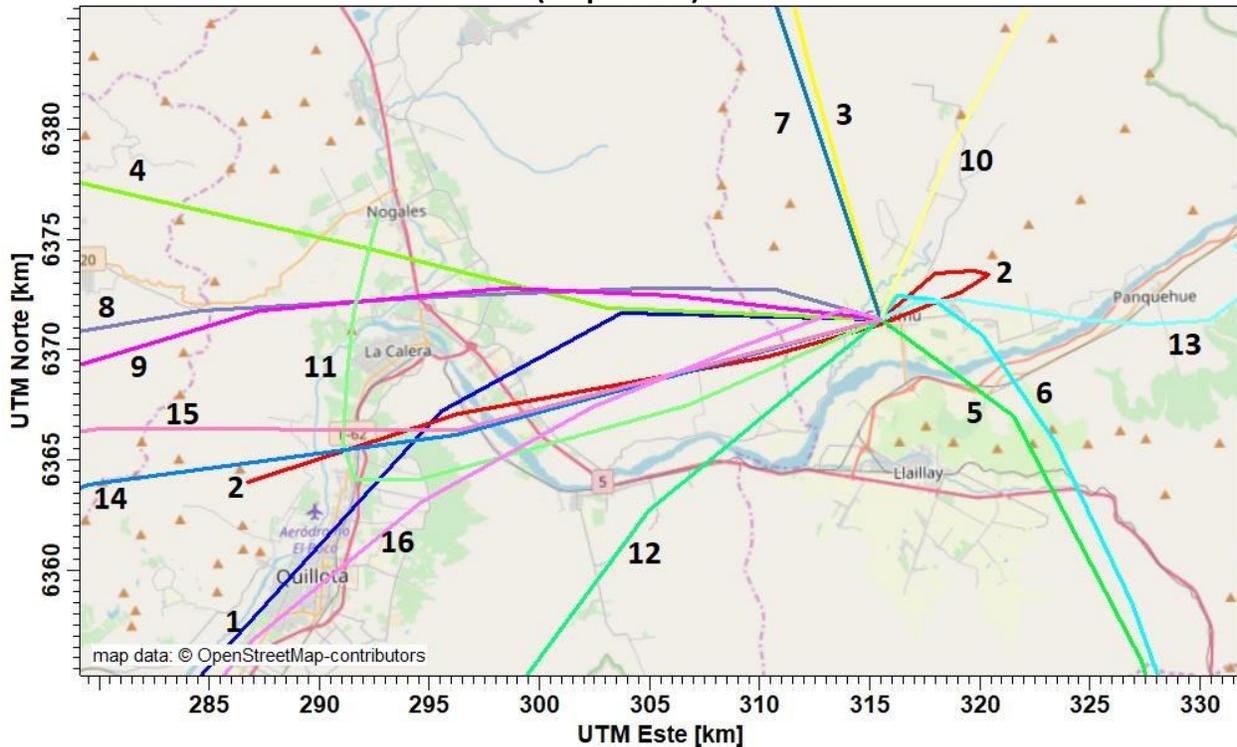
Figura 5-21 Trayectorias promedio de los 16 conglomerados identificados para Catemu.



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

La Figura 5-22 muestra una ampliación de la figura anterior, para poder apreciar algunos conglomerados con trayectorias más cortas (correspondientes a menores velocidades del viento), como los conglomerados 2 y 11.

Figura 5-22 Trayectorias promedio de los 16 conglomerados identificados para Catemu (ampliación).



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

De estas dos figuras se obtienen los siguientes resultados:

- a) Las trayectorias que llegan desde el norte (7, 3 y 10) constituyen el 24,3% de las masas de aire que llegan a Catemu
- b) La trayectoria 4 llega desde el ONO y trae masas de aire desde la zona de Puchuncaví, con un 8% del total de trayectorias
- c) Las trayectorias 8, 9, 14 y 15 (16,6% del total) llevan masas de aire que han pasado por el Gran Valparaíso y entre Concón y Quintero, antes de arribar a Catemu
- d) Las trayectorias 1 y 16 pasan por Quilpué, Limache y Quillota antes de arribar a Catemu, constituyen el 8,8 % del total de trayectorias
- e) La trayectoria 12 (3,1 % del total) pasa sobre Melipilla y luego sigue rumbo NO sobre zonas agrícolas hasta que arriba a Catemu
- f) La trayectoria 5 (3,8% del total) pasa por el oeste del Gran Santiago con rumbo NE, luego toma rumbo N y se une a la trayectoria 6 (5,8% del total) al norte del Gran Santiago para luego proseguir ambas con rumbo ESE hasta arribar a Catemu
- g) La trayectoria 2 (9,9 % del total) parte al NO de Quillota (SO de La Calera) y prosigue con rumbo ENE hasta llegar a Catemu, pasando de largo y luego retornando a Catemu
- h) La trayectoria 11 comienza en la zona de Nogales, se dirige al sur de La Calera (norte de Quillota) y se desplaza en forma paralela a la trayectoria 2 hasta llegar a Catemu

i) La trayectoria 13 comienza al oeste de San Felipe, se dirige con rumbo SO hasta pasar por el sur de Panquehue y luego toma rumbo oeste para llegar a Catemu

En resumen, hay una alta variabilidad de las direcciones desde las cuales llegan masas de aire a Catemu. La mayor frecuencia de masas de aire que llegan a Catemu lo hacen desde el oeste (zonas de Quillota – La Calera y Concón – Quintero), incluso desde el Gran Valparaíso. La segunda mayor frecuencia de masas de aire provienen desde el norte de Catemu, incluyendo la zona minera al norte y otras fuentes más distantes. En menor proporción llegan masas de aire desde el sur, este y sureste de Catemu.

5.2.2 Trayectorias del viento en La Calera

En el caso de La Calera, se encuentran 17 conglomerados (clústeres) de trayectorias. La Tabla 5-2 resume el porcentaje de trayectorias que están incluidas en cada uno de los conglomerados identificados.

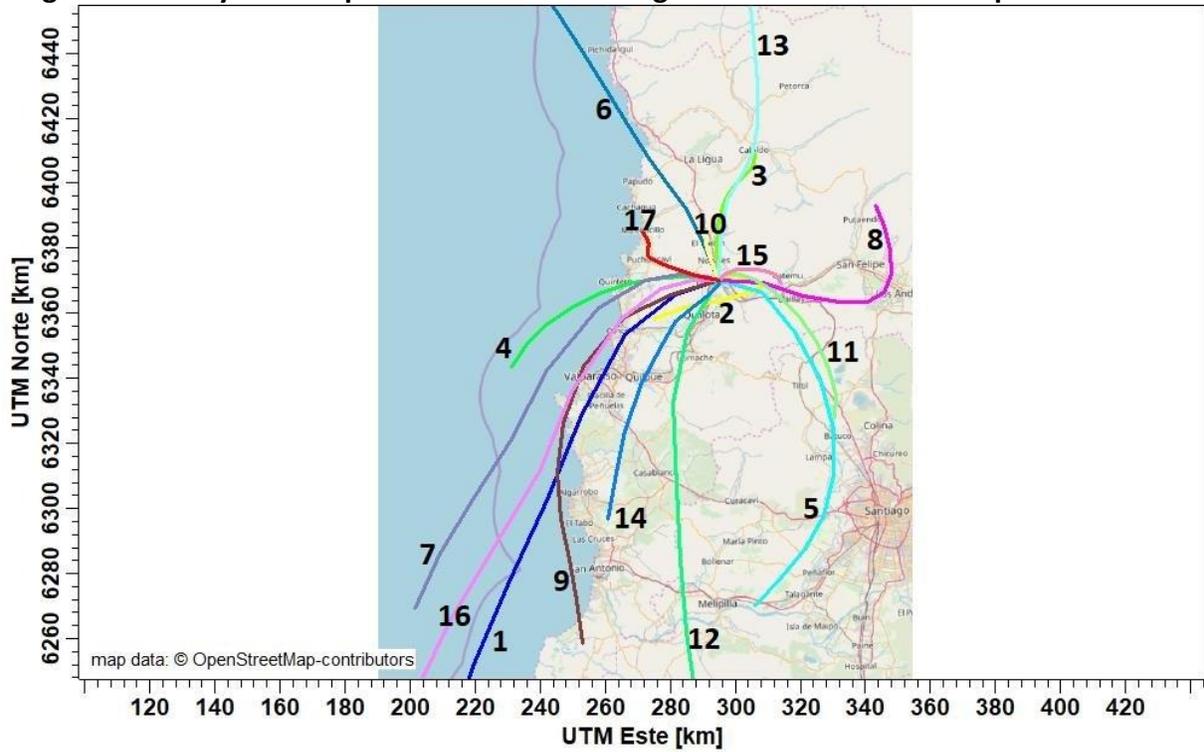
Tabla 5-2 Porcentaje de frecuencia de trayectorias incluidas en cada conglomerado.

Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia
1	6,0	7	4,3	13	3,4
2	6,8	8	6,1	14	5,7
3	10,4	9	6,5	15	8,1
4	6,3	10	7,5	16	4,3
5	7,6	11	4,2	17	7,5
6	4,1	12	1,4		

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

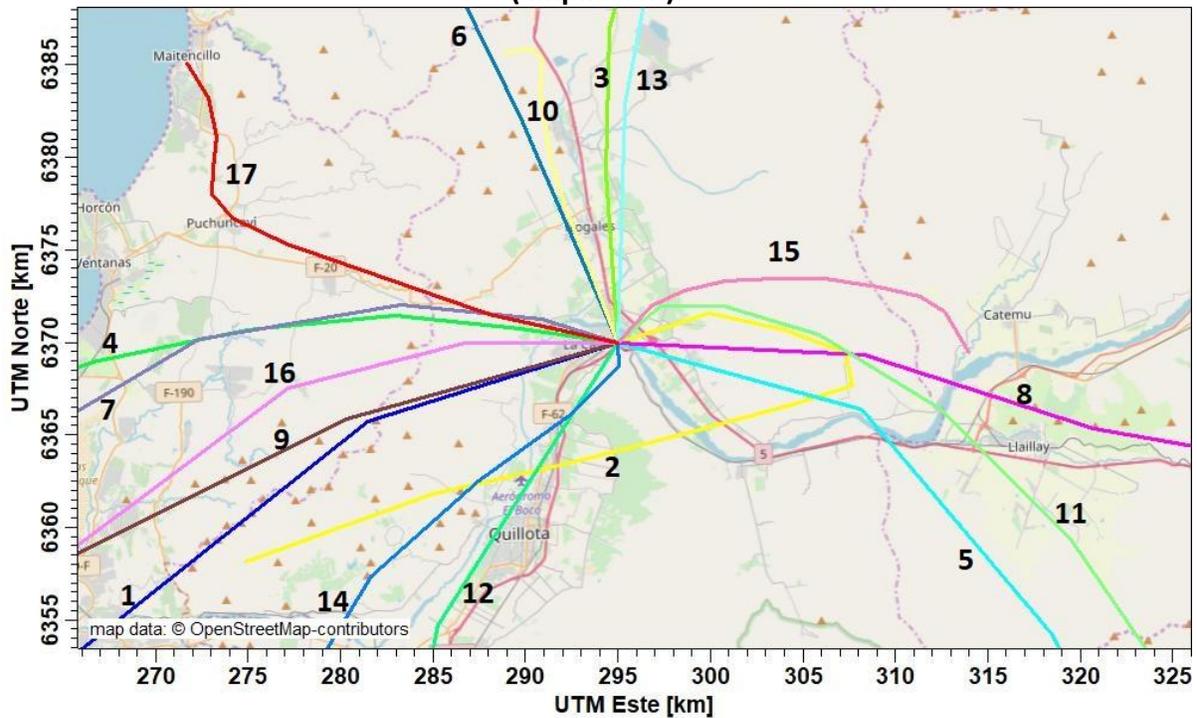
La Figura 5-23 muestra los conglomerados identificados, mostrando la trayectoria media de cada uno de ellos. La Figura 5-24 muestra una ampliación de la figura anterior, para poder apreciar algunos conglomerados con trayectorias más cortas (correspondientes a menores velocidades del viento), como los conglomerados 2, 3 y 10.

Figura 5-23 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para La Calera.



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

Figura 5-24 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para La Calera (ampliación).



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

De estas dos figuras se obtienen los siguientes resultados:

- a) Las trayectorias que llegan desde el norte (3, 6, 10 y 13) constituyen el 25,3% de las masas de aire que llegan a La Calera
- b) La trayectoria 17 llega desde el ONO y trae masas de aire desde la zona de Puchuncaví, con un 7,5% del total de trayectorias
- c) Las trayectorias 1, 4, 7, 9 y 16 (27,4 % del total) llevan masas de aire que han pasado por el Gran Valparaíso y entre Concón y Quintero, antes de arribar a La Calera
- d) La trayectoria 14 pasa por Quilpué, Limache y Quillota antes de arribar a La Calera, constituye el 5,7 % del total de trayectorias
- e) La trayectoria 12 (1,4 % del total) pasa sobre Melipilla y luego sigue rumbo NO sobre zonas agrícolas, sobre Quillota hasta que arriba a La Calera
- f) La trayectoria 5 (7,6 % del total) pasa por el oeste del Gran Santiago con rumbo NE, luego toma rumbo N y se une a la trayectoria 11 (4,2 % del total) al norte del Gran Santiago para luego proseguir ambas con rumbo ESE hasta arribar a La Calera
- g) La trayectoria 2 (6,8 % del total) parte al O de Quillota y prosigue con rumbo ENE pasando al sur de La Calera, pasando de largo y luego retornando a La Calera con rumbo O
- h) La trayectoria 8 comienza al norte de San Felipe, se dirige con rumbo S hasta pasar por Los Andes y luego toma rumbo oeste para llegar a La Calera
- i) La trayectoria 15 comienza al sur de Catemua, se dirige al oeste y toma finalmente rumbo SO para llegar a La Calera

En resumen, hay una alta variabilidad de las direcciones desde las cuales llegan masas de aire a La Calera. La mayor frecuencia de masas de aire que llegan a La Calera llegan desde el oeste (zonas de Quillota – La Calera y Concón – Quintero), incluso desde el Gran Valparaíso en algunos casos. La segunda mayor frecuencia de masas de aire provienen desde el norte de La Calera, incluyendo Nogales y Cabildo. En menor proporción llegan masas de aire desde el sur, este y sureste de La Calera.

5.2.3 Trayectorias del viento en Llaillay

En el caso de Llaillay, se encuentran 17 conglomerados (clústeres) de trayectorias. La Tabla 5-3 resume el porcentaje de trayectorias que están incluidas en cada uno de los conglomerados identificados.

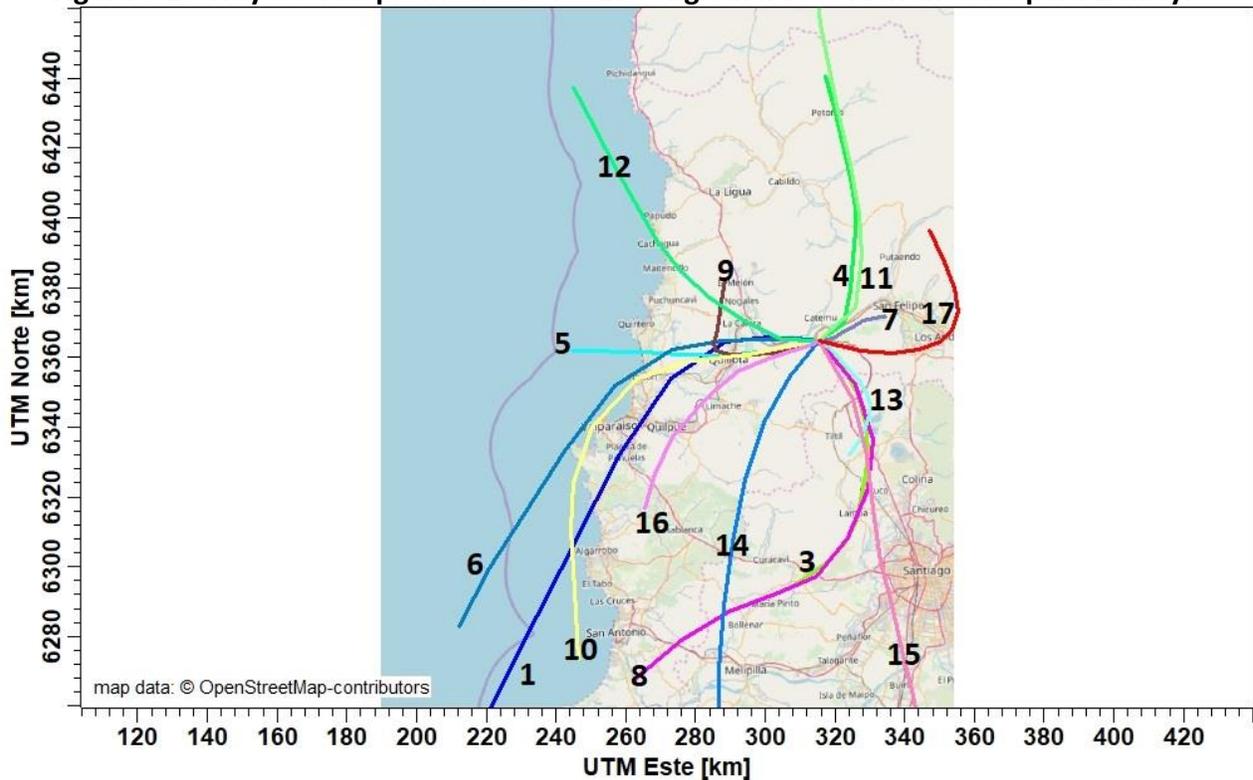
Tabla 5-3 Porcentaje de frecuencia de trayectorias incluidas en cada conglomerado.

Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia
1	5,7	7	6,6	13	5,0
2	8,0	8	5,9	14	2,8
3	8,1	9	8,2	15	2,1
4	14,1	10	6,3	16	4,6
5	3,3	11	3,2	17	5,0
6	7,7	12	3,5		

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

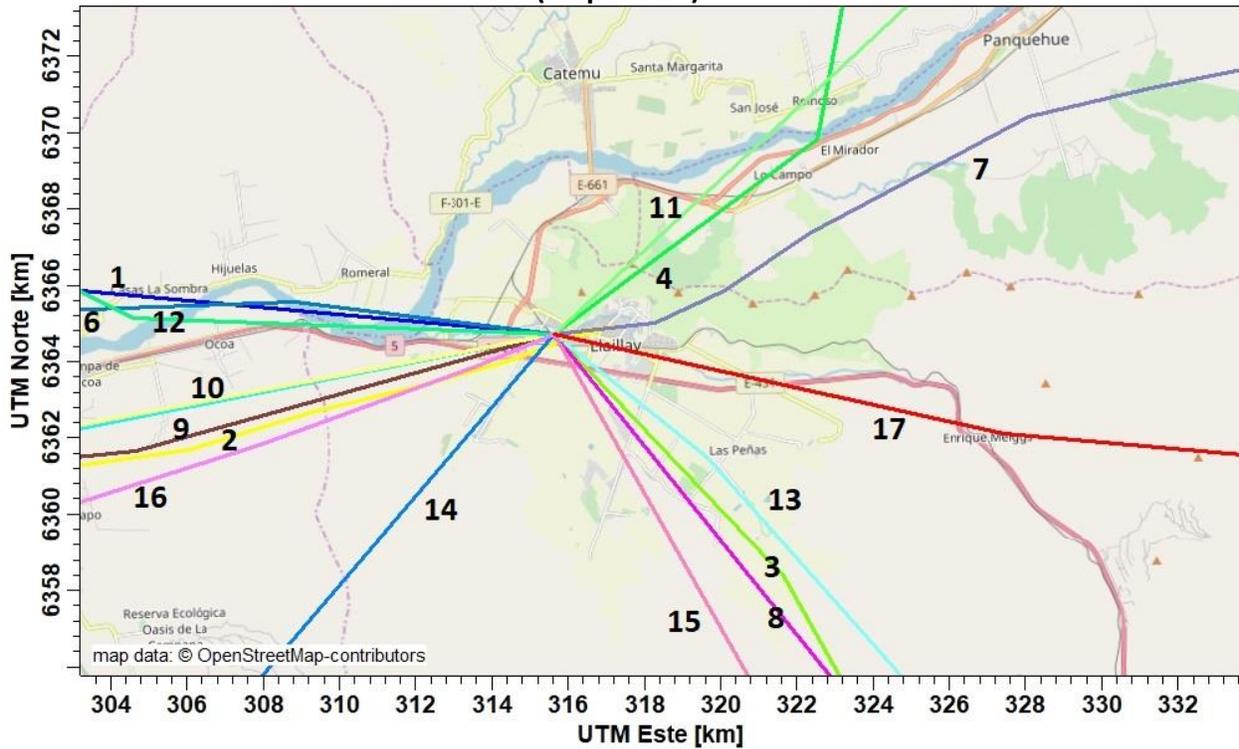
La Figura 5-25 muestra los conglomerados identificados, mostrando la trayectoria media de cada uno de ellos. La Figura 5-26 muestra una ampliación de la figura anterior, para poder apreciar algunos conglomerados con trayectorias más cortas (correspondientes a menores velocidades del viento), como los conglomerados 2, 4, 7 y 11.

Figura 5-25 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Llaillay.



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

Figura 5-26 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Llaillay (ampliación).



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

De estas dos figuras se obtienen los siguientes resultados:

- Las trayectorias que llegan desde el norte (4, 11 y 12) constituyen el 20,8 % de las masas de aire que llegan a Llaillay
- La trayectoria 5 llega desde el oeste y trae masas de aire desde la zona entre Quintero y Concón, con un 3,3 % del total de trayectorias
- Las trayectorias 1, 6 y 10 (19,7 % del total) llevan masas de aire que han pasado por el Gran Valparaíso y entre Concón y Quintero, antes de arribar a Llaillay
- La trayectoria 16 pasa por Quilpué, Limache y Quillota antes de arribar a Llaillay, constituye el 4,6 % del total de trayectorias
- La trayectoria 14 (2,8 % del total) pasa sobre Melipilla y luego sigue rumbo NO sobre zonas agrícolas, hasta que arriba a Llaillay
- La trayectoria 8 (5,9 % del total) parte en el sur de Santo Domingo, pasa por sobre María Pinto y al oeste del Gran Santiago se une a la trayectoria 3 (8,1 % del total) con rumbo NE, luego toma rumbo N y pasa sobre Lampa y Batuca, posteriormente ambas siguen con rumbo NNO hasta arribar a (5,9 % del total)
- La trayectoria 15 (2,1 % del total) parte sobre Buin, pasa por el sector oeste del Gran Santiago y continua al NNO pasando sobre Batuco hasta que llega a Llaillay

- h) La trayectoria 17 (5 % del total) comienza al noreste de San Felipe, se dirige con rumbo S hasta pasar por Los Andes y luego toma rumbo oeste para llegar a Llaillay
- i) La trayectoria 7 (6,6 % del total) comienza al sur de San Felipe, se dirige con rumbo SO para llegar a Llaillay
- j) La trayectoria 9 (8,2 % del total) parte desde El Melón, toma rumbo sur hasta pasar sobre Quillota y se dirige hacia el este hasta llegar a Llaillay
- k) La trayectoria 2 (8 % del total) parte desde el sector de La Palma y continua con rumbo este hasta llegar a Llaillay

En resumen, hay una alta variabilidad de las direcciones desde las cuales llegan masas de aire a Llaillay. La mayor frecuencia de masas de aire que llegan a Llaillay llegan desde el oeste (zonas de Quillota – La Calera y Concón – Quintero), incluso desde el Gran Valparaíso en algunos casos. La segunda mayor frecuencia de masas de aire provienen desde el norte de Llaillay. En menor proporción llegan masas de aire desde el sur, este y sureste de Llaillay.

5.2.4 Trayectorias del viento en Quillota

En el caso de Quillota, se encuentran 14 conglomerados (clústeres) de trayectorias. La Tabla 5-4 resume el porcentaje de trayectorias que están incluidas en cada uno de los conglomerados identificados.

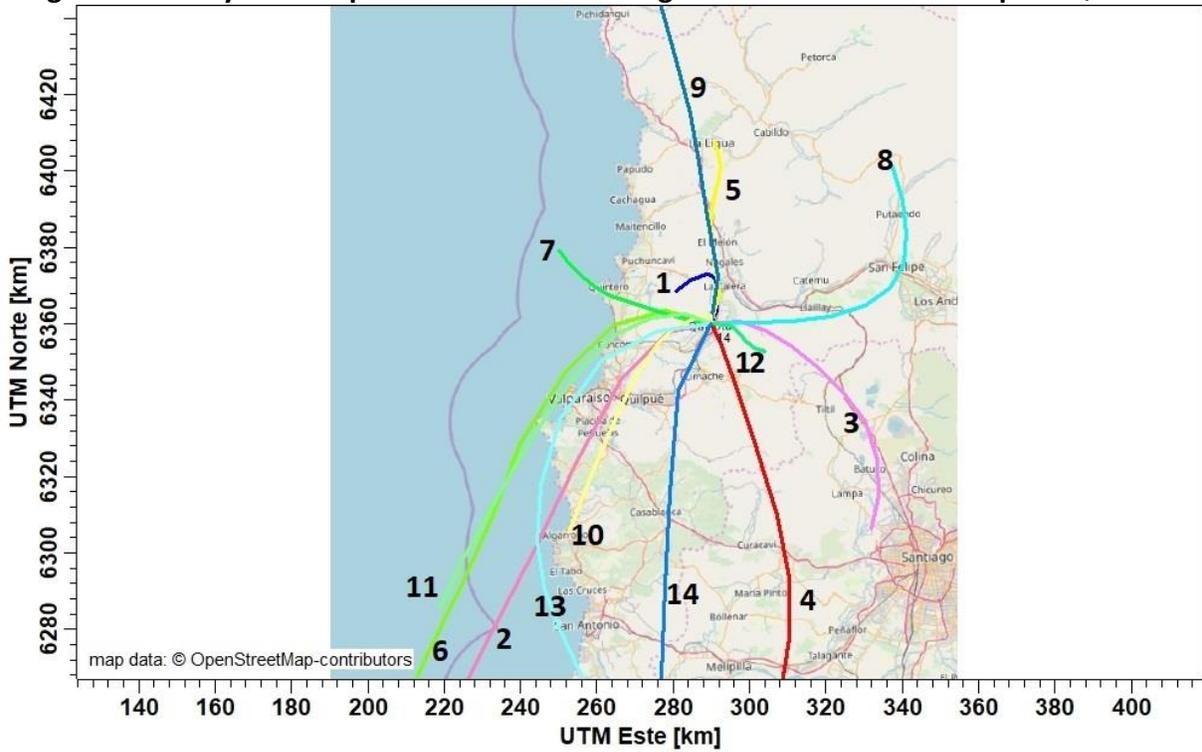
Tabla 5-4 Porcentaje de frecuencia de trayectorias incluidas en cada conglomerado.

Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia	Clúster	Frecuencia
1	13,3	6	5,1	11	9,0
2	8,6	7	8,2	12	9,3
3	5,6	8	7,8	13	3,6
4	5,0	9	3,1	14	1,7
5	12,3	10	7,5		

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

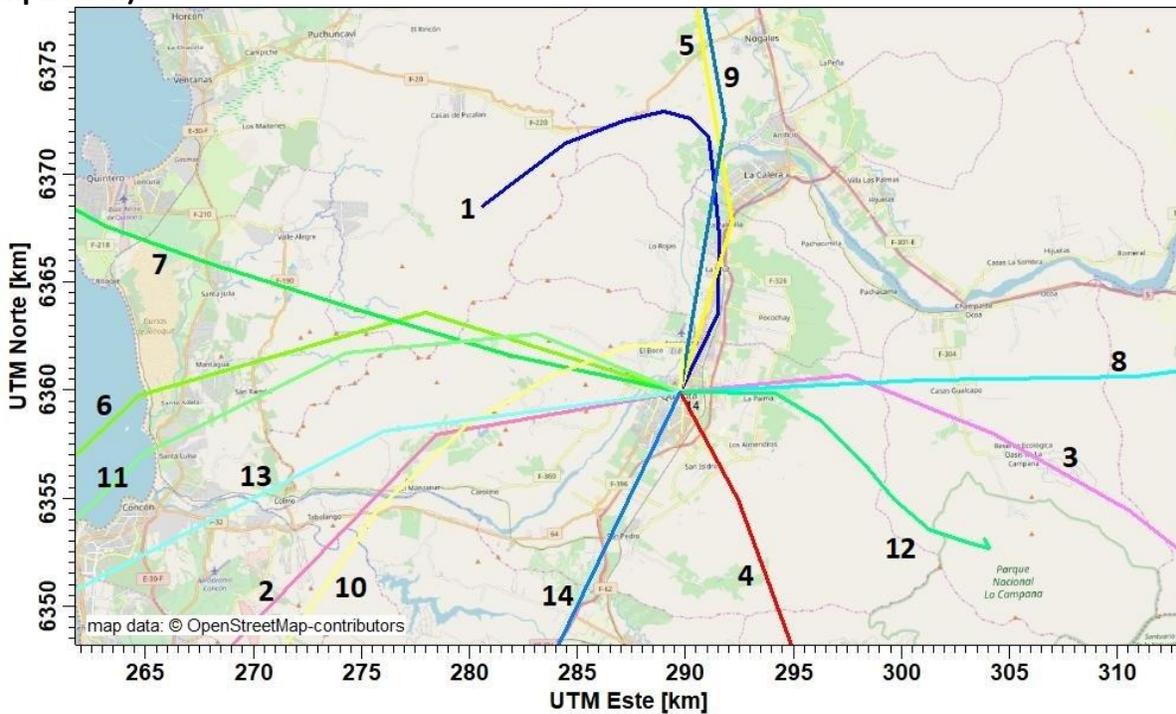
La Figura 5-27 muestra los conglomerados identificados, mostrando la trayectoria media de cada uno de ellos. La Figura 5-28 muestra una ampliación de la figura anterior, para poder apreciar mejor las trayectorias cerca de Quillota.

Figura 5-27 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Quillota.



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

Figura 5-28 Trayectorias promedio de los 17 conglomerados identificados para Quillota (ampliación).



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo HYSPLIT

De estas dos figuras se obtienen los siguientes resultados:

- a) Las trayectorias que llegan desde el norte (5 y 9) constituyen el 15,4 % de las masas de aire que llegan a Quillota
- b) La trayectoria 7 llega desde el oeste y trae masas de aire desde la zona de Quintero, con un 8,2 % del total de trayectorias
- c) Las trayectorias 2, 6, 11 y 13 (26,3 % del total) llevan masas de aire que han pasado por el Gran Valparaíso y Concón, antes de arribar a Quillota
- d) La trayectoria 14 pasa por Limache antes de arribar a Quillota, constituye el 1,7 % del total de trayectorias
- e) La trayectoria 4 (5 % del total) pasa sobre zonas agrícolas al oeste del Gran Santiago, hasta que arriba a Quillota
- f) La trayectoria 10 (7,5 % del total) parte en Algarrobo, pasa por sobre Quilpué hasta arribar a Quillota
- g) La trayectoria 3 (5,6 % del total) parte sobre Lampa y Batuco y sigue con rumbo NNO hasta que llega a Quillota
- h) La trayectoria 8 (7,8 % del total) comienza al norte de San Felipe, se dirige con rumbo S y luego oeste hasta pasar al sur de Llaillay y luego toma rumbo oeste para llegar a Quillota
- i) La trayectoria 12 (8,6 % del total) comienza el sector del parque nacional La Campana y se dirige con rumbo NO para llegar a Quillota
- j) La trayectoria 1 (13,3 % del total) parte desde el NO de Quillota, toma rumbo NE hasta el norte de La Calera y luego se desvía al sur hasta llegar a Quillota

En resumen, hay una alta variabilidad de las direcciones desde las cuales llegan masas de aire a Quillota. La mayor frecuencia de masas de aire que llegan a Quillota llega desde el oeste (zonas de Quillota – La Calera y Concón – Quintero), incluso desde el Gran Valparaíso en algunos casos. La segunda mayor frecuencia de masas de aire provienen desde el norte de Quillota. En menor proporción llegan masas de aire desde el sur, suroeste, este y sureste de Quillota.

5.3 Análisis de altura de mezcla

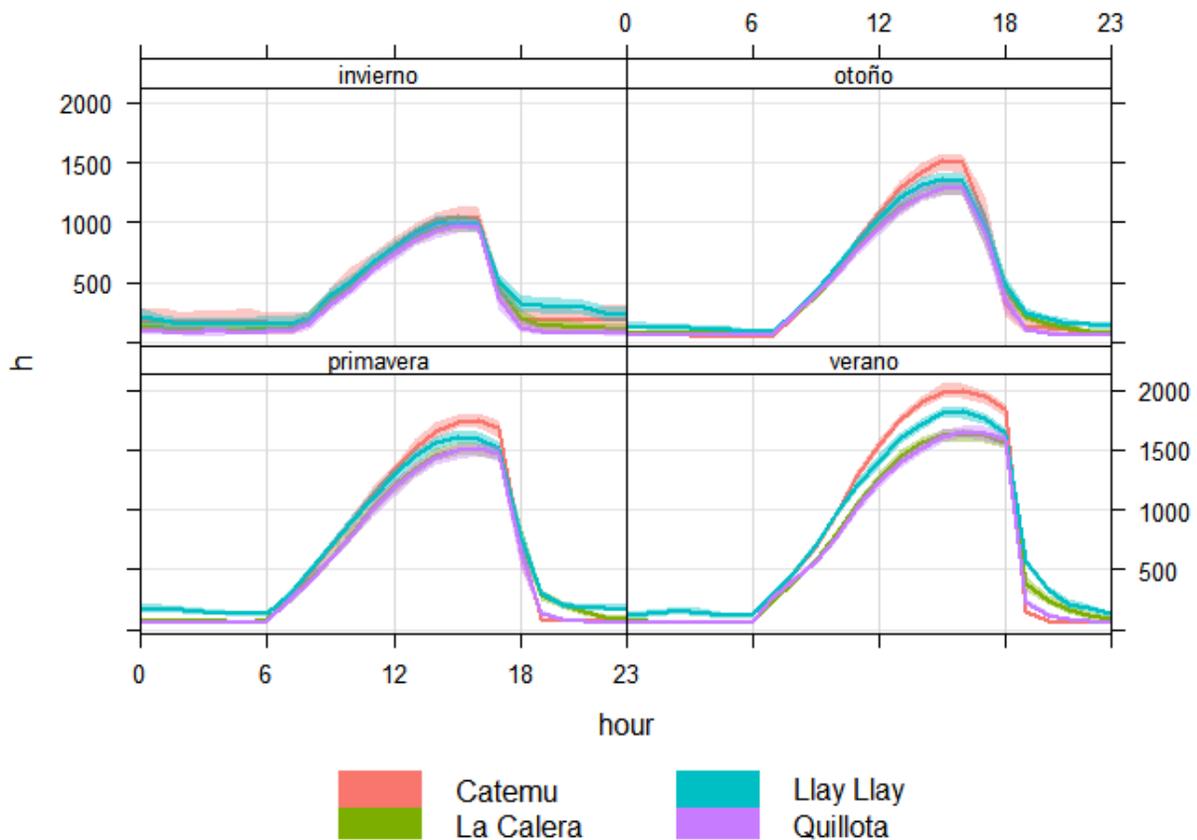
El análisis de altura de mezcla permite identificar condiciones meteorológicas que inciden en la concentración ambiental. Mientras mayor sea la altura de la capa de mezcla mayor dispersión tendrán las emisiones, y la concentración estará más diluida. En caso contrario, si la altura de mezcla es baja las concentraciones tienden a aumentar dado que se dispersan en un menor volumen.

La altura de mezcla fue simulada utilizando el modelo meteorológico WRF, el mismo que se desarrolló para el modelo de dispersión (ver Sección 7.2). Se modeló la altura de mezcla para cada hora del 2017, para cuatro localidades urbanas: Catemu, La Calera, Llaillay y Quillota, determinadas como receptores.

La Figura 5-29 presenta el perfil promedio diario de la altura de mezcla, para cada receptor y por estación climática. El perfil diario que se observa es similar en toda época del año, a partir de las 6-7 horas la altura empieza a incrementar hasta llegar a un máximo entre las 16-18 horas, donde comienza su descenso abrupto. El nivel mínimo en la altura de mezcla se alcanza en las noches, cuando la atmosfera se estabiliza y se enfría rápidamente desde el suelo hacia arriba, generando una inversión térmica nocturna.

Se observa que, en los meses fríos del año, la altura máxima alcanzada por la capa de mezcla es cerca de 1.000 metros, mientras que en los meses cálidos esta altura alcanza los 2.000 metros. Esta condición climática determina que en los meses fríos se registren mayores concentraciones, por problemas de ventilación y dispersión generados por la menor altura en la capa de mezcla.

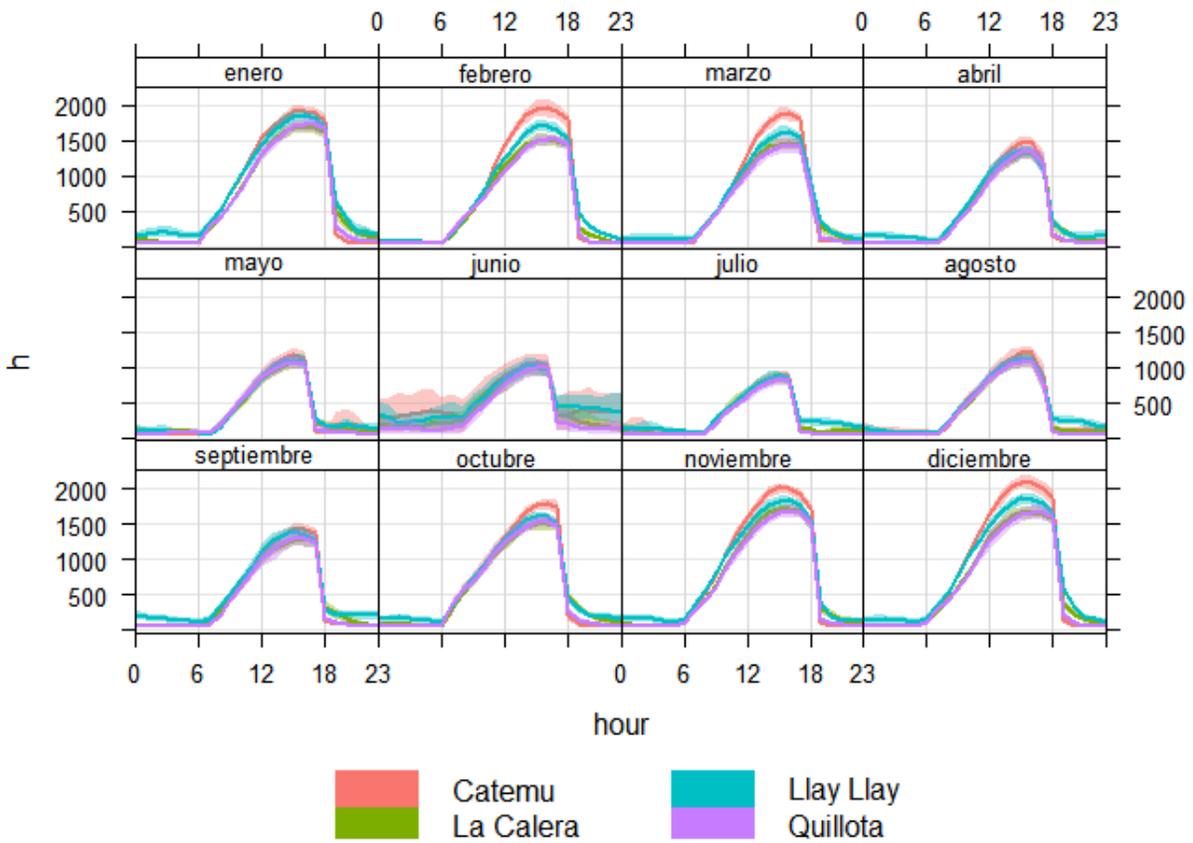
Figura 5-29 Perfil promedio diario de la altura de mezcla por estación climática [metros]



Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos modelados con WRF

La Figura 5-30 presenta el mismo perfil diario, pero por cada mes del año. Se observan los mismos fenómenos en cada mes, destacando que en los meses fríos del año la altura de mezcla máxima es considerablemente menor a la de los meses cálidos.

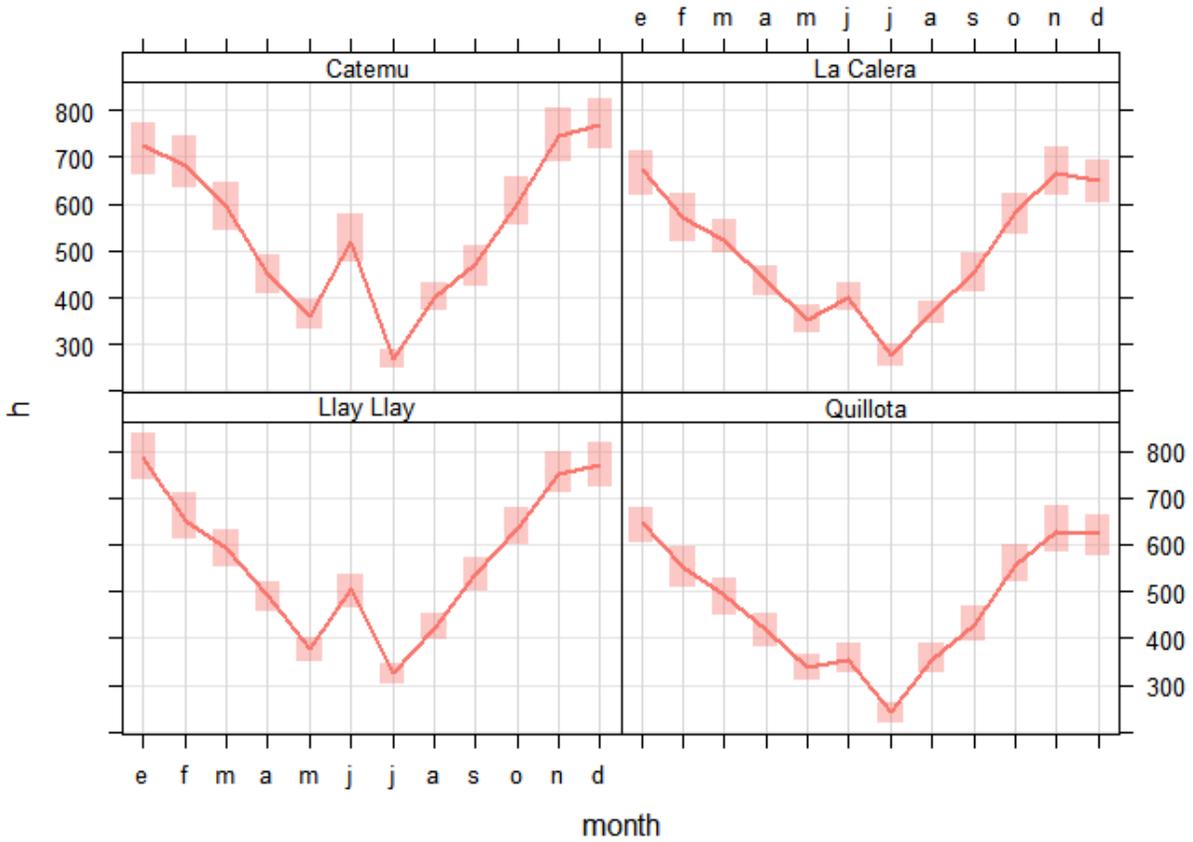
Figura 5-30 Perfil promedio diario de la altura de mezcla por mes [metros]



Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos modelados con WRF

La Figura 5-31 presenta el promedio mensual de la altura de mezcla por mes, observándose una forma de curva invertida con los meses fríos del año con menor altura de mezcla modelada. En estos meses fríos el volumen de dispersión es menor lo que podría generar episodios críticos de concentración.

Figura 5-31 Promedio de la altura de mezcla por mes [metros]



Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos modelados con WRF

6. Inventario de Emisiones

En el presente capítulo se desarrolla toda lo relativo a estimar un catastro georreferenciado de las principales emisiones de material particulado y sus precursores en la zona de interés. Lo anterior para dar cumplimiento al objetivo específico b) y c) del presente estudio, los cuales requieren la identificación y caracterización de fuentes emisoras en las comunas de interés, y la estimación de emisiones de material particulado y sus precursores.

Este inventario de emisiones tiene por objetivo ser un insumo en la modelación de la calidad del aire en la zona y en la identificación de las principales fuentes responsables.

En particular en este capítulo se desarrolla:

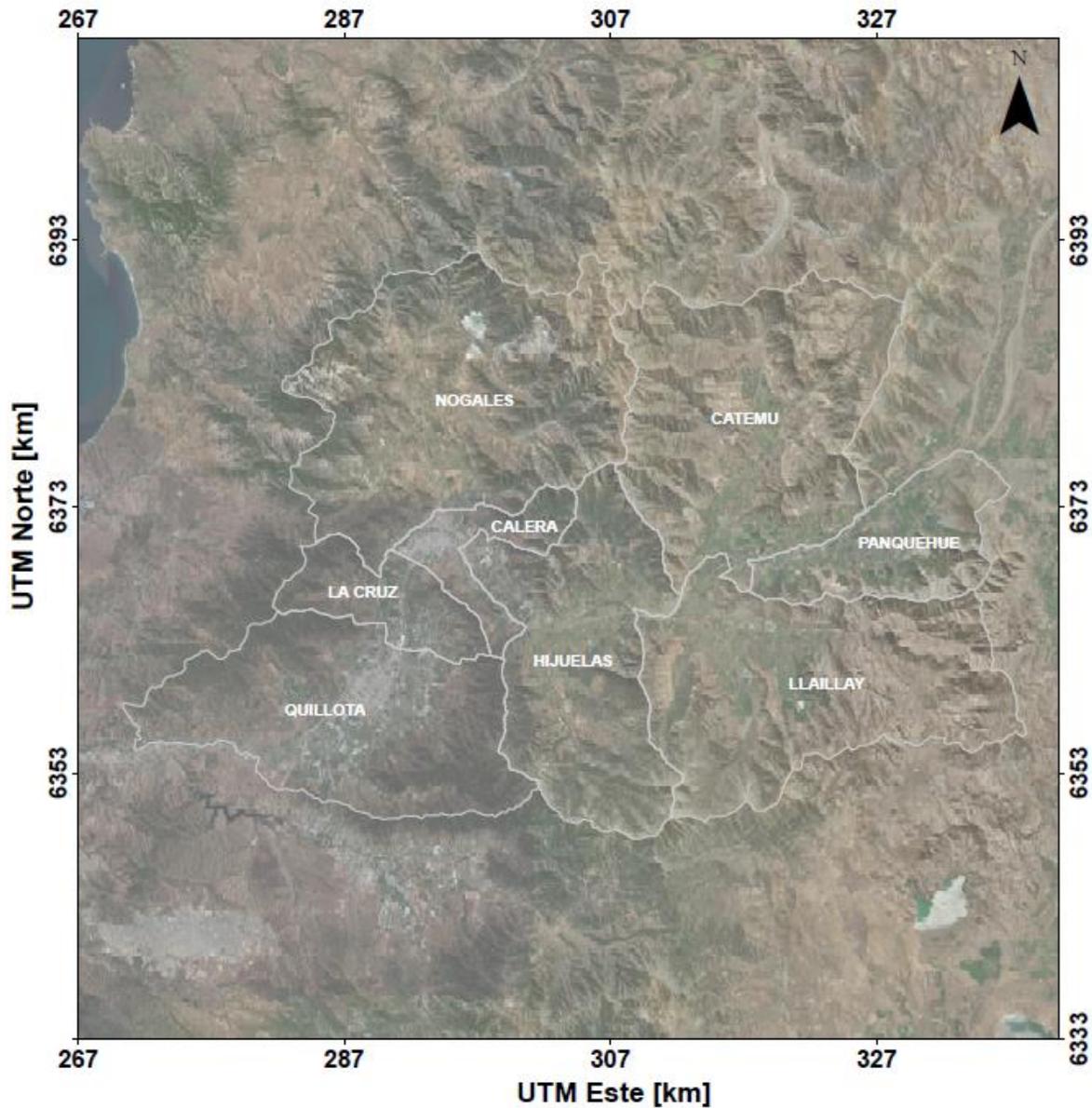
- Identificación de grandes fuentes emisoras
- Método general de estimación de emisiones
- Ubicación geográfica de las emisiones estimadas
- Resultados del Inventario de emisiones

6.1 Identificación de fuentes emisoras

La zona de interés del estudio se presenta (de forma aproximada) en la Figura 6-1. Esta engloba las siguientes comunas de interés:

- Quillota
- La Cruz
- Calera
- Hijuelas
- Llay Llay
- Panquehue
- Catemu
- Nogales

Figura 6-1 Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

Las principales actividades económicas de la zona de interés incluyen ³⁵:

³⁵ Municipalidad Llay Llay, 'Plan De Desarrollo Comunal De Llay - Llay 2014-2018', 2014, p. 58 <http://www.municipalidadllayllay.cl/media/PLAN-DE-DESARROLLO-LLAYLAY-Final_593eb8325ea3f.pdf>; Municipalidad de Quillota, 'Plan de Desarrollo Comunal', 2010 <https://www.quillota.cl/web/transparencia/wp-content/uploads/pladeco_completo/c_Capitulo_1_informe_final.pdf>; BCN, 'Reportes Estadísticos Comunales: Catemu', 2015 <<https://reportescomunales.bcn.cl/2011/index.php/Catemu>>; BCN, 'Reportes Estadísticos Comunales: La Calera', 2015 <<http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Calera>>.

- Producción agrícola (fruticultura, agroindustria, entre otros)
- Producción industrial (cemento, electricidad, entre otros)
- Minería
- Productos minerales
- Construcción
- Transporte
- Comercio

6.1.1 Grandes fuentes identificadas

La identificación de grandes fuentes en la zona tiene como propósito estimar sus emisiones con el mayor detalle posible. En esta sección se listan las principales fuentes identificadas, pero su estimación de emisiones se incluye en la Sección 6.2, en el desarrollo de categoría del inventario de emisiones.

La identificación de las grandes fuentes en la zona de interés, resulta de un proceso de revisión de las antecedentes del sector, la revisión de los RCA aprobados de la zona y el registro de emisiones y transferencias de contaminantes³⁶. La principal fuente de información para caracterizar las grandes fuentes fue el SNIFA³⁷.

Las fuentes incluidas en la Tabla 6-1 representan las fuentes más relevantes para la zona, al considerar tamaño. Se incluyó el nivel de actividad u operación para cada fuente, de acuerdo a lo especificado en las RCA aprobadas para cada proyecto, además de la cuantificación total de RCA de cada fuente.

Las categorías a las cuales pertenecen las fuentes más importantes de la zona, son principalmente extractivas (minería e instalación fabril) y energéticas. Las instalaciones de energía son en su mayoría a gas natural.

Tabla 6-1 Fuentes principales en la zona de interés

Fuente emisora	Comuna	Categoría	Sub categoría	Tamaño	Nivel actividad	Cantidad de RCAs ^a
Cementos Melón	Calera	Instalación fabril	Cemento	Grande	2.500 ton/día de clinker	6
Proyecto minero uva	Catemu	Minería	Cobre	Grande	30.000 ton/mensuales cobre	3
Fundición Chagres	Catemu	Instalación fabril	Cobre	Grande	170.000 ton/año cobre	1

³⁶ RETC

³⁷ Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental

Fuente emisora	Comuna	Categoría	Sub categoría	Tamaño	Nivel actividad	Cantidad de RCAs ⁹
Planta Catemu – Minera Amalia	Catemu	Minería	Cátodos cobre	Grande	1.500 ton/mes cátodos	4
Cantera Ñilhue	Catemu	Minería	Calizas	Grande	50.000 – 400.000 ton/año caliza	1
Mina el Soldado	Nogales	Minería	Cobre	Grande	40.462 ton cobre/año	11
Biocruz generación	La Cruz	Energía	Gas Natural		4,6 MW	1
Cristalerías Chile	Llay Llay	Instalación fabril	Envases de vidrio	Grande	1.200 ton/día envases de vidrio	1
Planta Generadora Tapihue II	Llay Llay	Energía	Gas Natural		6,4 MW	1
Central Las Vegas	Llay Llay	Energía	Diésel	Grande	136 MW	2
Central los vientos	Llay Llay	Energía	Gas Natural		132 MW	
Central San Isidro	Quillota	Energía	Vapor – Gas Natural		740 MW	4
Minera no metálica áridos Aconcagua limitada	Quillota	Minería	Áridos		100.000 m ³ /año de áridos	
Central Nehuenco	Quillota	Energía	Gas Natural		610 MW	5

a) Cuantificación del total de RCA por unidad fiscalizable (fuente emisora)

Fuente: Elaboración propia a partir del SNIFA

Para tener una mejor caracterización de las fuentes de la zona, se detallan algunos aspectos importantes para la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas, en cuanto al tipo de proceso y fuente de emisión, el combustible utilizado, los contaminantes emitidos y si existen tecnologías de abatimiento incorporadas. Esto se presenta en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 Especificaciones de emisiones de grandes fuentes de la zona

Fuente	Proceso de emisión	Combustible	Contaminante emitido	Equipos	Tecnología de abatimiento
Cementos Melón	Combustión	Carbón, gas natural, diésel y petróleo combustible	CO ₂ , NO _x	Horno	Precipitadores electrostáticos
Proyecto minero uva	Polvo resuspendido	Petróleo	Material particulado	Camiones y maquinarias	Regadío caminos, cubrir carga de camiones, límite máximo de velocidad
Fundición Chagres	Combustión	Petróleo y Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, NO _x , SO ₂	Horno	Precipitadores electrostáticos Captura de gases en convertidores Peirce-Smith
Planta Catemu –Mina Amalia	Polvo resuspendido	Gasolina y petróleo	CO ₂ , CO, MP10, MP2,5, SO ₂ , NO _x	Camiones y maquinarias	Regadío caminos, cubrir carga de camiones, límite máximo de velocidad
Cantera Ñilhue	Polvo resuspendido	Petróleo	Material particulado	Camiones y maquinarias	Regadío caminos, cubrir carga de camiones, límite máximo de velocidad
Mina el Soldado	Polvo Resuspendido	Petróleo	Material particulado	Camiones y maquinarias	Humectación de caminos y materia previo a la carga, estabilización de caminos con bischofita, aspersion en etapas de chancado.
Biocruz generación	Combustión interna	Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, NO _x , SO ₂	Motor combustión interna	No existe
Cristalerías chile	Combustión	Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, SO ₂ , NO _x	Horno	No existe
Planta Generadora Tapihue II	Combustión interna	Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, NO _x	Turbina	No existe
Central Las Vegas	Combustión interna	Diésel	CO ₂ , CO, MP10, SO ₂ , NO _x	Turbina	No existe
Central los vientos	Combustión interna	Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, SO ₂ , NO _x	Turbina	No existe
Central San Isidro	Combustión interna	Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, SO ₂ , NO _x	Turbina	No existe
Minera no metálica áridos Aconcagua limitada	Polvo resuspendido	No aplica	Material particulado	Camiones y maquinarias	Aplicación de bischofita en caminos, mallas capturadoras de polvo frete a excavaciones y en el sector de acopio, cobertura de carpa sobre camiones y límite de velocidad 35km/h.
Central Nehuenco	Combustión interna	Gas Natural	CO ₂ , CO, MP10, SO ₂ , NO _x	Turbina	No existe

Fuente: Elaboración propia a partir del SNIFA

Se observa que los principales procesos de emisión de contaminantes de la zona, son la combustión y el polvo resuspendido. La combustión considera las fuentes de generación de energía (turbina) y la producción de materia prima como el cemento y envases de vidrio (horno). El proceso de polvo resuspendido, se refiere a la emisión de material particulado producto

principalmente de la circulación de camiones y maquinaria pesada, carga, descarga y acopio del material en las fuentes de extracción minera.

Los contaminantes mencionados en la Tabla 6-2 se obtuvieron de acuerdo a lo declarado en el RETC y en el caso de que no estuviera, se utilizó el inventario de emisiones declarado en la RCA. Es posible observar que las fuentes de extracción minera emiten en su mayoría material particulado, mientras que las fuentes con procesos de combustión emiten mayor variedad de contaminantes.

Las tecnologías de abatimiento implementadas para cada fuente, se obtuvieron de lo declarado en las RCA aprobadas. Para el caso de los hornos de combustión se utilizan principalmente precipitadores electrostáticos como forma de mitigación. Las fuentes de generación de energía no cuentan con tecnologías de abatimiento. En el caso de las actividades mineras, las principales medidas de mitigación son el regadío periódico de caminos, límite de velocidad para los camiones y cubrir la carga de los camiones.

6.1.1.1 Visita a terreno

El equipo consultor realizó visitas en terreno a las siguientes fuentes emisoras:

- Fundición Chagres
- Cementos Melón

Estas fuentes se eligieron en base a su potencial relevancia en las emisiones de MP y precursores en la zona. El principal foco de las visitas fue el levantamiento de información, para el inventario de emisiones, y la caracterización en terreno de las fuentes de emisión y sistemas de abatimiento instalados.

6.1.1.2 Proyectos ingresados al SEIA

Se realizó una búsqueda de proyectos ingresados al SEIA que podrían generar emisiones de material particulado o sus precursores a futuro. La Tabla 6-3 presenta los proyectos identificados, con su estado respectivo y monto de inversión.

Tabla 6-3 Proyectos identificados que ingresaron al SEIA en la zona de interés

Nombre Proyecto	Sector Productivo	Fecha Presentación SEIA	Estado SEIA	Comuna	Monto Inversión [MM USD]
Continuidad Operacional Mina Uva, Fase IV-V	Minería	01-02-2018	Aprobado	Catemu	20
Aumento Extracción Mina UVA a 55 KTPM	Minería	23-05-2017	Aprobado	Catemu	3
Continuidad Operacional Planta Catemu	Minería	17-11-2016	Aprobado	Catemu	3

Nombre Proyecto	Sector Productivo	Fecha Presentación SEIA	Estado SEIA	Comuna	Monto Inversión [MM USD]
Centro de Servicios y Equipamientos La Calera	Inmobiliarios	11-09-2017	Aprobado	La Calera	10
Proyecto Línea 2x110kv a Subestación Mayaca	Energía	22-12-2016	Aprobado	La Cruz	10
Mejoramiento del Sistema de Abatimiento de Emisiones Atmosféricas Planta Llay-Llay (Cristalerías Chile)	Instalaciones fabriles varias	14-07-2017	Aprobado	Llay Llay	10
Mejoramiento de la infraestructura y del manejo de sub-producto agrícola guano y purines en el plantel lechero de Agrícola Panquehue Limitada	Agropecuario	11-05-2018	Aprobado	Panquehue	5
Extracción Mecanizada de Áridos Río Aconcagua, Proyecto Camino Internacional Ruta 60CH Sector 1 Tramo 2 Variante Panquehue	Áridos	21-11-2015	Aprobado	Panquehue	10
Fotovoltaico El Boco II	Energía	22-01-2019	En Calificación	Quillota	7.9
Proyecto Acueducto San Isidro-Quilapilún	Infraestructura Hidráulica	22-12-2018	En Calificación	Quillota	210
Optimización Sistemas de Abastecimiento de Agua y Disposición de Riles Central San Isidro	Energía	21-04-2017	Aprobado	Quillota	29.5
Tranque Fundo El Espino	Infraestructura Hidráulica	20-06-2017	Aprobado	Quillota	0,56
Proyecto Aconcagua	Saneamiento Ambiental	27-04-2017	Aprobado	Quillota	162
Extracción de Áridos Santa Elisa, Río Aconcagua, Comuna Quillota	Áridos	21-09-2016	Aprobado	Quillota	0,25
Optimización de la Unidad 2 del Complejo Nehuenco	Energía	18-04-2019	En Calificación	Quillota	0,081
Extracción y Procesamiento, Áridos Maggi	Áridos	19-02-2016	Aprobado	Quillota	0.5
Central Nueva ERA	Energía	28-12-2015	En Calificación	Quillota	680
La Lonja de Nogales	Inmobiliarios	28-04-2017	En Calificación	Nogales	8.5
Continuidad Operativa Tranque de Relaves El Torito Operación El Soldado	Infraestructura Hidráulica	08-01-2018	En Calificación	Nogales	77,64
Modificación Continuidad Operativa Sustentable Mina El Soldado	Minería	13-12-2016	Aprobado	Nogales	1.4

Fuente: Elaboración propia a partir del SNIFA

La Tabla 6-4 presenta la principal actividad y las fuentes emisoras de material particulado de los proyectos ingresados al SEIA. La gran mayoría considera emisiones de MP10 durante la fase de

construcción del proyecto. También existen emisiones en la etapa de operación por combustión o transferencia de material.

Tabla 6-4 Actividades y fuentes emisoras de proyectos ingresados al SEIA

Nombre Proyecto	Actividad	Fuentes Emisoras
Continuidad Operacional Mina Uva, Gase IV-V	Explotación a rajo abierto Preparación mina subterránea Explotación mina subterránea	Movimiento de material Tránsito vehicular-resuspensión de Polvo Tránsito vehicular-combustión Maquinaria Grupo electrógeno Nivelación de caminos
Aumento Extracción Mina UVA a 55 KTPM	Explotación a rajo abierto	Movimientos de Material (Explotación) Tránsito Vehicular-Resuspensión de polvo Tránsito Vehicular-Combustión Maquinaria Grupo Electrógeno Nivelación de caminos
Continuidad Operacional Planta Catemu	Explotación a rajo abierto	Movimiento de material Escarpe Excavaciones Tránsito vehicular-resuspensión de Polvo Tránsito vehicular-combustión Maquinaria Correas transportadoras
Centro de Servicios y Equipamientos La Calera	Proyecto inmobiliario comercial	Escarpe Excavaciones Transferencia de material Carguío y volteo de camiones Acopio del material Circulación de camiones por vías externas pavimentadas y no pavimentadas Grupos electrógenos
Proyecto Línea 2x110kv a Subestación Mayaca	Implementación y operación de una línea de 110 kV de circuito doble	Tránsito vehicular-resuspensión de Polvo Escarpe Excavaciones Movimiento de material Compactación
Mejoramiento del Sistema de Abatimiento de Emisiones Atmosféricas Planta Llay-Llay (Cristalerías Chile)	Mejoramiento del sistema de abatimiento de emisiones atmosféricas.	Tránsito de vehículos pesados en caminos pacimentados Operación hornos con sistema de abatimiento mejorado Demolición Excavaciones Carga de material descarga de material Resuspensión de polvo por tránsito de vehículos por caminos pavimentados y no pavimentados Combustión interna en motores de maquinaria.

Nombre Proyecto	Actividad	Fuentes Emisoras
Mejoramiento de la infraestructura y del manejo de sub-producto agrícola guano y purines en el plantel lechero de Agrícola Panquehue Limitada	Construcción de nuevas instalaciones agrícolas	Manejo de tierra Tránsito de vehículos Combustión maquinaria Concentrado Tránsito de vehículos Combustión maquinaria Grupos electrógenos Acopio.
Extracción Mecanizada de Áridos Río Aconcagua, Proyecto Camino Internacional Ruta 60CH Sector 1 Tramo 2 Variante Panquehue	Extracción de áridos desde el río Aconcagua para abastecer el proyecto de la Ruta 60	Excavación Tránsito de vehículos Combustión de vehículos Movimiento de material
Fotovoltaico El Boco II	Construcción de parque fotovoltaico	Escarpes Excavaciones Carga y descarga de camiones Polvo resuspendido por tránsito de camiones en caminos no pavimentados y pavimentados Gases de escape de maquinaria de construcción Gases de escape de camiones Grupos electrógenos.
Proyecto Acueducto San Isidro-Quilapilún	Construcción y operación de acueducto	Escarpe Excavación y compactación Transferencia de material Erosión eólica Tronaduras Resuspensión de polvo por tránsito de vehículos en caminos no pavimentados Resuspensión de polvo por tránsito de vehículos en caminos pavimentados Combustión vehicular Maquinaria Grupos generadores a Diesel.
Optimización Sistemas de Abastecimiento de Agua y Disposición de Riles Central San Isidro	Construcción de sistema de recuperación de agua	Escarpe Movimiento de tierra por extracción (Excavación) Transferencia de Material: Carga y descarga Erosión Pilas de Acopio Tránsito de vehículos en caminos pavimentados Emisión tránsito fuera de ruta Combustión Maquinaria de Construcción Combustión vehículos Comerciales Tránsito de vehículos en caminos pavimentados Combustión Camiones Pesados Diesel Tipo3.

Nombre Proyecto	Actividad	Fuentes Emisoras
Tranque Fundo El Espino	Tranque relaves	Escarpe Limpieza terreno Transferencia Viaje interno camión Excavación Nivelación tierra sobre muro Compactación tierra sobre muro
Proyecto Aconcagua	Planta desaladora	Excavaciones Escarpe Transferencia de material Resuspensión de material particulado por circulación de vehículos en caminos pavimentados y no pavimentados Operación de Maquinaria Operación de vehículos Fase de construcción Grupos Electrógenos Operación de vehículos fase de operación
Extracción de Áridos Santa Elisa, Río Aconcagua, Comuna Quillota	Extracción de áridos desde el río Aconcagua y comercialización	Excavación Tránsito de vehículos Combustión de vehículos Movimiento de material
Optimización de la Unidad 2 del Complejo Nehuenco	Permitir la potencia máxima teórica que tiene dicha unidad y realizar modificaciones futuras	Combustión de gases Operación de la unidad
Extracción y Procesamiento, Áridos Maggi	Extracción de áridos desde tres sectores del río Aconcagua, procesamiento y comercialización	Excavación Tránsito de vehículos Combustión de vehículos Movimiento de material
Central Nueva ERA	Desarrollo y construcción de una central de generación eléctrica de tipo ciclo combinado	Chimenea principal Chimenea <i>bypass</i> Tránsito vehicular-combustión Equipos electrógenos Movimiento de tierra y operación de maquinaria en fase de construcción
La Lonja de Nogales	Conjunto habitacional	Preparación del Terreno y Movimiento de Tierra Construcción de Viviendas Tránsito de Camiones pesados Motores de maquinaria y vehículos
Continuidad Operativa Tranque de Relaves El Torito Operación El Soldado	Aumento capacidad tranque de relaves	Tránsito en caminos no pavimentados Erosión del viento Movimientos de tierra y materiales, Labores de rehabilitación Tronaduras Carguío y descarga de camiones con mineral y estéril Combustión de equipos, vehículos y maquinaria.

Nombre Proyecto	Actividad	Fuentes Emisoras
Modificación Continuidad Operativa Sustentable Mina El Soldado	Incorporación de 3 acopios de mineral de sulfuros Construcción de un nuevo Polvorín	Construcción del polvorín Habilitación de caminos Movimiento de material Tránsito vehicular-resuspensión de Polvo Tránsito vehicular-combustión Operación de maquinaria y vehículos Depósito de sulfuro en los acopios Erosión eólica

Fuente: Elaboración propia a partir de información revisada del SEIA

6.2 Método de estimación emisiones

La Ecuación 1 presenta la forma general en que son estimadas las emisiones de diferentes contaminantes. En esta ecuación se plantea que las emisiones son proporcionales al nivel de actividad de una fuente, y se reconoce la posibilidad de la mitigación de estas emisiones por medio de alguna tecnología de control.

Ecuación 1 Forma general de estimación de emisiones

$$Emision_{f,c,t} = NA_{f,t} * FE_{f,c} * (1 - EfMit_{f,c,t})$$

Donde:

- **$Emision_{f,c,t}$** : Estimación de la emisión del contaminante “c” por la actividad de la fuente “f” durante el período “t”
- **$NA_{f,t}$** : Nivel de actividad de la fuente “f” en el período “t”
- **$FE_{f,c}$** : Factor de emisión del contaminante “c” asociado a la actividad de la fuente “f”
- **$EfMit_{f,c,t}$** : Eficiencia de mitigación de la emisión del contaminante “c” por la actividad de la fuente “f” en el período “t”.

Si bien la Ecuación 1 es relativamente sencilla, la complejidad de la estimación de emisiones reside en la identificación de los valores de cada uno de los parámetros involucrados, por ello en las siguientes secciones se presenta el detalle de los parámetros considerados para cada una de las fuentes emisoras identificadas.

En el presente inventario de emisiones se utilizó como principal referencia el manual de inventarios desarrollado por el MMA ³⁸. En particular se utilizó la estructura propuesta en el manual, y se dividieron las fuentes emisoras en cuatro grandes tipos:

- Fuentes estacionarias puntuales
- Fuentes estacionarias areales
- Fuentes fugitivas

³⁸ MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017.

■ Fuentes móviles

En la Tabla 6-5 se presenta las fuentes emisoras incluidas en el presente inventario de emisiones, de acuerdo a la estructura propuesta por el manual de inventarios³⁹. Se incluyen fuentes puntuales, principalmente por procesos de combustión calderas, hornos, termoeléctricas y grupos electrógenos. Fuentes areales incluyen la emisión por calefactores residenciales, por incendios y por quemas agrícolas. En emisiones fugitivas se incluyó el polvo resuspendido por la actividad de construcción, agrícola y por el levantamiento de polvo en calles y desgaste de neumáticos. Finalmente se incluyen las emisiones por combustión de fuentes móviles en ruta y fuera de ruta.

Tabla 6-5 Estructura inventario de emisiones

Tipo	Subtipo	Sector	Tipo Emisión	Fuente
Estacionaria	Puntual	CPR	Combustión	Horno
			Combustión Interna	Grupo Eléctrico
		Industria	Combustión	Caldera Horno
			Combustión Interna	Grupo Eléctrico Termoeléctrica
			Proceso	Horno
				Proceso
	Areal	CPR	Combustión	Calefactor
		Incendios		Incendio Forestal
				Incendio Urbano
		Industria	Evaporativa	Quema Agrícola
Fugitiva	Fugitiva	Industria	Polvo resuspendido	Construcción edificios
				Preparación de terreno
				Áridos
		Transporte		Calles
				Desgaste de frenos y neumáticos
Móvil	En ruta	Transporte	Combustión Interna	Bus
				Camión Liviano-Medio
				Camión Pesado
				Moto
	Vehículos			
Fuera de Ruta	Maquinaria			

CPR: Comercial Publico Residencial

Fuente: Elaboración propia de acuerdo al 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas' del MMA

En el anexo (ver Tabla 11-1), se presenta la estructura más detallada del inventario, incluyendo subsectores como minería, comercio, agrícola, entre otros.

³⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

6.3 Fuentes estacionarias puntuales

6.3.1 Consumo combustible industrial

La actividad industrial, de pequeña y gran escala, requiere de consumo de combustibles para su operación. Para esto se emplean equipos de combustión como calderas, hornos o grupos electrógenos. Esto genera emisiones de MP y sus precursores, por el proceso de combustión.

Para caracterizar el consumo de combustible se utilizó la información declarada en el DS138/2005 del MINSAL por todas las fuentes fijas de la zona de interés.

De la información declarada en el DS138/2005 del MINSAL, se clasificaron las fuentes en: caldera de calefacción (CA), grupo electrógeno (EL), caldera industrial (IN) y horno panadero (PA).

6.3.1.1 Calderas de calefacción (CA)

Las emisiones de calderas se producen al quemar el combustible, ya sean de calefacción o industriales. Los contaminantes emitidos son MTS/MP, MP10, MP2.5, NO_x, SO₂, CO, COV, CO₂, CH₄, CN.

Factor de Emisión

Se utilizan los factores de emisión para calderas de la Tabla 2-2 del “Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”⁴⁰.

Nivel de Actividad

La cantidad de combustible utilizado para calderas de calefacción se obtiene de la información obtenida del DS138/2005 del MINSAL (ver Tabla 6-6).

Tabla 6-6 Combustible industrial utilizado en CA (ton)

Comuna	PETROLEO N°2 (Diesel)	GAS LICUADO	GAS NATURAL	ASERRIN
Catemu	1.059	6	-	-
Llay Llay	-	-	34	-
Panquehue	-	-	-	-
Hijuelas	-	-	-	176
La Calera	-	103	-	-
La Cruz	-	-	-	-
Nogales	-	4	-	-
Quillota	1	3	781	-
Total	1.060	116	815	176

Fuente: Elaboración propia a partir del DS138/2005 del MINSAL

⁴⁰ MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017.

6.3.1.2 Caldera Industrial (IN)

La emisión de calderas industriales, al igual que las de calefacción, se produce al quemar el combustible. Se produce emisión de MTS/MP, MP10, MP2.5, NOx, SO2, CO, COV, CO₂, CH₄, CN.

Factor de Emisión

Se utilizan los factores de emisión para calderas de la Tabla 2-2 del “Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”⁴¹.

Nivel de Actividad

De la información obtenida del DS138/2005 del MINSAL, se obtiene la cantidad de combustible utilizado para calderas Industriales (ver Tabla 6-7).

Tabla 6-7 Combustible industrial utilizado en IN (ton)

Comuna	PETROLEO N°2 (Diesel)	BIOMASA COMBUSTIBLE	PETROLEO N 6	LEÑA	GAS NATURAL	CARBON BITUMINOSO	ASERRIN
Catemu	-	-	-	-	-	-	-
Llay Llay	-	-	-	-	-	-	-
Panquehue	-	-	-	-	-	-	-
Hijuelas	-	1.464	342	-	-	823	117
La Calera	-	29.280	3.410	236	658	-	-
La Cruz	-	-	-	-	-	-	-
Nogales	-	-	-	-	-	-	-
Quillota	17	-	250	-	-	-	-
Total	17	30.744	4.002	236	658	823	117

Fuente: Elaboración propia a partir del DS138/2005 del MINSAL

6.3.1.3 Grupos electrógenos (EL)

Los grupos electrógenos son motores para autogeneración que generan emisiones de MP10, MP2.5, NOx, SO2, CO, COV.

Factor de Emisión

Se utilizan los factores de emisión para grupos electrógenos, disponibles en la Tabla 2-13 del “Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”⁴².

Nivel de Actividad

Toneladas de combustible industrial utilizado en grupos electrógenos, según la información obtenida del DS138/2005 del MINSAL (ver Tabla 6-8).

⁴¹ MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017.

⁴² MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017

Tabla 6-8 Combustible industrial utilizado en EL (ton)

Comuna	PETROLEO N°2 (Diesel)
Catemu	347
Llay Llay	52
Panquehue	0
Hijuelas	12
La Calera	1.554
La Cruz	0
Nogales	147
Quillota	224
Total	2.336

Fuente: Elaboración propia con información del DS138/2005 del MINSAL

6.3.1.4 Horno Panadero (PA)

Las emisiones producidas por combustión en hornos corresponden a MP10, MP2.5, NOx, SO2, CO, COV y CN.

Factor de Emisión

Se utilizaron los factores de emisión para hornos, disponibles en la Tabla 3-8 para combustibles gaseoso y la Tabla 3-9 para combustible líquido (Diésel) del capítulo 1.A.4 del "Air pollutant emission inventory guidebook"⁴³ (ver Tabla 6-9).

Tabla 6-9 Factores de emisión para hornos

Tipo	MP2.5	MP10	NOx	SO2	CO	COV	CN
Horno a gas	4,02E-05	4,02E-05	3,81E-03	3,45E-05	1,49E-03	1,18E-03	1,61E-06
Horno a combustible líquido (Diesel)	4,88E-04	5,29E-04	1,38E-02	1,08E-03	1,84E-03	5,88E-04	2,55E-03

Fuente: Elaboración propia a partir de EMEP/EEA, 'Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - 1.A.4 Small Combustion', 2016

Nivel de Actividad

Toneladas de combustible industrial utilizado hornos panaderos, según la información obtenida del DS138/2005 del MINSAL (ver Tabla 6-10).

⁴³ EMEP/EEA, 'Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - 1.A.4 Small Combustion', 2016, 1–182.

Tabla 6-10 Combustible industrial utilizado en PA (ton)

	PETROLEO N 2 (Diésel)	GAS LICUADO	GAS NATURAL
Catemu	-	-	-
Llay Llay	23	-	-
Panquehue	-	-	-
Hijuelas	-	-	-
La Calera	-	-	79
La Cruz	-	-	-
Nogales	-	-	-
Quillota	-	-	154
Total	23	-	233

Fuente: Elaboración propia con información del DS138/2005 del MINSAL

6.3.2 Turbinas

Las centrales termoeléctricas típicamente utilizan turbinas, las que emiten MP10, MP2.5, NOx, SO₂, CO, COV, CO₂, CH₄, CN.

Si bien se cuenta con información del consumo de combustible en turbinas y con factores de emisión para esta fuente, se optó por estimar las emisiones de las centrales termoeléctricas mediante mediciones isocinéticas del 2017. Estas mediciones fueron entregadas por la contraparte técnica.

En particular, se cuenta con mediciones horarias de concentración de salida en chimenea de NOx, SO₂, MP⁴⁴ y con el caudal de salida. Esto permite el cálculo de las emisiones de manera directa y con mayor certeza que el método de nivel de actividad y factores de emisión.

La zona de interés cuenta con cuatro centrales termoeléctricas con mediciones, las cuales corresponde a: Los Vientos, Nehuenco, San Isidro I y San Isidro II. La Tabla 6-11 presenta las horas de operación de cada chimenea y la emisión promedio por hora de operación de cada una. Se observan entre 5.000 y 6.000 horas de operación al año para las centrales de San Isidro y Nehuenco, y emisiones importantes de material particulado y de NOx.

⁴⁴ Se asumió que el 100% del MP medido corresponde a MP2.5.

Tabla 6-11 Horas de operación y emisión promedio por hora (kg/hora)

Central	Chimenea	Hora de operación	PTS/MP	MP10	MP2.5	NOx	SO2
Los Vientos	Los Vientos	233	1,87	1,87	1,87	84,74	0,37
Nehuenco	Chimenea Nehuenco I	6.633	1,29	1,29	1,29	42,94	0,40
	Chimenea Nehuenco II	5.627	2,51	2,51	2,51	45,48	0,48
	Chimenea Nehuenco III	43	0,83	0,83	0,83	36,89	2,76
San Isidro I	Chimenea bypass TG1	143	2,69	2,69	2,69	60,56	1,93
	Chimenea TG1	5.348	10,48	10,48	10,48	76,15	1,33
San Isidro II	Chimenea bypass TG2	144	2,34	2,34	2,34	48,30	0,84
	Chimenea TG2	4.899	1,18	1,18	1,18	68,17	0,35

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la contraparte técnica

6.3.3 Grandes Fuentes

Las grandes fuentes identificadas se calcularon de manera independiente según la información del DS138/2005 del MINSAL, información obtenida de RCAs, DIAs o directamente de las empresas mencionadas.

6.3.3.1 Fundición Chagres (Anglo American)

Fundición de cobre ubicada en la comuna de Catemu, genera emisiones de PTS/MP, MP10, MP2.5, SO2 y Pb. Cuenta con sistema de limpieza de gases, precipitadores electrostáticos y filtros de mangas como medidas de abatimiento.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad se obtuvo de la información obtenida del DS138/2005 del MINSAL para procesos en la fundición Chagres.

Tabla 6-12 Material procesado en la planta de fundición Chagres (ton)

Material	Descripción Fuente	Nivel de actividad (ton)
Ánodos de cobre	HORNO DE REFINO N° 1	62.004
	HORNO DE REFINO N° 2	69.302
Cobre Blíster	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 1	57.081
	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 2	62.019
	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 3	61.106
	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 4	63.402
Concentrado de Cobre	HORNO DE FUSION FLASH	877.892
Escoria	HORNO DE LIMPIEZA DE ESCORIA N° 1	173.934
	HORNO DE LIMPIEZA DE ESCORIA N° 2	192.116
Concentrado de Cobre	SECADOR DE CONCENTRADOS N° 1	262.215
	SECADOR DE CONCENTRADOS N° 2	266.677

Fuente: Elaboración propia con información del DS138/2005 del MINSAL

Factor de Emisión

Los factores de emisión para la fundición Chagres se obtuvieron del manual EPA AP42, estos se observan en la Tabla 6-13.

Tabla 6-13 Factores de emisión para la Fundición Chagres (kg/ton)

Descripción Fuente	PTS/MP	MP10	MP2.5	Pb
HORNO DE REFINO	0,25	0,24	0,24	-
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH	18,2	17,2	10,2	0,13
HORNO DE FUSION FLASH	70,2	70,2	61,07	-
HORNO DE LIMPIEZA DE ESCORIA	5,00	4,80	4,80	-
SECADOR DE CONCENTRADOS	5,00	4,87	4,74	-

Fuente: Obtenidos del AP42. Primary Copper Smelting

Debido a que tanto el Convertidor Pierce Smith (CPS) y el horno de fusión flash tiene integrado un precipitador electrostático, se consideró una mitigación del 98% para los MP⁴⁵. Por otro lado, el secador de concentrado tiene un filtro de mangas que genera una mitigación del 99% para MP⁴⁶. El horno de refino cuenta con un sistema de captación de gases, una torre lavadora tipo Quench y un precipitador electrostático húmedo. De acuerdo a información entregada por Angloamerican Sur S.A., este sistema tiene una eficiencia de remoción de 92,3% para MP. Finalmente, el horno de limpieza de escorias cuenta con una torre lavadora tipo Quench y un precipitador electrostático húmedo con una eficiencia de remoción de 88,7% para MP, de acuerdo a información entregada por Angloamerican Sur S.A.

Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) se estiman mediante el balance de masa de azufre, el cual es reportado por la fundición Chagres a nivel mensual a través del DS 28/2013 del MMA. Para el 2017 se reportó un balance de azufre emitido de 4.449 toneladas, equivalentes a la emisión de 8,898 ton de SO₂.

6.3.3.2 Cristalerías Chile

Esta fábrica ubicada en la comuna de Llay Llay genera emisiones en su horno de fundición de vidrio de PTS/MP, MP10, MP2.5, CN, As, Pb. Cuenta con un precipitador electrostático como medida de abatimiento.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad se obtuvo de la información obtenida del DS138/2005 del MINSAL para procesos en Cristalerías Chile.

Tabla 6-14 Material procesado en Cristalerías Chile (ton)

Parámetro	Descripción Fuente	Nivel de actividad
Vidrio	HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO F	138.722

Fuente: Elaboración propia con información del DS138/2005 del MINSAL

Factor de Emisión

⁴⁵ De acuerdo a información entregada por Angloamerican.

⁴⁶ De acuerdo a información entregada por Angloamerican.

Se utilizaron los factores de emisión para hornos, disponibles en la Tabla 3-3 del capítulo 2.A.3 del “Air pollutant emission inventory guidebook”⁴⁷, estos se observan en la Tabla 6-15.

Tabla 6-15 Factor de emisión Cristalerías Chile (g/ton vidrio)

Contaminante	Factor de emisión
PTS/MP	280
MP10	250
MP2,5	220
CN	0,14
As	0,29
Pb	2,90
CO	6,13
NOx	2.930
SO2	1.960

Fuente: EMEP-EEA, 2016. 2.A.3 Glass Production, Tabla 3.3.
EMEP-EEA, 2016. 1.A.2 Manufacturing industries and construction, Tabla 3-26

Se consideró una mitigación para el horno de fundición de un 98% para MP10, 95% para MP2.5, un 30% para NOx y un 60% para SO2, debido a la utilización de un precipitador electrostático⁴⁸.

6.3.3.3 Cementos Melón

Planta dedicada a la fabricación de cemento, ubicada en la comuna de La Calera, genera emisiones de PTS/MP, MP10, MP2.5 y CN. Cuenta con dos precipitadores electrostáticos en el Horno 9 como sistema de abatimiento para MP.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad se obtuvo de la información obtenida en el DS138/2005 del MINSAL para procesos en la Planta de cementos Melón.

Tabla 6-16 Material Procesado en la Planta Cementos Melón (ton)

Descripción Fuente	Clinker	Cemento
HORNO 9 DE CLINKER	614.063	-
MOLINO 21 DE CEMENTO	-	414.363
Total	614.063	414.363

Fuente: Elaboración propia con información del DS138/2005 del MINSAL

Factor de Emisión

Para la combustión de Clinker se utilizó el siguiente factor de emisión que se observan en la Tabla 6-17

⁴⁷ EMEP/EEA, ‘Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - 1.A.4 Small Combustion’, 2016.

⁴⁸ US-EPA, ‘Control Strategy Tool (CoST) - “At a Glance” Control Measure Document’, 1.1 (2016), 1–12.

Tabla 6-17 Factor de emisión combustión de Clinker (g/ton Clinker)

Contaminante	Factor de emisión
PTS/MP	260
MP10	234
MP2.5	130
CN	3% de MP2.5
CO	1.455
COV	18
NOx	1.241
SO2	374
As	0,0265
Hg	0,049
Pb	0,098

Fuente: EMEP-EAA 2016. 2.A.1 Cement production 2016, Tabla 3.1
 EMEP-EAA, 2016. 1.A.2 Manufacturing industries and construction, Tabla 3-24

Para la producción de cemento se utilizaron los factores de emisión para el proceso de hormigón y áridos según el manual de inventarios⁴⁹. Se consideraron todos los procesos para el cálculo (ver Tabla 6-18).

Tabla 6-18 Factores de emisión para fabricación de hormigón (kg/ton)

Tipo de fuente	PTS/MP	MP10	MP2.5
Dosificador de Áridos y Pesa de Cemento, Arena, Graba y Gravilla	2,55E-03	1,20E-03	3,83E-04
Arcón (transferencia de áridos a arcón, buzones y correas)	3,50E-03	1,70E-03	5,20E-04
Silos de cemento con filtro mangas	5,50E-03	8,00E-04	3,00E-04
Mezclador	2,72E-01	6,70E-02	9,30E-03

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Se incluyó una eficiencia del 99% para MP en el Horno 9 de Clinker debido a la presencia de dos precipitadores electrostáticos.

6.3.3.4 Mina El Soldado

La Mina El Soldado se ubica en la comuna de Nogales, genera emisiones de PTS/MP, MP10 y MP2.5 por el tránsito de camiones en caminos sin pavimentar, proceso de molienda, harneo y chancado. Las emisiones por consumo de combustible en grupos electrógenos se consideraron en la Sección 6.3.1.3.

Nivel de Actividad

Según la información del anexo C del DIA, correspondiente a la RCA 127/2005, los niveles de actividad son los siguientes. El tránsito de camiones al interior de la mina es de 662,4 Vehículos-kilómetros totales al día (vkt/d) en caminos sin pavimentar y el volumen de material procesado

⁴⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

es de 5.400 ton/d, correspondiente al volumen máximo de procesamiento de chancado, harneado y molienda.

Tabla 6-19 Nivel de Actividad Mina el Soldado

Tipo de fuente	Unidad de Medida	Nivel de Actividad
Volumen de procesamiento	ton/día	5.400
Tránsito de camiones	vkt/día	662,4

Fuente: Anexo C DIA, RCA 127/2005

Factor de Emisión

Los factores de emisión corresponden a tránsito sin pavimentar, molienda, harnero grueso y chancado. Estos fueron tomados del manual de la EPA AP42.

Tabla 6-20 Factores de emisión Mina El Soldado

Fuente	Unidad de Medida	PTS/MP	MP10	MP2.5
Tránsito sin Pavimentar ^(a)	g/vkt	806,07	252,47	25,16
Molienda ^(b)	kg/ton	0,02	7,50E-03	7,50E-06
Harnero Grueso ^(b)	kg/ton	0,01	4,30E-03	2,91E-04
Chancado Primario ^(c)	kg/ton	0,20	0,02	4,00E-03
Chancado Secundario ^(c)	kg/ton	0,60	0,06	0,01
Chancado Terciario ^(c)	kg/ton	1,40	0,08	0,02

(a): EPA AP42 Capítulo 13.2.2

(b): EPA AP42 Tabla 11.19.2-1

(c): EPA AP42 Tabla 11.24-1

Fuente: Elaboración propia a partir del AP42

6.3.3.5 Cantera Ñilhue

La Cantera Ñilhue está ubicada en la comuna de Catemu, sus actividades generan emisiones de PTS/MP, MP10 y MP2.5 asociados a perforaciones, tronaduras, carga y descarga de material y el tránsito por caminos no pavimentados.

Nivel de Actividad

Los niveles de actividad se obtuvieron de la Adenda N°2 de la RCA 150/2006

Tabla 6-21 Niveles de Actividad Cantera Ñilhue

Fuente	Unidad de Medida	Nivel de Actividad
Perforación y tronaduras	ton/año	300
Manejo de material en frente	ton/año	1.000.000
Descarga de estéril	ton/año	760.000
Descarga caliza en tolva planta	ton/año	400.000
Chancado 1 y clasificación	ton/año	400.000
Descarga Stock pile	ton/año	400.000
Chancado 2 y clasificación	ton/año	400.000
Descarga en acopio producto	ton/año	400.000
Despacho	ton/año	400.000
Transporte estéril	vkt/año	33.529
Transporte caliza a planta	vkt/año	28.941

Fuente: RCA 150/2006 Adenda2

Factor de Emisión

Los factores de emisión corresponden a chancado, tronaduras, carga y descarga, y tránsito sin pavimentar.

Tabla 6-22 Factores de emisión para Cantera Ñilhue

Fuente	Unidad de Medida	PTS/MP	MP10	MP2,5
Carga/descarga de material ^(a)	kg/ton	1,09E-03	3,81E-04	5,76E-05
Transito sin Pavimentar ^(b)	g/vkt	1.983,15	598,77	59,79
Tronaduras ^(c)	kg/tron	0,22	0,114	0,007
Chancador Primario ^(d)	kg/ton	0,20	0,02	0,004
Chancador Secundario ^(d)	kg/ton	0,60	0,06	0,011
Chancador Terciario ^(d)	kg/ton	1,40	0,08	0,015

a) EPA AP42 Capítulo 13.2.4. Se utilizó un valor de velocidad del viento de 2.53 m/s y se asumió una humedad relativa del 3%.

b) EPA AP42 Capítulo 13.2.2

c) EPA AP42 Tabla 11.9-2

d) EPA AP42 Tabla 11.24-1

Fuente: Elaboración propia a partir del AP42

6.3.3.6 Planta Catemu – Minera Amalia

La Planta Catemu de la minera Amalia se ubica en la comuna de Catemu, y genera emisiones relacionadas a las actividades de carga y descarga de material, tránsito sin pavimentar, chancado y harneo. Estas últimas dos cuentan con un supresor de polvo con una eficiencia de 90%, además de estar en una zona encapsulada que retiene el 90% restante, en los caminos se aplica bischofita como medidas de abatimiento.

Las emisiones de la planta corresponden a PTS/MP, MP10 y MP2.5. Las emisiones por consumo de combustible en grupos electrógenos fueron consideradas en la Sección 6.3.1.3.

Nivel de Actividad

Según la información presente en el anexo C del DIA de la RCA 127/2015, el volumen de material procesado es de 5.000 toneladas al día y el tránsito es de 250 camiones recorriendo 0,5 kilómetros diarios.

Tabla 6-23 Nivel de Actividad Planta Catemu – Minera Amalia

Fuente	Unidad de Medida	Nivel de Actividad
Tránsito de camiones	vkt/día	125
Volumen de procesamiento	ton/día	5.000

Fuente: Anexo C, DIA. RCA127/2015

Factor de Emisión

Los factores de emisión corresponden a chancado, harneo, carga y descarga, y tránsito sin pavimentar se presentan en la Tabla 6-24.

Tabla 6-24 Factores de emisión Planta Catemu – Minera Amalia

Fuente	Unidad de Medida	PTS/MP	MP10	MP2,5
Harnero grueso ^(a)	kg/ton	0,013	4,30E-03	2,91E-04
Carga/descarga de material ^(b)	kg/ton	1,07E-03	3,75E-04	5,68E-05
Tránsito sin pavimentar ^(c)	g/vkt	1.136,63	356,05	35,52
Chancador Primario ^(d)	kg/ton	0,2	0,02	4,00E-03
Chancador Secundario ^(d)	kg/ton	0,6	0,06	0,011
Chancador Terciario ^(d)	kg/ton	1,4	0,08	0,015

a) EPA AP42 Tabla 11.19.2-1

b) EPA AP42 Capítulo 13.2.4. Se utilizó un valor de velocidad del viento de 2.5 m/s y una humedad relativa del 3%

c) EPA AP42 Capítulo 13.2.2

d) EPA AP42 Tabla 11.24-1

Fuente: Elaboración propia a partir del AP42

6.3.3.7 Proyecto Minero UVA

El proyecto minero UVA está ubicado en la comuna de Catemu, sus actividades generan emisiones por tronaduras, extracción de material con maquinaria pesada, carga y descarga de camiones y transporte de material. Emitiendo PTS/MP, MP2.5 y MP10.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad de las distintas actividades se obtuvo del anexo 4 del DIA, de la RCA 867/2006.

Tabla 6-25 Nivel de Actividad Proyecto minero UVA.

Fuente	Unidad de medida	Nivel de Actividad
Tronaduras	tron/año	365
Material extraído con maquinaria pesada	hr/día	8
Carga de material	ton/día	1.889
Tránsito de camiones	vkt/año	41.610

Fuente: anexo 4 del DIA, de la RCA 867/2006.

Factor de Emisión

Los factores de emisión corresponden a tronaduras, extracción de material con maquinaria pesada, carguío de camiones y transporte de material.

Tabla 6-26 Factores de emisión Proyecto Minero UVA

Fuente	Unidad de Medida	PTS/MP	MP10	MP2,5
Tronaduras ^(a)	kg/tron	0,26	0,14	0,01
Maquinaria pesada ^(a)	kg/hr	7,28	1,43	0,76
Carga/descarga de material ^(b)	kg/ton	1,41E-03	4,95E-04	7,49E-05
Transito sin pavimentar ^(c)	g/vkt	1.137	356	36

a) EPA AP42 Tabla 11.9-2

b) EPA AP42 Capítulo 13.2.4. Se utilizó un valor de velocidad del viento de 2 m/s y se asumió una humedad relativa del 2%.

c) EPA AP42 Capítulo 13.2.2

Fuente: Elaboración propia a partir del AP42

6.4 Fuentes estacionarias areales

La presente sección tiene por objetivo identificar fuentes de emisión, como procesos o combustión, de las principales actividades comerciales y residenciales de la zona de interés.

6.4.1 Consumo de leña residencial y otros combustibles

Factor de Emisión

De acuerdo al manual de inventarios del MMA ⁵⁰, la quema de leña y otros combustibles a nivel residencial genera emisiones por combustión de MP10, MP2.5, CO, NOx, SO₂ y COVs. Los factores de emisión se presentan desde la Tabla 2-31 a la Tabla 2-39 del manual de inventarios del MMA⁵¹.

Nivel de Actividad

De la encuesta CASEN 2017 se obtiene la información de la cantidad de hogares que usan leña y otro tipo de combustibles, con esa información se calcula el porcentaje de uso para cada tipo de combustible entre los encuestados. Luego, con la población total y el porcentaje de uso de cada combustible se puede estimar la cantidad total de personas que utilizan cada tipo de combustible. Por último, con datos del Informe estadístico de combustibles de la SEC para el año 2017 se obtiene el consumo por vivienda de gas natural, gas licuado y kerosene, mientras que el consumo de leña se obtuvo del estudio de consumo de leña y otros combustibles⁵² (ver Tabla 6-28). Sin embargo, estos datos corresponden a toda la V Región, para esto se calculó el consumo por vivienda para la región y luego se multiplicó este consumo por el número de viviendas de cada comuna de interés (ver Tabla 6-27). Así se estimó el consumo total para cada comuna (ver Tabla 6-29).

⁵⁰ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

⁵¹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

⁵² CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015.

Tabla 6-27 Número de viviendas

Comuna	Viviendas
Catemu	5.171
Llay Llay	8.927
Panquehue	2.514
Hijuelas	6.596
La Calera	18.106
La Cruz	8.064
Nogales	7.690
Quillota	33.118
Total V Región	90.186

Fuente: Elaboración propia a partir de INE ⁵³

Tabla 6-28 Consumo regional de combustible residencial

Combustible	Unidad de medida	Consumo
Gas licuado ^(a)	ton	99.732
Gas Natural ^(a)	10 ³ m ³	27.788
Kerosene ^(a)	m ³	5.592
Leña ^(b)	m ³	305.406

a) Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 'Informe Estadístico 2017'

b) CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-29 Consumo de combustible residencial

Comuna	Gas Natural (10 ³ m ³) ^(a)	GLP (10 ³ m ³) ^(a)	Kerosene (10 ³ m ³) ^(a)	Leña (ton) ^(b)
Catemu	-	1,19	0,04	873
Llay Llay	-	2,05	0,06	1.508
Panquehue	-	0,58	0,02	425
Hijuelas	-	1,52	0,05	1.114
La Calera	1.120	4,16	0,13	3.058
La Cruz	-	1,85	0,06	1.362
Nogales	-	1,77	0,05	1.299
Quillota	2.048	7,61	0,23	5.593
Total	3.168	20,73	0,64	15.232

a) Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 'Informe Estadístico 2017'

b) CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones por quema de leña dependen del tipo de artefacto, humedad y condiciones de operación. Para la distribución de artefactos de calefacción se utilizó el estudio de consumo de leña y combustibles⁵⁴ (ver Tabla 6-30). Para la distribución de humedad, se utilizaron los

⁵³ INE, 'Censo de Población y Vivienda 2017', 2017.

⁵⁴ CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015.

establecidos en los inventarios de emisiones de Temuco-Padre las Casas⁵⁵. En este se considera que un 22% de la leña corresponde a seca (18% contenido de humedad), un 38% a leña semi-humeda (25% contenido de humedad) y el 40% restante a leña humedad (40% contenido de humedad). Finalmente, para las condiciones de operación se consideró que un 30% del uso tiene una mala operación, basada en la estimación de equipos operados con tiraje cerrado realizado en la actualización del inventario de Temuco-Padre las Casas del 2010⁵⁶.

Tabla 6-30 Distribución del uso de artefactos a leña en la V Región

Tipo Artefacto	Distribución
Cámara Doble	43,8%
Salamandra	25,7%
Cámara Simple	19,6%
Equipo Hechizo	8,8%
Chimenea	2,2%
Total	100%

Fuente: CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015. Tabla 62

6.4.2 Incendios forestales

Factor de emisión

De acuerdo al manual de inventarios del MMA⁵⁷, los incendios forestales, por la combustión de carga orgánica, generan emisiones de MP10, MP2.5, CO, NOx, SO₂, CO₂, NH₃, CH₄, CN y N₂O. Los factores de emisión utilizados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 6-31 Factores de emisión por tipo de bosque (kg/kg materia quemada)

Tipo Bosque	MP10	MP2.5	CO	NH3	NOx	SO2	CO2	CH4	N2O	CN
Pino	0,0097	0,0082	0,0926	0,0010	0,0034	0,0010	0,7110	0,0031	0,0001	0,0005
Eucaliptus	0,0097	0,0082	0,0926	0,0010	0,0034	0,0010	0,9954	0,0043	0,0001	0,0005
Arboleado	0,0113	0,0096	0,1121	0,0011	0,0033	0,0010	0,7110	0,0031	0,0001	0,0005
Matorral	0,0063	0,0054	0,0501	0,0005	0,0036	0,0011	1,1936	0,0017	0,0002	0,0004
Pastizal	0,0113	0,0096	0,1121	0,0011	0,0033	0,0010	1,1936	0,0017	0,0002	0,0004

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

⁵⁵ SICAM, 'Actualización Del Inventario de Emisiones Atmosférica de Temuco y PLC. Fuentes de Área : Combustión Residencial de CAPITULO I', 2015. Tabla 49.

⁵⁶ Centro Nacional del Medio Ambiente, *Actualización Del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas* (Santiago: CENMA, 2010).

⁵⁷ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Tabla 6-32 Carga orgánica por tipo de bosque (ton/ha)

Tipo Bosque	Carga Orgánica
Pino	0,0097
Eucaliptus	0,0097
Arboleado	0,0113
Matorral	0,0063
Pastizal	0,0113

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Nivel de Actividad

De acuerdo a las estadísticas históricas de CONAF, se muestra en la Tabla 6-33 las hectáreas quemadas por comuna en el periodo de 2016 – 2017, por tipo de vegetación.

Tabla 6-33 Hectáreas quemadas por tipo de vegetación (ha)

Comuna	Pino	Eucaliptus	Arboleado	Matorral	Pastizal
Catemu	-	3	0.2	42	89
Llay Llay	-	-	60	342	1.250
Panquehue	-	-	-	-	-
Hijuelas	0.1	0.1	90	85	131
Calera	-	4	-	9	30
La Cruz	-	-	-	3	5
Nogales	1	27	124	114	124
Quillota	1	5	78	92	116
Total	2	39	352	687	1.745

Fuente: ⁵⁸. Estadística - Ocurrencia y Daño por Comuna 1985 a 2018

6.4.3 Quemadas agrícolas y Forestales

Factor de Emisión

El factor de emisión depende del tipo de cultivo y de la carga orgánica, que al quemarse generan emisiones de MP10, MP2.5, CO, NO_x, SO₂, COVs y NH₃ ⁵⁹.

⁵⁸ CONAF, 2017

⁵⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Tabla 6-34 Factor de emisión Quemadas agrícolas y forestales (ton/ton materia quemada)

Tipo Cultivo	MP10	MP2.5	NOx	SO2	COV	CO	NH3	Carga Orgánica (ton/ha)	
Trigo	0,0048	0,0046	0,0020	0,0004	0,0034	0,0561	0,0009	4,7	
Cebada	0,0064	0,0062	0,0023	0,0000	0,0068	0,0827	0,0013	4,2	
Avena	0,0093	0,0089	0,0020	0,0003	0,0046	0,0612	0,0010	4,0	
Maíz	0,0051	0,0049	0,0015	0,0002	0,0030	0,0319	0,0005	10,4	
Otros cultivos	0,0076	0,0073	0,0021	0,0003	0,0061	0,0538	0,0009	5,4	
Vegetación	0,0072	0,0069	0,0020	0,0003	0,0049	0,0517	0,0008	5,4	
Ramas	0,0053	0,0045	0,0037	0,0011	-	0,0371	0,0004	1,9	
Desechos de Explotación	Pino							6,5	
	Eucaliptus	0,0081	0,0068	0,0035	0,0011	-	0,0719	0,0007	5,4
	Otras especies							6,0	

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Nivel de Actividad

Según datos históricos de la CONAF, en la Tabla 6-35 se muestra las hectáreas de quemadas agrícolas y forestales para el año 2017 en la región de Valparaíso, que corresponden a 1.216,6 ha, separadas en agrícola y forestal.

Tabla 6-35 Superficie de quema V Región 2017 [ha]

Tipo Superficie	Superficie quemada [ha]
Agrícola	931
Forestal	286
Total	1.217

Fuente: CONAF, 'Resumen_Quemas_1981-2017', 2017

Para estimar las hectáreas quemadas en cada comuna, se pondera por la proporción de superficie de cultivos con respecto a la superficie cultivable de toda la región. Esta información se muestra en la Tabla 6-36.

Tabla 6-36 Superficie total de cultivos por comuna en la V región

Provincia	Comuna	Agrícola		Forestal	
		Superficie cultivos (ha)	Porcentaje (a)	Superficie cultivos (ha)	Porcentaje (a)
San Felipe	Catemu	3.869	4,21%	112	0,37%
	Llay Llay	4.462	4,85%	11	0,04%
	Panquehue	4.289	4,67%	36	0,12%
Quillota	Hijuelas	4.452	4,84%	108	0,36%
	La Calera	806	0,88%	16	0,05%
	La Cruz	2.695	2,93%	10	0,03%
	Nogales	3.927	4,27%	34	0,11%
	Quillota	6.409	6,97%	182	0,60%
Total comunas de interés		30.909	33,62%	509	1,67%
Total V Región		91.925	100%	30.492	100%

a. Porcentaje de la superficie se calcula con respecto al total de la región

Fuente: ⁶⁰ Superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivos.

Finalmente, se obtiene la estimación de las hectáreas quemadas (ver Tabla 6-37).

Tabla 6-37 Hectáreas quemadas agrícola y forestal (ha)

Comuna	Agrícola	Forestal
Catemu	39	1
Llay Llay	45	0
Panquehue	43	0
Hijuelas	45	1
La Calera	8	0
La Cruz	27	0
Nogales	40	0
Quillota	65	2
Total	312	4

Fuente: Elaboración propia a partir de la superficie total de quema de la V Región (CONAF, 'Resumen_Quemas_1981-2017', 2017) y de la proporción de superficie de cultivos por comuna (INE, 2007).

6.4.4 Incendios Urbanos

Factor de Emisión

Los factores de emisión utilizados se muestran en la Tabla 6-38.

⁶⁰ INE, 'VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal', *Instituto Nacional de Estadísticas*, 2007, 1–222.

Tabla 6-38 Factor de emisión incendios urbanos

Fuente	Unidad de medida	PTS/PM	NOx	CO
Incendios Urbanos	kg/siniestro	5,59	2,07	86,94

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017, Tabla 2-45

Nivel de Actividad

El nivel de Actividad se obtuvo del Inventario de emisiones regional ⁶¹ y corresponde al número de siniestros en las comunas de interés.

Tabla 6-39 Número de siniestros urbanos el 2008

Comuna	Siniestros
Catemu	11
Llay Llay	67
Panquehue	2
Hijuelas	19
La Calera	92
La Cruz	15
Nogales	29
Quillota	53
Total	288

Fuente: Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011

6.4.5 Rellenos sanitarios

Los rellenos sanitarios generan emisiones de metano (CH₄) por descomposición anaeróbica de residuos orgánicos, COVs y productos de combustión si hubiera quema de biogás⁶². También se generan emisiones por excavaciones de material y transferencia de residuos.

Se consideró el único relleno sanitario identificado en la zona de interés, correspondiente al relleno sanitario San Pedro, ubicado en la comuna de Quillota.

De acuerdo a la RCA306-2017, la más actualizada del proyecto, las emisiones durante la fase de operación son por excavación, transferencia de material y circulación de vehículos en la zona. La Tabla 6-40 presenta estas emisiones, donde el levantamiento de polvo es la más relevante.

⁶¹ Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.

⁶² MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

Tabla 6-40 Emisiones atmosféricas Relleno Sanitario San Pedro. Fase de Operación [ton/año]

	MP10	MP2.5	CO	NOx
Excavación	7,92	3,06	0	0
Transferencia de Material	0,009	0,0014	0	0
Polvo resuspendido caminos ^(a)	21,45	2,14	0	0
Combustión vehículos	0,01	0,01	0,12	0,48

a) Se consideró una eficiencia de abatimiento del 65% por humectación de caminos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la RCA306-2017

Adicional a las emisiones estimadas en la RCA, se consideraron emisiones por COVs, a partir del factor de emisión recomendado por la EMEP-EEA⁶³, de 1.56 kg de COV por tonelada de residuos depositada. De acuerdo a la RCA, el nivel de actividad del relleno sanitario es 20 mil toneladas al año.

6.4.6 Fertilizantes

Factor de Emisión

Según el manual de inventarios del MMA⁶⁴, la aplicación de fertilizantes genera emisiones de nitrógeno.

Tabla 6-41 Factores de Emisión aplicación de fertilizantes

Tipo de Aplicación	NH ₃	NO	N ₂ O
Amoniaco Anhidro	5,4	-	-
Urea	117	63	4,5
Nitrato de Amonio	-	108	72
Sulfato de Amonio	-	63	5,4
Cloruro de Amonio	-	26,1	-

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Nivel de Actividad

El consumo de nutrientes para cultivos en la V Región se muestra en la Tabla 6-42, con información del Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile⁶⁵.

⁶³ EMEP-EEA, '5.A Biological Treatment of Waste - Solid Waste Disposal on Land', 2016. Tabla 3-1.

⁶⁴ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

⁶⁵ ODEPA, 'Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de La Cadena de Comercialización de Fertilizantes En Chile. Informe Final', 2010.

Tabla 6-42 Consumo de nutrientes V Región (ton)

Nutriente	Total (ton)
Nitrato (N)	902
Fósforo (P)	1.105
Potasio (K)	1.406

Fuente: ODEPA, 'Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de La Cadena de Comercialización de Fertilizantes En Chile. Informe Final', 2010

Se utiliza urea como fertilizante de nitrógeno en la Región de Valparaíso ⁶⁶, con un contenido de nitrógeno de 46,7% ⁶⁷, así se puede estimar las toneladas de urea utilizadas como fertilizante en la Región, que equivalen a 1.932 ton.

La Tabla 6-36 tiene la información por comuna de la cantidad de hectáreas de tierras de cultivo y la superficie cultivable de toda la V Región. De la proporción entre la superficie de cultivos de cada comuna con respecto a la superficie de toda la Región, se puede estimar las toneladas de urea consumidas en cada comuna, multiplicando las toneladas consumidas en la región (1.932 ton) por la proporción de superficie cultivable, como se muestra en la Tabla 6-43.

Tabla 6-43 Estimación urea consumida por comuna [ton]

Provincia	Comuna	Urea (ton)
San Felipe	Catemu	81
	Llay llay	94
	Panquehue	90
Quillota	Hijuelas	94
	La Calera	17
	La Cruz	57
	Nogales	83
	Quillota	135
Total comunas de interés		651
Total V Región		1.932

Fuente: Elaboración propia a partir de ODEPA, 'Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de La Cadena de Comercialización de Fertilizantes En Chile. Informe Final', 2010.

6.4.7 Pesticidas

Factor de Emisión

La aplicación de pesticidas genera emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y sus factores de emisión son los siguientes (Tabla 6-44).

⁶⁶ ODEPA, 'Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de La Cadena de Comercialización de Fertilizantes En Chile. Informe Final', 2010.

⁶⁷ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

Tabla 6-44 Factor de emisión por aplicación de Pesticidas

Tipo de Aplicación	Intervalo de presión de vapor (mm Hg a 20 – 25°C)	Factor de Emisión (kg COV/ton)
Aplicación Superficial	10^{-4} a 10^{-6}	350
	$> 10^{-4}$	580
Incorporación al suelo	$< 10^{-6}$	2.7
	10^{-4} a 10^{-6}	21
	$> 10^{-4}$	52

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Nivel de Actividad

Del informe de venta de plaguicidas de uso agrícola en Chile⁶⁸, se obtiene las toneladas de plaguicidas vendidos en la Región de Valparaíso.

Tabla 6-45 Plaguicidas vendidos en la V Región

Serie	Tipo de Plaguicida	Total (ton)
1000	Insecticidas. Rodenticidas. Acaricidas	764
2000	Fungicidas. Bactericidas	1.069
3000	Herbicidas	554
4000	Misceláneos	344
Total		2.731

Fuente: SAG, 'Informe de Venta de Plaguicidas de Uso Agrícola En Chile. Año 2012', 2012

Usando la misma metodología que para fertilizantes (Sección 6.4.6), se pondera la cantidad de plaguicida por la proporción de superficie de cultivos de cada comuna con respecto a toda la región, información mostrada en la Tabla 6-36. De esta manera se puede obtener una estimación del consumo de plaguicidas por comuna.

Tabla 6-46 Cantidad de pesticidas aplicados por comuna (ton)

Comuna	Insecticidas. Rodenticidas. Acaricidas	Fungicidas. Bactericidas	Herbicidas	Misceláneos
Catemu	32	45	23	14
Llay Llay	37	52	27	17
Panquehue	36	50	26	16
Hijuelas	37	52	27	17
La Calera	7	9	5	3
La Cruz	22	31	16	10
Nogales	33	46	24	15
Quillota	53	75	39	24
Total	257	360	187	116

Fuente: Elaboración propia a partir de SAG, 'Informe de Venta de Plaguicidas de Uso Agrícola En Chile. Año 2012', 2012.

⁶⁸ SAG, 'Informe de Venta de Plaguicidas de Uso Agrícola En Chile. Año 2012', 2012.

6.5 Fuentes fugitivas

6.5.1 Preparación de Terrenos

Factor de Emisión

La preparación de terrenos agrícolas emite material particulado por el levantamiento de polvo. Los factores de emisión dependen del número de pasadas de preparación antes de plantar, por lo tanto, depende también de las hectáreas por tipo de cultivo y se calcula según la ecuación mostrada en el punto 3.1.1.1 Preparación de terrenos, del manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas ⁶⁹ y está en unidades de ton/ha.

Nivel de Actividad

Del censo agropecuario se obtiene la información de la superficie total sembrada o plantada por tipo de cultivo, como se muestra en la Tabla 6-47.

Tabla 6-47 Superficie cultivada o sembrada por cultivo (ha)

Tipo Cultivo	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota
Maiz (grano seco)	17	20	445	3	-	-	26	-
Otras semillas	22	18	-	24	-	0	-	2
Otros granos alimentarios	1	19	5	-	0	1	-	-
Papa	236	-	-	-	-	-	-	-
Ajo	68	108	45	18	-	-	12	-
Alcachofa	340	630	-	41	28	-	11	20
Arveja verde	4	19	-	2	-	-	1	2
Betarraga	3	8	-	6	6	16	19	97
Brocoli	3	-	1	6	-	-	4	48
Cebolla de guarda	37	91	26	71	-	-	28	-
Cebolla temprana	30	74	-	93	-	-	3	5
Choclo	37	65	5	35	26	13	176	112
Cilantro	5	2	-	1	-	14	7	69
Coliflor	7	-	-	17	-	3	7	69
Esparrago	3	-	-	8	-	-	-	-
Haba	5	8	8	4	-	-	5	8
Huerta casera	7	6	1	6	1	4	4	17
Lechuga	56	105	6	22	9	19	39	461
Melon	7	26	-	3	-	-	8	-
Otras hortalizas	31	11	34	22	9	10	39	41
Pepino de ensalada	2	-	-	-	-	-	-	7
Poroto granado	52	71	6	103	8	-	82	46
Poroto verde	2	1	-	43	-	-	6	19
Repollo	44	34	2	35	35	6	31	258
Sandia	7	-	-	5	-	-	-	-
Tomate consumo fresco	59	9	9	79	1	27	37	360
Zanahoria	73	184	19	293	55	21	121	34
Zapallo italiano	10	1	-	22	-	1	1	70
Zapallo temprano y de guarda	2	-	-	6	-	-	-	-
Almendro	11	8	-	-	-	-	119	3

⁶⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

Tipo Cultivo	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota
Arandano	10	-	-	-	-	9	24	24
Damasco	30	82	21	-	-	-	-	-
Duraznero consumo fresco	51	58	1	-	-	-	-	1
Duraznero tipo conservero	87	24	132	-	-	-	11	-
Huerto casero	4	6	1	-	2	7	10	15
Limonero	7	17	29	-	6	55	125	336
Naranja	77	6	56	-	12	54	361	309
Nogal	118	52	47	-	10	-	197	1
Olivo	29	40	-	-	-	-	12	2
Otros frutales	34	143	164	-	25	88	123	57
Palto	387	790	1.651	-	444	2.149	1.059	2.704
Uva de mesa	635	868	510	-	-	-	12	-
Cebada forrajera (grano seco)	-	7	-	2	-	-	26	-
Papa	-	55	22	179	37	-	323	-
Aji	-	37	-	-	-	-	3	9
Cerezo	-	27	-	-	-	-	-	17
Ciruelo europeo (deshidratado)	-	43	-	-	-	-	-	-
Peral europeo	-	32	-	-	-	-	-	-
Tuna	-	5	-	-	-	-	-	-
otras semillas	-	-	1	-	-	-	-	-
Acelga	-	-	1	-	-	6	-	66
Clementina	-	-	70	-	-	-	34	20
Pimiento	-	-	-	2	-	6	1	56
Repollito de bruselas	-	-	-	34	-	-	-	-
Kiwi	-	-	-	-	5	-	67	15
Espinaca	-	-	-	-	-	11	-	65
Perejil	-	-	-	-	-	5	5	34
Chirimoyo	-	-	-	-	-	71	-	14
Lucuma	-	-	-	-	-	6	-	2
Otros cereales	-	-	-	-	-	-	1	1
Achicoria	-	-	-	-	-	-	-	38
Albahaca	-	-	-	-	-	-	-	3
Apio	-	-	-	-	-	-	-	104
Berenjena	-	-	-	-	-	-	-	1
Rabanito	-	-	-	-	-	-	-	8
Rabano o Nabo	-	-	-	-	-	-	-	4
Mandarina	-	-	-	-	-	-	23	8
Manzano verde	-	-	-	-	-	-	-	19
Nispero	-	-	-	-	-	-	-	5
Pomelo	-	-	-	-	-	-	3	18
Total	2.650	3.810	3.318	1.185	719	2.602	3.206	5.704

Fuente: INE, 'VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal', Instituto Nacional de Estadísticas, 2007, 1-222

6.5.2 Construcción de edificios

Factor de Emisión

Durante la construcción de edificios se libera polvo que contiene material particulado grueso y se generan emisiones con factores de emisión que se muestran en la Tabla 6-48.

Tabla 6-48 Factores de emisión construcción de edificios (kg/m²-mes)

Factores de emisión	MP10	PTS/MP10
Construcción de edificios	0,0247	0,0504

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017, Tabla 3-7

Nivel de Actividad

Para el nivel de Actividad se obtuvo la información de los permisos de edificación para las comunas de interés el año 2017, de ahí se obtuvo la superficie permitida para edificar (m²) y se subdividió en las categorías residencial y comercial. El tiempo de construcción para edificios residenciales es de 6 meses y comerciales 11 meses (CARB, 1997). La superficie construida se muestra en la Tabla 6-49.

Tabla 6-49 Superficie construida (m²)

Comuna	Comercial	Residencial
Catemu	759	914
Llay Llay	1.335	1.607
Panquehue	394	475
Hijuelas	7.408	5.254
La Calera	20.817	14.764
La Cruz	9.098	6.453
Nogales	9.107	6.459
Quillota	37.273	26.435
Total	86.191	62.361

Fuente: Permisos edificación (INE, 2017)

6.5.3 Áridos

Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde a las toneladas de áridos procesados, esta información se presenta en la Tabla 6-50, esta se estimó a partir de los volúmenes y densidad⁷⁰ entregados por la contraparte técnica.

⁷⁰ Densidad utilizada fue de 1.8 ton/m³

Tabla 6-50 Toneladas de áridos procesados

Extracción de áridos	Volumen [m ³]	Toneladas
Puente las tinajas	38.167	68.701
La Sombra	48.487	87.277
Áridos Aconcagua	273.630	492.535
Tobalongo	32.957	59.323
Túnel la calavera	33.875	60.975
Total	427.116	768.811

Fuente: Elaboración propia a partir de la información entregada por la contraparte técnica.

Factor de Emisión

La extracción de áridos produce emisiones de material particulado grueso por el levantamiento de polvo en la extracción y procesamiento de éstos. Los factores de emisión se presentan en el apartado 3.1.1.2 del manual de inventario de emisiones⁷¹ y corresponden a las actividades de extracción en el frente, transferencias de material, chancado, clasificación y tamizado.

6.6 Fuentes móviles

6.6.1 En ruta

Las emisiones de fuentes móviles son relevantes en los asentamientos humanos como ciudades. Por lo general son proporcionales al número de habitantes de cada ciudad, ya que esto genera mayor actividad económica y flujo vehicular, lo cual genera emisiones.

En particular, las fuentes móviles generan los siguientes tipos de emisiones ⁷²:

- **Emisiones por tubo de escape:** Se generan emisiones de MP2.5, NOx, CO y HC producto de la combustión de los vehículos.
- **Emisiones por desgaste de frenos y neumáticos:** Se generan emisiones de MP10 y MP2.5 producto del desgaste de frenos en las detenciones y el roce de los neumáticos con el pavimento.
- **Emisiones de polvo resuspendido:** Se generan emisiones de MP10 y MP2.5 producto del levantamiento de polvo de calles por la circulación de vehículos.

Dado que el nivel de actividad es complejo de estimar, ya que corresponde a flujos de vehículos o kilómetros recorridos por tipo de vehículo, SECTRA⁷³ cuenta con modelos de transporte como VIVALDI o ESTRAUS, los cuales utiliza para estimar las emisiones con el modelo MODEM ⁷⁴. Estos modelos se realizan para las grandes ciudades de Chile, y no se cuenta con modelación de

⁷¹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

⁷² MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

⁷³ Por sus siglas Secretaría de Planificación de Transporte.

⁷⁴ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

transporte para las ciudades en la zona de interés. Tampoco se cuenta con una encuesta origen-destino en la zona, para el análisis de las zonas con mayor flujo.

En el manual de inventario de emisiones⁷⁵ se recomienda considerar las emisiones modeladas por MODEM para una ciudad de tamaño y población similar. En particular en la zona de interés se cuentan con las siguientes ciudades, de acuerdo a los mapas de cartografía pre censales⁷⁶. En la Tabla 6-51 se presenta la superficie de cada ciudad en la zona de interés, junto a la población comunal.

Tabla 6-51 Características ciudades zona de interés

Ciudad	Área estimada Ciudad [ha]	Población comunal	viviendas
La Calera	1.308	50.554	18.106
Quillota	1.521	90.517	33.118
Hijuelas	911	17.988	6.596
La Cruz	934	22.098	8.064
Nogales	312	22.120	7.690
Catemu	455	13.998	5.171
Llay Llay	692	24.608	8.927
Panquehue	424	7.273	2.514
Total V Región	-	1.815.902	788.806

Fuente: Elaboración propia en base a CENSO 2017 y mapas pre censales del INE

De la Tabla 6-51 se observa que en la zona existen, dos grandes ciudades que podría tener emisiones relevantes por fuentes móviles: La Calera y Quillota.

No obstante, para estimar las emisiones se utilizó la metodología propuesta para ciudades sin modelo de transporte, establecida en la sección 4.1.2 del manual de inventarios. Esta metodología considera utilizar factores de emisión con velocidades promedio por tipo de vehículo. Para el nivel de actividad la estimación se basa en el tamaño del parque vehicular y de kilómetros anuales recorridos promedio.

Factor de Emisión

La metodología utilizada para los factores de emisión se obtiene del manual de inventarios del MMA, utilizando las fórmulas ahí presentes para las emisiones en caliente del tubo de escape, evaporativas y por partidas en frío.

Dado que los factores de emisión dependen de la velocidad, se utilizaron velocidades promedio recomendadas por el manual de inventarios⁷⁷ (ver Tabla 6-52).

⁷⁵ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

⁷⁶ Disponibles en: <http://www.ine.cl/herramientas/galeria-de-mapas/cartografia-precenso-2016>

⁷⁷ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

Tabla 6-52 Velocidad promedio por tipo de vehículo [km/hr]

Tipo Vehículo	Velocidad promedio
Bus	19
Camión Liviano-Mediano	43
Camión Pesado	46
Motos	36
Comerciales	37
Particulares	39
Taxi- Taxi colectivo	25

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017. Tabla 4-9.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde al parque automotriz de la V región⁷⁸, obtenido del INE y mostrado en la Tabla 6-53.

Tabla 6-53 Parque vehicular en la zona de interés

Comuna	Bus	Camión Liviano-Mediano	Camión Pesado	Comerciales	Motos	Particulares	Taxi-Taxi colectivo
Catemu	57	186	281	201	133	2.607	29
Llay Llay	43	192	80	262	326	3.936	122
Panquehue	36	124	294	157	105	2.226	4
Hijuelas	72	421	347	253	214	4.131	53
La Calera	101	422	147	548	351	8.585	295
La Cruz	79	294	192	388	271	8.080	77
Quillota	130	764	537	924	882	17.667	540
Nogales	262	240	154	287	182	4.391	47
Total	780	2.643	2.032	3.020	2.464	51.623	1.167

Fuente: INE, 'Parque Vehicular V Región', Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015, 1–11.

Se consideraron los kilómetros anuales recorridos estimados por tipo de vehículo en el 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas'. Se utilizaron los valores contemplados entre la V y VII región (ver Tabla 6-54).

⁷⁸ INE, 'Parque Vehicular V Región', Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015, 1–11 <<http://www.beta.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>>.

Tabla 6-54 Kilómetros recorridos anuales por tipo de vehículo [km/veh]

Tipo de Vehículo	Kilómetros recorridos
Bus	69.848
Camión Liviano-Mediano	26.657
Camión Pesado	48.700
Motos	9.630
Comerciales	25.985
Particulares	17.004
Taxi- Taxi colectivo	44.650

Fuente: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017, Tabla 4-8

6.6.2 Fuera de ruta

Factor de Emisión

Las emisiones fuera de ruta se estiman según las fórmulas y metodología mostradas en el manual para el desarrollo de inventario de emisiones⁷⁹, en la sección 4.2. El factor de emisión depende del factor de deterioro, factor de carga, potencia, tipo de contaminante, entre otros.

Nivel de Actividad

Para el nivel de actividad se consideran las horas trabajadas al año por tipo de vehículo, esa información se obtuvo de estimaciones basadas en el "Estudio diagnóstico plan de gestión atmosférica-Región de Valparaíso, construcción de un inventario de emisiones regional"⁸⁰. Como se menciona en ese documento, las maquinarias agrícolas más utilizadas en la V Región son tractores y cosechadoras, mientras que la maquinaria de construcción relevante son retroexcavadora chica (gato), retroexcavadora, grúa telescópica, compactadores y motor chico gasolinero.

Para que estas maquinarias coincidieran con lo establecido en el manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas⁸¹, se hizo la siguiente equivalencia:

⁷⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

⁸⁰ Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.

⁸¹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

Tabla 6-55 Equivalencia Ambiosis con MMA

Tractor	Tractores agrícola y forestal
Cosechadora	Otro equipo agrícola
Retroexcavadora chica (gato)	Excavadora
Retroexcavadora	Retroexcavadora
Compactador Doble tambor	Rodillos
Compactador de placa	Otro material de construcción
Compactador pata pata hidro pisón	Otro material de construcción
Grúa	Grúa telescópica
Motor gasolinero chico	Otro material de construcción

Fuente: Elaboración propia

6.6.2.1 Maquinaria de Construcción

Las horas de uso promedio para maquinaria de construcción dependen de los metros cuadrados y los pisos construidos, los cuales se obtuvieron de los permisos de edificación de las provincias de Quillota y San Felipe para el año 2017, de 7 y 1.8 hectáreas respectivamente. Para obtener el detalle por comuna se ponderó por su proporción de población con respecto al total de la provincia (ver Tabla 6-56).

Tabla 6-56 Personas por comuna y porcentaje respecto al total de la provincia, V Región

Provincia	Comuna	Población	% provincia
Quillota	Quillota	90.517	44,53%
	Calera	50.554	24,87%
	Hijuelas	17.988	8,85%
	La Cruz	22.098	10,87%
	Nogales	22.120	10,88%
Total Provincia Quillota		203.277	100%
San Felipe de Aconcagua	San Felipe	76.844	49,67%
	Catemu	13.998	9,05%
	Llaillay	24.608	15,91%
	Panquehue	7.273	4,70%
	Putendo	16.754	10,83%
	Sta. María	15.241	9,85%
Total Provincia San Felipe de Aconcagua		154.718	100%

Fuente: Censo, 2017.

Tabla 6-57 Metros cuadrados por pisos construidos (m²)

Pisos	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota
1	1.187	2.087	616	1.185	3.331	1.456	1.457	5.963
2	486	855	253	2.884	8.105	3.543	3.546	14.500
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	6	16	7	2.110	28
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	1.716	4.823	2.108	7.965	8.635
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	397	1.116	488	488	1.999
Total	1.673	2.942	869	6.188	17.391	7.602	15.566	31.125

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de los permisos de edificación 2017.

Del estudio construcción de un inventario de emisiones regional⁸² se obtienen las horas promedio trabajadas por superficie y por número de pisos, como se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 6-58 Horas de uso promedio para maquinaria de construcción (horas)

Pisos	m ² promedio	Grúa	Retroexcavadora chica	Retroexcavadora	Compactadores			Motor Gasolinero
					Doble Tambor	Placa	Pata pata hidro pisón	
1	60	-	4	-	-	2	-	5
2	80	-	5	-	-	3	-	7
3	200	-	-	8	7	6	3	19
4	350	-	-	8	27	11	5	33
5	500	312	-	70	61	38	19	154
6	500	406	-	70	61	38	19	246
7	500	528	-	70	61	38	19	278
8	500	687	-	70	61	38	19	318
9+	500	893	-	70	61	38	19	365

Fuente: Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011. Tabla 214, Tabla 215 y Tabla 216

Con esta información se puede obtener una proporción de horas/m² por tipo de maquinaria, aplicando la equivalencia mostrada en la Tabla 6-55 y los datos de metros cuadrados construidos Tabla 6-57, se obtienen una estimación de las horas de uso de maquinaria de construcción durante el año 2017, como se muestra en la Tabla 6-59.

⁸²Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.

Tabla 6-59 Horas de uso maquinaria de construcción (hrs)

Comuna	Grúa telescópica	Excavadoras	Otro material de construcción	Rodillos	Retroexcavadoras
Catemu	-	99	175	-	-
Llay Llay	-	175	307	-	-
Panquehue	-	52	91	-	-
Hijuelas	2.525	249	1.936	259	297
La Calera	7.095	700	5.440	727	834
La Cruz	3.101	306	2.378	318	364
Nogales	3.104	306	2.380	318	365
Quillota	12.704	1.253	9.741	1.301	1.493
Total	28.529	3.140	22.448	2.923	3.353

Fuente: Elaboración propia a partir de Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011. Tabla 214, Tabla 215 y Tabla 216

6.6.2.2 Maquinaria agrícola

Las horas de uso de maquinaria agrícola dependen de la superficie y del tipo de cultivo, como se muestra en la Tabla 6-60.

Tabla 6-60 Horas de uso de maquinaria por hectárea (hr/ha) según tipo de cultivo

Actividad	Cereales y chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales
Aradura	2	2	2	0
Rastra	4	4	4	0
Aplicación de líquido	2	2	4	2
Cultivación	1	1	1	0
Tractor	9	9	11	2
Cosechadora	2	2	0	0
Total	20	20	22	4

Fuente: Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011, Tabla 212

Del censo agropecuario se obtiene la información de las hectáreas por tipo de cultivo.

Tabla 6-61 Hectáreas por tipo de cultivo (ha)

Comuna	Cereales y chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales
Catemu	276	9	891	1.481
Llay Llay	118	-	1.487	2.200
Panquehue	474	0.3	164	2.680
Hijuelas	206	5	976	2.460
La Calera	37	-	176	504
La Cruz	1	1	161	2.437
Nogales	385	25	605	2.179
Quillota	3	9	2.129	3.567
Total	1.500	49	6.589	17.508

Fuente: INE, 'VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal', Instituto Nacional de Estadísticas, 2007, 1-222

Con esta información se puede estimar la cantidad de horas de uso de maquinaria agrícola.

Tabla 6-62 Horas de uso maquinaria agrícola (hr)

Comuna	Otro Equipo Agrícola (Cosechadora)	Tractores agrícolas y forestal
Catemu	569	15.322
Llay Llay	236	21.817
Panquehue	949	11.427
Hijuelas	422	17.557
La Calera	75	3.284
La Cruz	3	6.654
Nogales	819	14.697
Quillota	24	30.661
Total	3.097	121.419

Fuente: Elaboración propia a partir de Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.Tabla 214, Tabla 215 y Tabla 216

Por último, la estimación de las horas de trabajo de la maquinaria fuera de ruta (agrícola y de construcción) se presenta en la Tabla 6-63.

Tabla 6-63 Horas de uso maquinaria fuera de ruta (hr)

Comuna	Tractores agrícolas y forestal	Grúa telescópica	Excavadoras	Otro material de construcción	Rodillos	Retroexcavadoras	Otro Equipo Agrícola
Catemu	15.322	-	99	175	-	-	569
Llay Llay	21.817	-	175	307	-	-	236
Panquehue	11.427	-	52	91	-	-	949
Hijuelas	17.557	2.525	249	1.936	259	297	422
La Calera	3.284	7.095	700	5.440	727	834	75
La Cruz	6.654	3.101	306	2.378	318	364	3
Nogales	14.697	3.104	306	2.380	318	365	819
Quillota	30.661	12.704	1.253	9.741	1.301	1.493	24
Total	121.419	28.529	3.140	22.448	2.923	3.353	3.097

Fuente: Elaboración propia a partir de Ambiosis and others, Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional, 2011.Tabla 214, Tabla 215 y Tabla 216

6.7 Ubicación geográfica fuentes emisoras

En la Tabla 6-64 se presenta el detalle de las fuentes emisoras de contaminantes identificadas en la zona de interés, de acuerdo a lo descrito en las secciones previas. Cada una de estas fuentes fue asociada a una figura georreferenciada la cual permitirá posteriormente la modelación del efecto de sus emisiones en la calidad del aire.

Las fuentes fueron caracterizadas geográficamente de manera vectorial, según las siguientes figuras:

- **Puntos:** Fuentes con mayor relevancia en las emisiones y con ubicación más precisa, como la chimenea de la fundición de Chagres.
- **Líneas/arcos:** Fuentes de arcos como caminos, asociado a emisiones de fuentes móviles por combustión y levantamiento de polvo.
- **Polígono/área:** Fuentes areales y otras fuentes fijas.

La georreferenciación de fuentes emisoras presentadas en la Tabla 6-64 resulta de un proceso de revisión de los antecedentes de la zona, mapas cartográficos disponibles para la zona y criterio experto del consultor. La Tabla 6-64 presenta para cada comuna las fuentes identificadas, separadas por categoría, a caracterización vectorial dada y si es asociable a una capa pre censal.

Tabla 6-64 Fuentes identificadas en la zona de interés

Comuna	Categoría	Fuentes identificadas	Tipo Figura GeoR.	Mapa Polígono
Calera	Instalación fabril	Combustión industrial de fuentes fijas: hornos de carbón, gas natural, diésel y petróleo combustible	Punto	Grandes Fuentes

Comuna	Categoría	Fuentes identificadas	Tipo Figura GeoR.	Mapa Polígono
	Consumo de leña residencial	Combustión de leña	Área	Ciudad Pueblo
	Fertilizantes y pesticidas	Compuestos orgánicos volátiles	Área	Parcela-Hijuela
	Incendios forestales	Combustión de carga orgánica	Área	Fundo-Estancia-Hacienda Parcela-Hijuela
Catemu	Industria minera	Polvo resuspendido proveniente de camiones y maquinaria	Área	Grandes Fuentes
	Instalación fabril	Combustión industrial de fuentes fijas: hornos de petróleo y gas natural	Punto	Grandes Fuentes
	Consumo de leña residencial	Combustión de leña	Área	Ciudad Pueblo
	Fertilizantes y pesticidas	Compuestos orgánicos volátiles	Área	Parcela-Hijuela
	Incendios forestales	Combustión de carga orgánica	Área	Fundo-Estancia-Hacienda Parcela-Hijuela
La Cruz	Energía	Motor de combustión interna de gas natural	Punto	Grandes Fuentes
	Fertilizantes y pesticidas	Compuestos orgánicos volátiles	Área	Parcela-Hijuela
	Incendios forestales	Combustión de carga orgánica	Área	Fundo-Estancia-Hacienda Parcela-Hijuela
Llay Llay	Instalación fabril	Combustión industrial de fuentes fijas: horno de gas natural	Punto	Grandes Fuentes
	Energía	Turbina de combustión interna de gas natural y turbina de combustión interna de diésel	Punto	Grandes Fuentes
	Incendios forestales	Combustión de carga orgánica	Área	Fundo-Estancia-Hacienda Parcela-Hijuela
	Fertilizantes y pesticidas	Compuestos orgánicos volátiles	Área	Parcela-Hijuela
	Minería	Polvo resuspendido proveniente de camiones y maquinaria de chancado de material	Área	Grandes Fuentes
	Consumo de leña residencial	Combustión de leña	Área	Ciudad Pueblo
Quillota	Energía	Turbina de combustión interna de gas natural	Punto	Grandes Fuentes
	Minería	Polvo resuspendido de camiones y maquinaria para áridos	Área	Grandes Fuentes
	Incendios forestales	Combustión de carga orgánica	Área	Fundo-Estancia-Hacienda Parcela-Hijuela
	Fertilizantes y pesticidas	Compuestos orgánicos volátiles	Área	Parcela-Hijuela
	Consumo de leña residencial	Combustión de leña	Área	Ciudad Pueblo

Comuna	Categoría	Fuentes identificadas	Tipo Figura GeoR.	Mapa Polígono
Todas	Quemas agrícolas	Combustión de carga orgánica	Área	Fundo-Estancia-Hacienda Parcela-Hijueta
	Fuentes móviles	Fuentes móviles en ruta	Línea	Calles Ciudad

Fuente: Elaboración propia

Como anexo digital a este informe se entregan archivos que contienen la georreferenciación del polígono asociado a cada fuente de emisión, en formato *kmz*.

6.8 Resultados Inventario

En la presente sección se presentan los resultados de la estimación del inventario de emisiones para la zona interior de la región de Valparaíso, con año base 2017. Junto con el informe, se entrega como anexo digital la planilla de cálculos completa de la estimación del inventario del año 2017.

Los resultados presentados son el producto del uso de los mejores supuestos y antecedentes disponibles para el consultor. Se destaca que, pese a esto, están sujeto a un grado significativo de incertidumbre proveniente tanto del nivel de actividad como de los factores de emisión utilizados.

En la Tabla 6-65 se observan los resultados de la estimación de emisiones de los principales contaminantes considerados. Se observa que la fuente Horno del tipo Estacionario (correspondiente en su mayoría a la Fundición Chagres) es la principal emisora de material particulado y SO₂ consistiendo en más del 50% en material particulado y más del 90% en SO₂. Por su parte, las emisiones de monóxido de carbono y Compuestos Orgánicos Volátiles están principalmente asociados al uso de calefactores y fuentes areales (ver Figura 6-2). Las emisiones de NO_x se distribuyen entre los grupos electrógenos, termoeléctricas y fuentes móviles. Destacan también las emisiones por calefacción residencial, las cuales alcanzan las 300 ton de MP_{2.5} y son más cercanas a los receptores⁸³ de la contaminación.

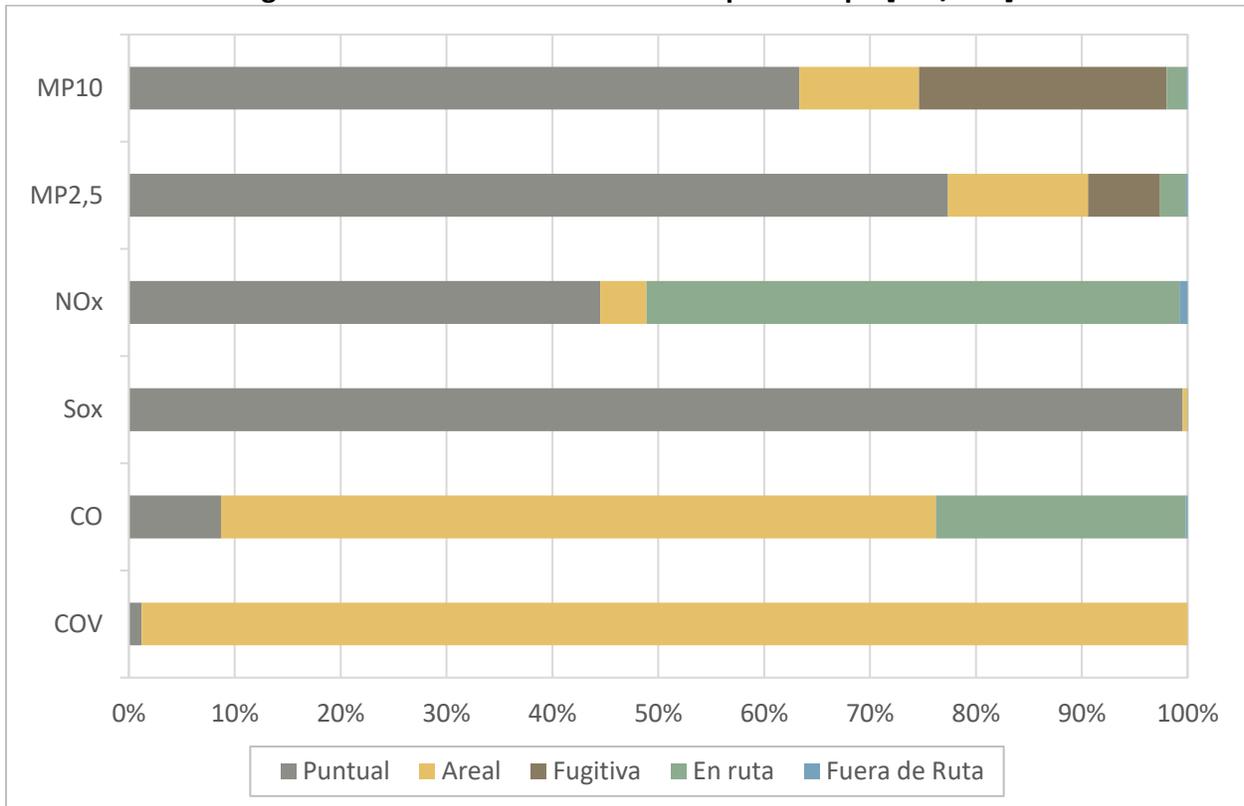
⁸³ Población expuesta en las ciudades.

Tabla 6-65 Inventario de emisiones 2017 zona interior Valparaíso [ton/año]

Tipo	Subtipo	Sector	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV
Estacionaria	Puntual	Industria	Caldera	89	74	140	237	124	4
			GE	8	8	112	7	24	9
			Horno	3.226	3.031	762	9.128	893	11
			Proceso	184	30	285	109	1	-
			Termoeléctrica	86	86	1.477	12	-	-
		CPR	Caldera	0	0	0	0	0	0
			GE	6	6	92	6	20	8
	Areal	Industria	Horno	0	0	2	0	1	0
			Aplicación de Fertilizante	-	-	86	-	-	-
			Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	321
			Quema Agrícola	12	11	3	0	94	8
		Relleno Sanitario	29	5	0	-	0	31	
		CPR	Calefactor	262	248	81	5	4.818	2.246
		Incendios	Incendio Forestal	339	288	110	34	3.296	-
Incendio Urbano	2		2	1	-	25	-		
Fugitiva	Fugitiva	Industria	Áridos	173	1	-	-	-	-
			Construcción edificios	4	-	-	-	-	-
			Preparación de terreno	11	-	-	-	-	-
	Transporte	Calles	1.117	270	-	-	-	-	
		Desgaste de frenos y neumáticos	25	13	-	-	-	-	
Móvil	En ruta	Transporte	Vehículos	21	21	934	2	1.942	-
			Moto	-	-	43	0	407	-
			Bus	36	35	808	1	230	-
			Camión Liviano-Medio	10	9	366	0	82	-
			Camión Pesado	39	38	1.095	1	218	-
	Fuera de Ruta	Industria	Maquinaria	5	5	50	0	22	-
Total				5.684	4.181	6.447	9.542	12.197	2.638

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-2 Distribución de emisiones por subtipo [ton/año]



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6-66 presenta el inventario de emisiones con detalle de subsector. Se observa emisiones importantes de la producción primaria de cobre (fundición Chagres), de fuentes móviles y de calefacción a residencial. Adicionalmente se observa que las emisiones puntuales se dividen en distintos rubros económicos, siendo los más relevantes las termoeléctricas, minería e industria alimentaria y agropecuaria.

Tabla 6-66 Inventario de emisiones 2017 zona interior Valparaíso por subsector [ton/año]

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV
Estacionaria	Puntual	Industria	Agrícola	4	3	6	0	7	0
			Energía	0	0	1	0	0	0
			Fabricación de Cemento	30	4	762	230	893	11
			Ind. Alimentaria y agropecuaria	88	73	172	196	125	7
			Ind. Productos minerales	43	7	4	0	1	0
			Industrial	0	0	1	0	0	0
			Minería	113	20	46	46	10	4
			Producción de Vidrio	2	2	286	109	1	0
			Producción Primaria de Cobre	3.226	3.031	1	8.898	0	0
			Salud	0	0	2	0	1	0
			Sanitario	0	0	3	0	1	0
			Termoeléctricas	87	87	1.492	14	3	2
	CPR	Comercial	7	7	94	6	20	8	
	Areal	Industria	Agrícola	12	11	89	0	94	329
			Sanitario	29	5	0	-	0	31
		CPR	Residencial	261	248	81	5	4.818	2.246
Incendios		Incendios	341	289	111	34	3.321	-	
Fugitiva	Fugitiva	Industria	Agrícola	11	-	-	-	-	-
			Construcción	4	-	-	-	-	-
			Ind. Productos minerales	173	1	-	-	-	-
		Transporte	Transporte carga	799	196	-	-	-	-
			Transporte pasajeros	343	88	-	-	-	-
Móvil	En ruta	Transporte	Transporte carga	49	48	1.460	1	301	-
			Transporte pasajeros	57	56	1.786	3	2.579	-
	Fuera de Ruta	Industria	Agrícola	4	4	40	0	16	-
			Construcción	1	1	10	0	6	-
Total				5.684	4.181	6.447	9.542	12.197	2.638

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta de manera más detallada los resultados del inventario de emisiones. En particular se presentan resultados detallados por:

- Comuna (ver Sección 6.8.1)
- Clasificación por tipos de fuentes definidos para el modelo de dispersión (ver Sección 6.8.2):
 - Puntuales (ver Sección 6.8.3)
 - Residencial (ver Sección 6.8.4)

- Móviles (ver Sección 6.8.5)
- Otras fuentes (ver Sección 6.8.6)

6.8.1 Resultados por Comuna

Se observa en la Tabla 6-67 la distribución de la emisión de contaminantes por comuna de la región. Se observa que Catemu es la comuna que aporta la mayor cantidad de emisiones de material particulado y de SO₂, esto debido a que en su comuna se emplaza la Fundición Chagres. Mientras que la comuna de Quillota y La Calera son las principales aportantes de NO_x por su mayor concentración de población y tráfico vehicular.

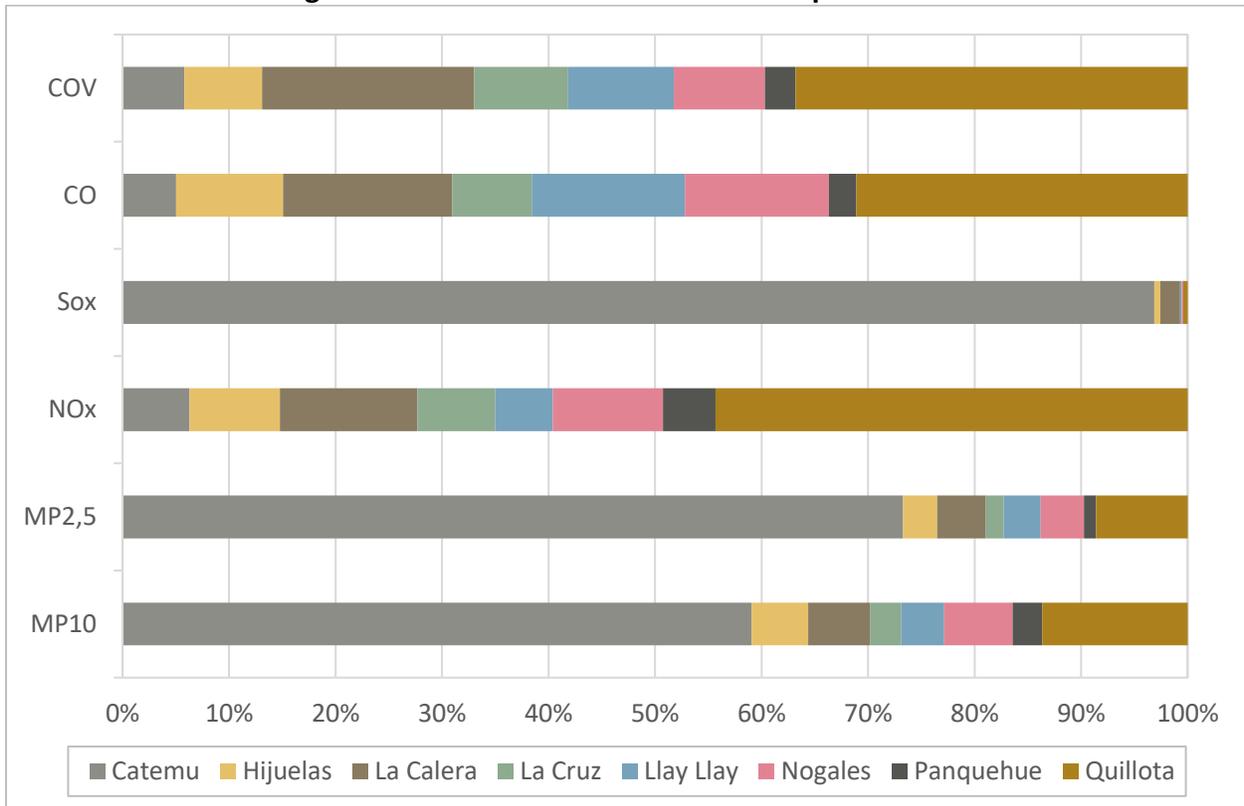
Tabla 6-67 Inventario de emisiones Valparaíso 2017 por comuna [ton/año], principales contaminantes

Comuna	MP10	MP2,5	NO _x	SO ₂	CO	COV
Catemu	3.459	3.110	343	8.944	547	173
Hijuelas	294	132	458	49	1.234	212
La Calera	307	179	1.450	382	2.533	485
La Cruz	158	65	384	1	802	230
Llay Llay	219	141	567	121	1.779	270
Nogales	355	168	538	12	1.694	234
Panquehue	155	47	273	0	289	108
Quillota	737	339	2.434	33	3.319	926
Total	5.684	4.181	6.447	9.542	12.197	2.638

Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-3 presenta la distribución porcentual de las emisiones por comuna. Para las emisiones de MP10 y MP2.5 se observan una contribución importante de Catemu, principalmente por las emisiones de la fundición Chagres. Otras comunas con aportes importantes al material particulado son Quillota y La Calera, debido a su mayor concentración de población. Para otros contaminantes asociados a la actividad antropogénica, como el CO y NO_x, se observa que las comunas dominantes son La Calera y Quillota, mientras que la emisión de SO₂ se concentra en la fundición Chagres.

Figura 6-3 Distribución de las emisiones por comuna



Fuente: Elaboración propia

A continuación, diversas tablas presentan los resultados a nivel de fuente para cada comuna. En los resultados por tabla son:

- Catemu (ver Tabla 6-68)
- Hijuelas (ver Tabla 6-69)
- La Calera (ver Tabla 6-70)
- La Cruz (ver Tabla 6-71)
- Llay Llay (ver Tabla 6-72)
- Nogales (ver Tabla 6-73)
- Panquehue (ver Tabla 6-74)
- Quillota (ver Tabla 6-75)

Para cada comuna se observan diversas emisiones por fuentes puntuales, residencial y móviles modeladas en el presente inventario.

Tabla 6-68 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Catemu

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV	
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	15	14	4,36	0,26	276	129	
		Incendios	Incendios	Incendio Forestal	8,04	6,82	3,00	0,93	75	-	
				Incendio Urbano	0,06	0,06	0,02	-	0,96	-	
		Industria	Agrícola		Aplicación de Fertilizante	-	-	10,76	-	-	-
					Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	40,21
					Quema Agrícola	1,46	1,40	0,44	0,06	11,93	1,00
	Puntual	Ind. Productos minerales	Minería	Proceso	43	7,13	-	-	-	-	
				Caldera	0,30	0,30	3,62	43	0,76	0,03	
			Grupo Electrónico	Proceso	2,05	2,05	29	1,92	6,29	2,38	
				Proceso	28	6,47	-	-	-	-	
		Producción Primaria de Cobre		Grupo Electrónico	0,06	0,06	0,80	0,05	0,17	0,07	
				Horno	3.226	3.031	-	8.898	-	-	
		Salud		Caldera	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	-	
				Grupo Electrónico	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
Fugitiva	Fugitiva	Agrícola	Construcción	Preparación de terreno	1,53	-	-	-	-	-	
				Construcción edificios	0,04	-	-	-	-	-	
		Transporte	Transporte carga	Calles	102	25	-	-	-	-	
				Desgaste de frenos y neumáticos	0,91	0,49	-	-	-	-	
		Transporte pasajeros		Calles	20	4,79	-	-	-	-	
				Desgaste de frenos y neumáticos	0,94	0,51	-	-	-	-	
Movil	En ruta	Transporte carga		Camión Liviano-Medio	0,68	0,66	26	0,02	5,79	-	
				Camión Pesado	5,45	5,29	151	0,14	30	-	
		Transporte pasajeros		Bus	2,62	2,54	59	0,07	17	-	
				Moto	-	-	2	0,00	22	-	
	Fuera de Ruta	Industria	Agrícola		Vehículos	1,08	1,06	47	0,09	98	-
					Maquinaria	0,53	0,52	5,21	0,00	2,02	-
			Construcción		Maquinaria	0,01	0,00	0,04	0,00	0,02	-
Total Catemu					3.459	3.110	343	8.944	547	173	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-69 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Hijuelas

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV	
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	19	18	5,56	0,33	352	164	
		Incendios	Incendios	Incendio Forestal	61	52	19	5,96	602	-	
				Incendio Urbano	0,11	0,11	0,04	-	1,65	-	
		Industria	Agrícola	Aplicación de Fertilizante	-	-	12,38	-	-	-	
				Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	46,27	
	Quema Agrícola			1,67	1,60	0,50	0,06	13,66	1,15		
	Puntual	CPR	Comercial	Grupo Electrónico	0,03	0,03	0,45	0,03	0,10	0,04	
		Industria	Agrícola	Caldera	3,97	3,43	5,41	0,28	6,62	0,19	
				Grupo Electrónico	0,01	0,01	0,11	0,01	0,02	0,01	
				Ind. Alimentaria y agropecuaria	Caldera	7,81	2,73	11	42	0,40	0,01
Industria		Industrial	Grupo Electrónico	0,01	0,01	0,17	0,01	0,04	0,01		
			Sanitario	Grupo Electrónico	0,02	0,02	0,30	0,02	0,06	0,02	
Fugitiva	Fugitiva	Agrícola	Preparación de terreno	1,75	-	-	-	-	-		
				Construcción	Construcción edificios	0,31	-	-	-	-	-
				Ind. Productos minerales	Áridos	20	0,07	-	-	-	-
		Transporte	Transporte carga	Calles	134	32	-	-	-	-	
					Desgaste de frenos y neumáticos	1,24	0,67	-	-	-	-
			Transporte pasajeros	Calles	28	6,68	-	-	-	-	
					Desgaste de frenos y neumáticos	1,40	0,75	-	-	-	-
	En ruta	Transporte carga	Camión Liviano-Medio	1,54	1,49	58	0,06	13	-		
				Camión Pesado	6,73	6,53	187	0,18	37	-	
			Transporte pasajeros	Bus	3,31	3,21	75	0,09	21	-	
Moto	-	-		4	0,00	35	-				
Fuera de Ruta	Industria	Agrícola	Maquinaria	0,59	0,58	5,82	0,00	2,24	-		
				Construcción	Maquinaria	0,11	0,11	0,88	0,00	0,53	-
Total Hijuelas					294	132	458	49	1.234	212	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-70 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna La Calera

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV	
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	53	50	17	0,91	968	451	
		Incendios	Incendios	Incendio Forestal	4,49	3,81	1,59	0,49	43	-	
				Incendio Urbano	0,51	0,51	0,19	-	8,00	-	
		Industria	Agrícola		Aplicación de Fertilizante	-	-	2,24	-	-	-
					Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	8,37
					Quema Agrícola	0,30	0,29	0,09	0,01	2,46	0,21
	Puntual	CPR	Comercial		Grupo Electrógeno	6,38	6,38	91	5,97	20	7,41
					Horno	0,00	0,00	0,30	0,00	0,12	0,09
		Industria	Fabricación de Cemento		Horno	0,23	0,20	762	230	893	11
					Proceso	29	4,35	-	-	-	-
			Ind. Alimentaria y agropecuaria		Caldera	76	67	116	141	115	3,36
					Grupo Electrógeno	3,06	3,06	44	2,86	9,38	3,56
			Ind. Productos minerales		Grupo Electrógeno	0,15	0,15	2,20	0,14	0,47	0,18
			Industrial		Grupo Electrógeno	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
			Salud		Grupo Electrógeno	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Agrícola		Preparación de terreno	0,29	-	-	-	-	-			
Construcción		Construcción edificios	0,88	-	-	-	-	-			
Fugitiva	Fugitiva			Calles	66	16	-	-	-	-	
				Desgaste de frenos y neumáticos	0,67	0,36	-	-	-	-	
				Calles	50	12	-	-	-	-	
				Desgaste de frenos y neumáticos	2,83	1,52	-	-	-	-	
				Camión Liviano-Medio	1,54	1,50	58	0,06	13	-	
				Camión Pesado	2,85	2,77	79	0,08	16	-	
Móvil	En ruta	Transporte carga		Bus	4,64	4,50	105	0,13	30	-	
				Moto	-	-	6	0,00	58	-	
		Transporte pasajeros		Vehículos	3,68	3,60	162	0,31	356	-	
				Maquinaria	0,11	0,11	1,09	0,00	0,42	-	
	Fuera de Ruta	Industria		Construcción	0,32	0,31	2,46	0,00	1,49	-	
Total La Calera					307	179	1.450	382	2.533	485	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-71 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna La Cruz

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV	
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	23	22	6,79	0,40	431	201	
		Incendios	Incendios	Incendio Forestal	0,37	0,31	0,15	0,05	3,37	-	
				Incendio Urbano	0,08	0,08	0,03	-	1,30	-	
		Industria	Agrícola		Aplicación de Fertilizante	-	-	7,49	-	-	-
					Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	28,01
	Quema Agrícola	0,99	0,95	0,29	0,04	8,10	0,69				
Puntual	CPR	Comercial	Grupo Electrógeno	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00		
Fugitiva	Fugitiva	Industria	Agrícola	Preparación de terreno	0,26	-	-	-	-	-	
			Construcción	Construcción edificios	0,38	-	-	-	-	-	
		Transporte carga		Calles	77	19	-	-	-	-	
				Desgaste de frenos y neumáticos	0,72	0,39	-	-	-	-	
		Transporte pasajeros		Calles	41	9,90	-	-	-	-	
				Desgaste de frenos y neumáticos	2,36	1,27	-	-	-	-	
Móvil	En ruta	Transporte	Transporte carga	Camión Liviano-Medio	1,08	1,04	41	0,04	9	-	
				Camión Pesado	3,73	3,61	103	0,10	21	-	
		Transporte pasajeros		Bus	3,63	3,52	82	0,10	23	-	
				Moto	-	-	5	0,00	45	-	
	Fuera de Ruta	Industria	Agrícola	Maquinaria	Vehículos	3,14	3,07	136	0,25	260	-
					Maquinaria	0,22	0,21	2,10	0,00	0,80	-
		Construcción	Maquinaria	0,14	0,14	1,08	0,00	0,65	-		
Total La Cruz					158	65	384	0,98	802	230	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-72 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Llay Llay

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	26	25	7,52	0,45	477	222
			Incendios	Incendios	Incendio Forestal	107	91	36	11	1.036
		Incendio Urbano		0,37	0,37	0,14	-	5,82	-	
		Industria	Agrícola	Aplicación de Fertilizante	-	-	12,41	-	-	-
				Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	46
				Quema Agrícola	1,64	1,57	0,49	0,06	13,39	1,15
	Puntual	CPR	Comercial	Grupo Electrónico	0,01	0,01	0,10	0,01	0,02	0,01
				Horno	0,01	0,01	0,32	0,03	0,04	0,01
		Industria	Energía	Grupo Electrónico	0,09	0,09	1,29	0,09	0,28	0,11
				Ind. Alimentaria y agropecuaria	Grupo Electrónico	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01
			Producción de Vidrio	Grupo Electrónico	0,07	0,07	1,00	0,07	0,22	0,08
				Proceso	1,61	1,53	285	109	1	-
			Salud	Caldera	0,01	0,01	0,07	0,00	0,06	0,00
				Grupo Electrónico	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
			Sanitario	Grupo Electrónico	0,06	0,06	0,91	0,06	0,20	0,07
			Termoeléctricas	Grupo Electrónico	0,08	0,08	1,17	0,08	0,25	0,10
	Termoeléctrica	0,44		0,44	20	0,09	-	-		
Fugitiva	Fugitiva	Agrícola	Preparación de terreno	2,02	-	-	-	-	-	
			Construcción	0,07	-	-	-	-	-	
			Ind. Productos minerales	Áridos	14	0,04	-	-	-	-
	Transporte	Transporte carga	Calles	35	8,38	-	-	-	-	
			Desgaste de frenos y neumáticos	0,34	0,18	-	-	-	-	
		Transporte pasajeros	Calles	22	5,42	-	-	-	-	
			Desgaste de frenos y neumáticos	1,29	0,69	-	-	-	-	
			Transporte carga	Camión Liviano-Medio	0,71	0,69	27	0,03	6,00	-
Movil	En ruta	Transporte carga	Camión Pesado	1,55	1,51	43	0,04	8,60	-	
			Transporte pasajeros	Bus	1,98	1,92	45	0,05	13	-
		Moto		-	-	6	0,00	54	-	
		Vehículos	1,68	1,65	74	0,14	162	-		
	Fuera de Ruta	Industria	Agrícola	Maquinaria	0,72	0,70	7,04	0,00	2,70	-
			Construcción	Maquinaria	0,01	0,01	0,07	0,00	0,04	-
Total Llay Llay					219	141	567	121	1.779	270

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-73 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Nogales

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	22	21	6,48	0,38	411	191
		Incendios	Incendios	Incendio Forestal	100	85	32	9,88	976	-
				Incendio Urbano	0,16	0,16	0,06	-	2,52	-
				Aplicación de Fertilizante	-	-	10,92	-	-	-
		Industria	Agrícola	Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	41
				Quema Agrícola	1,46	1,39	0,43	0,05	11,86	1,01
	Puntual	CPR	Comercial	Grupo Electrónico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Industria	Energía	Grupo Electrónico	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00
				Ind. Alimentaria y agropecuaria	Caldera	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
			Industrial	Grupo Electrónico	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00
				Grupo Electrónico	0,01	0,01	0,09	0,01	0,02	0,01
Minería			Grupo Electrónico	0,88	0,88	13	0,82	2,70	1,02	
			Proceso	82	10	-	-	-	-	
Fugitiva	Fugitiva	Agrícola	Preparación de terreno	1,48	-	-	-	-	-	
			Construcción	Construcción edificios	0,38	-	-	-	-	-
		Transporte	Transporte carga	Calles	62	15	-	-	-	-
				Desgaste de frenos y neumáticos	0,58	0,31	-	-	-	-
	Transporte pasajeros		Calles	63	15	-	-	-	-	
			Desgaste de frenos y neumáticos	2,25	1,21	-	-	-	-	
	En ruta		Transporte carga	Camión Liviano-Medio	0,88	0,85	33	0,03	7,47	-
				Camión Pesado	2,99	2,90	83	0,08	17	-
		Transporte pasajeros	Bus	12	12	272	0,33	77	-	
			Moto	-	-	3	0,00	30	-	
Fuera de Ruta	Industria	Agrícola	Vehículos	1,80	1,76	78	0,15	157	-	
			Maquinaria	0,53	0,51	5,17	0,00	2,03	-	
		Construcción	Maquinaria	0,14	0,14	1,08	0,00	0,65	-	
Total Nogales					355	168	538	12	1.694	234

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-74 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Panquehue

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	7,28	6,90	2,12	0,13	134	63
		Incendios	Incendios	Incendio Urbano	0,01	0,01	0,00	-	0,17	-
		Industria	Agrícola	Aplicación de Fertilizante	-	-	11,93	-	-	-
				Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	44,58
	Quema Agrícola	1,59	1,52	0,47	0,06	12,95	1,11			
Puntual	CPR	Comercial	Grupo Electrógeno	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
Fugitiva	Fugitiva	Industria	Agrícola	Preparación de terreno	0,80	-	-	-	-	-
			Construcción	Construcción edificios	0,02	-	-	-	-	-
			Ind. Productos minerales	Áridos	15	0,05	-	-	-	-
		Transporte	Transporte carga	Calles	104	25	-	-	-	-
				Desgaste de frenos y neumáticos	0,92	0,49	-	-	-	-
		Transporte pasajeros	Calles	14	3,47	-	-	-	-	
	Desgaste de frenos y neumáticos		0,74	0,39	-	-	-	-		
	Movil	En ruta	Transporte carga	Camión Liviano-Medio	0,45	0,44	17	0,02	3,86	-
Camión Pesado				5,70	5,53	158	0,15	32	-	
Transporte pasajeros			Bus	1,65	1,60	37	0,05	11	-	
			Moto	-	-	1,84	0,00	17	-	
Vehículos		0,90	0,88	39	0,07	76	-			
Fuera de Ruta	Industria	Agricola	Maquinaria	0,43	0,42	4,22	0,00	1,67	-	
Construccion		Maquinaria	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	-		
Total Panquehue					155	47	273	0,48	289	108

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-75 Inventario de Emisiones 2017 [ton/año]. Comuna Quillota

Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO	COV						
Estacionaria	Areal	CPR	Residencial	Calefactor	96	91	31	1,67	1.770	825						
		Incendios	Incendios	Incendio Forestal	57	49	18	5,68	561	-						
				Incendio Urbano	0,30	0,30	0,11	-	4,61	-						
		Industria	Agrícola	Agrícola	Aplicación de Fertilizante	-	-	17,82	-	-	-					
					Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	67					
			Sanitario	Sanitario	Quema Agrícola	2,42	2,31	0,72	0,09	19,75	1,66					
	Relleno Sanitario	29			5,21	0,48	-	0,12	31							
	Puntual	CPR	Comercial	Comercial	Caldera	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00					
					Grupo Electrógeno	0,07	0,07	1,02	0,07	0,22	0,08					
					Horno	0,01	0,01	1,10	0,01	0,43	0,34					
		Industria	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Grupo Electrógeno	0,03	0,03	0,45	0,03	0,10	0,04				
						Energía	Grupo Electrógeno	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00			
			Ind. Alimentaria y agropecuaria	Ind. Alimentaria y agropecuaria	Ind. Alimentaria y agropecuaria	Caldera	0,68	0,68	1,74	9,99	0,16	0,01				
						Grupo Electrógeno	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00				
			Ind. Productos minerales	Ind. Productos minerales	Ind. Productos minerales	Grupo Electrógeno	0,13	0,13	1,91	0,13	0,41	0,16				
			Industrial	Industrial	Industrial	Grupo Electrógeno	0,01	0,01	0,12	0,01	0,03	0,01				
						Minería	Grupo Electrógeno	0,02	0,02	0,32	0,02	0,07	0,03			
			Sanitario	Sanitario	Sanitario	Sanitario	Caldera	0,13	0,13	1,65	0,04	1,38	0,09			
							Grupo Electrógeno	0,01	0,01	0,11	0,01	0,02	0,01			
							Sanitario	Grupo Electrógeno	0,12	0,12	1,69	0,11	0,36	0,14		
							Caldera	0,00	0,00	0,06	0,69	0,01	0,00			
	Termoeléctricas	Termoeléctricas	Termoeléctricas	Termoeléctricas	Grupo Electrógeno	0,97	0,97	14	0,91	2,97	1,12					
					Termoeléctrica	85	85	1.458	12	-	-					
Fugitiva	Fugitiva	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Preparación de terreno	3,36	-	-	-	-	-					
					Construcción	1,57	-	-	-	-	-					
					Ind. Productos minerales	124	0,37	-	-	-	-					
		Transporte	Transporte	Transporte	Transporte	Calles	212	51	-	-	-	-				
						Transporte carga	Transporte carga	Desgaste de frenos y neumáticos	1,98	1,06	-	-	-	-		
								Transporte pasajeros	Calles	87	21	-	-	-	-	
Transporte pasajeros	Transporte pasajeros	Transporte pasajeros	Transporte pasajeros	Desgaste de frenos y neumáticos	5,40	2,89	-	-	-	-						
				Movil	En ruta	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte carga	Camión Liviano-Medio	2,80	2,71	106	0,10	24
Transporte pasajeros	Transporte pasajeros	Transporte pasajeros	Transporte pasajeros							Camión Pesado	10	10	289	0,28	58	-
										Bus	5,97	5,79	135	0,16	38	-
Fuera de Ruta	Fuera de Ruta	Industria	Industria	Industria	Moto	-	-	15	0,01	146	-					
					Vehículos	7,42	7,27	325	0,62	686	-					
Fuera de Ruta	Fuera de Ruta	Industria	Industria	Industria	Agrícola	0,99	0,97	9,70	0,00	3,69	-					
					Construcción	0,57	0,55	4,41	0,00	2,68	-					
Total Quillota					737	339	2.434	33	3.319	926						

Fuente: Elaboración propia

6.8.2 Resultados para el Modelo de Dispersión

Para un análisis y modelación más detallada, las fuentes emisoras se dividieron en 4 categorías: fuentes puntuales, fuentes de calefacción residencial, fuentes móviles y otras fuentes. Estas categorías se detallan en la Sección 7.1. La Tabla 6-76 presenta las emisiones por esta clasificación.

Tabla 6-76 Inventario de emisiones según modelo de dispersión [ton/año], principales contaminantes

Tipo de Fuente	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV
Puntuales	Caldera	89	74	140	237	124	4
	Grupo Electrogeno	14	14	204	13	44	17
	Horno	3.226	3.031	764	9.128	894	11
	Proceso	2	2	285	109	1	0
	Termoeléctrica	86	86	1.477	12	0	0
Residencial	Calefactor	262	248	81	5	4.818	2.246
Móviles	Bus	36	35	808	1	230	0
	Calles	1.117	270	0	0	0	0
	Camión Liviano-Medio	10	9	366	0	82	0
	Camión Pesado	39	38	1.095	1	218	0
	Desgaste de frenos y neumáticos	25	13	0	0	0	0
	Maquinaria	5	5	50	0	22	0
	Moto	0	0	43	0	407	0
	Vehículos	21	21	934	2	1.942	0
Otras	Aplicación de Fertilizante	0	0	86	0	0	0
	Aplicación de Pesticida	0	0	0	0	0	321
	Áridos	173	1	0	0	0	0
	Construcción edificios	4	0	0	0	0	0
	Incendio Forestal	339	288	110	34	3.296	0
	Incendio Urbano	2	2	1	0	25	0
	Preparación de terreno	11	0	0	0	0	0
	Proceso	182	28	0	0	0	0
	Quema Agrícola	12	11	3	0	94	8
	Relleno Sanitario	29	5	0	0	0	31
Total		5.684	4.182	6.447	9.542	12.198	2.638

Fuente: Elaboración propia

6.8.3 Resultados Fuentes Puntuales

La Tabla 6-77 presenta las emisiones por comuna por fuentes puntuales. Estas emisiones se estimaron a partir del consumo de combustible declarado en el DS138 del MINSAL por cada establecimiento. Al respecto se puede observar que:

- Las emisiones de MP provienen principalmente de la fundición Chagres en Catemu

- Existen emisiones de MP10, MP2.5, NOx importantes por grupos electrógenos en la mayoría de las comunas.
- En Quillota existen emisiones de MP10, MP2.5 y NOx importantes, por las termoeléctricas en la zona.

Tabla 6-77 Inventario de emisiones para fuentes puntuales por comuna [ton/año], principales contaminantes

Comuna	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV
Catemu	Caldera	0	0	4	43	1	0,03
	Grupo Electrónico	2	2	30	2	6	2,45
	Horno	3.226	3.031	-	8.898	-	-
Hijuelas	Caldera	12	6	16	42	7	0,20
	Grupo Electrónico	0	0	1	0	0	0,08
La Calera	Caldera	76	67	116	141	115	3,36
	Grupo Electrónico	10	10	137	9	29	11,15
	Horno	0	0	762	230	894	11,15
La Cruz	Grupo Electrónico	0	0	0	0	0	0,00
Llay Llay	Caldera	0	0	0	0	0	0,00
	Grupo Electrónico	0	0	5	0	1	0,37
	Horno	0	0	0	0	0	0,01
	Proceso	2	2	285	109	1	-
	Termoeléctrica	0	0	20	0	-	-
Nogales	Caldera	0	0	0	0	0	-
	Grupo Electrónico	1	1	13	1	3	1,04
Panquehue	Grupo Electrónico	0	0	0	0	0	0,00
Quillota	Caldera	1	1	3	11	2	0,10
	Grupo Electrónico	1	1	19	1	4	1,58
	Horno	0	0	1	0	0	0,34
	Termoeléctrica	85	85	1.458	12	-	-
Total		3.416	3.206	2.870	9.499	1.063	31,88

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones más relevantes de MP10 y MP2.5 son por la operación de la fundición Chagres, en la comuna de Catemu. En particular, el horno de fusión flash y la limpieza de escoria son los procesos con mayores emisiones (ver Tabla 6-78). Se observa también las altas emisiones de SO2 del horno de fusión flash de la fundición.

Tabla 6-78 Emisiones de la fundición Chagres [ton/año]

Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO ₂
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 1	37	29	-	-
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 2	40	32	-	-
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 3	40	31	-	-
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 4	41	32	-	-
HORNO DE FUSION FLASH	2.841	2.681	-	-
HORNO DE LIMPIEZA DE ESCORIA N° 1	94	94	-	-
HORNO DE LIMPIEZA DE ESCORIA N° 2	104	104	-	-
HORNO DE REFINO N° 1	1	1	-	-
HORNO DE REFINO N° 2	1	1	-	-
SECADOR DE CONCENTRADOS N° 1	13	12	-	-
SECADOR DE CONCENTRADOS N° 2	13	13	-	-
GRUPO ELECTRÓGENO	0	0	-	-
Total	3.225	3.030	-	8.898

Emisiones de SO₂ se obtuvieron por balance de masa para toda la fundición Chagres, reportado a nivel mensual a través del DS 28/2013 del MMA.

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de NOx por fuentes puntuales son en su mayoría atribuibles a las termoeléctricas en la zona. La Tabla 6-79 presenta las emisiones de termoeléctricas por central y por cada chimenea. Estas fueron estimadas mediante mediciones isocinéticas.

Tabla 6-79 Emisiones de termoeléctricas [ton/año]

Fuente	MP10	MP2,5	NOx	SO ₂
Los Vientos	0	0	20	0
Nehuenco-Chimenea I	9	9	285	3
Nehuenco-Chimenea II	14	14	256	3
Nehuenco-Chimenea III	0	0	2	0
San Isidro I-Chimenea bypass TG1	0	0	9	0
San Isidro I-Chimenea TG1	56	56	422	5
San Isidro II-Chimenea bypass TG2	0	0	7	0
San Isidro II-Chimenea TG2	6	6	478	1
Total	85	85	1.479	12

Fuente: Elaboración propia

6.8.4 Resultados Fuentes Residencial

La Tabla 6-80 presenta las emisiones de calefactores por comuna y por tipo de combustible. Se observa que existe diversidad de combustibles utilizados en calefactores, pero casi la totalidad de emisiones es generada por la combustión a leña.

Tabla 6-80 Inventario de emisiones para fuentes residenciales (calefactor) [ton/año]

Combustible	Comuna	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV
GAS LICUADO	Catemu	0	0	1	0,00	0	0
	Hijuelas	0	0	2	0,00	0	0
	La Calera	0	0	5	0,01	1	0
	La Cruz	0	0	2	0,00	0	0
	Llay Llay	0	0	2	0,00	0	0
	Nogales	0	0	2	0,00	0	0
	Panquehue	0	0	1	0,00	0	0
	Quillota	0	0	8	0,01	2	1
GAS NATURAL	La Calera	0	0	2	0,01	1	0
	Quillota	0	0	3	0,02	1	0
KEROSENE	Catemu	0	0	0	0,16	0	0
	Hijuelas	0	0	0	0,20	0	0
	La Calera	0	0	0	0,55	0	0
	La Cruz	0	0	0	0,25	0	0
	Llay Llay	0	0	0	0,27	0	0
	Nogales	0	0	0	0,24	0	0
	Panquehue	0	0	0	0,08	0	0
	Quillota	0	0	1	1,01	0	0
LEÑA	Catemu	15	14	3	0,10	276	129
	Hijuelas	19	18	4	0,12	352	164
	La Calera	52	50	10	0,34	966	450
	La Cruz	23	22	5	0,15	430	201
	Llay Llay	26	24	5	0,17	476	222
	Nogales	22	21	4	0,15	410	191
	Panquehue	7	7	1	0,05	134	63
	Quillota	96	91	19	0,63	1.767	824
Total		260	247	80	4,53	4.816	2.245

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de MP2.5 tienden a relacionarse con la población de cada comuna, y alcanzan las 250 toneladas para toda el área de estudio. Estas emisiones pueden tener un impacto mayor en la concentración ambiental de MP2.5, y por ende en la población, por los siguientes motivos:

- Emisiones ocurren directamente en los centros urbanos, donde se concentran los principales receptores.
- Las emisiones se concentran durante los meses fríos del año, donde existen mayor consumo por calefacción a nivel residencial.
- En los meses fríos del año existe una mayor estabilidad atmosférica y una menor altura de mezcla (ver Sección 5.3), lo cual dificulta la dispersión de los contaminantes.
- Las emisiones concentradas en los meses fríos del año en conjunto a la mala ventilación durante estos meses pueden generar episodios críticos de contaminación por MP2.5, lo cual puede generar un daño a la salud importante.

6.8.5 Resultados Fuentes Móviles

La Tabla 6-81 presenta las emisiones de fuentes móviles por comunas. Estas emisiones incluyen las fuentes fugitivas de material particulado por levantamiento de polvo en calles y desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones de M10 y MP2.5 son principalmente por el levantamiento de polvo en calles, para todas las comunas. En general, a mayor población comunal se observan mayores emisiones, dado que la población es un indicador de la actividad de fuentes móviles.

Tabla 6-81 Inventario de emisiones para fuentes móviles por comuna [ton/año]

Comuna	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV
Catemu	Bus	2,62	2,54	59,08	0,07	16,78	-
	Calles	122,32	29,59	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	0,68	0,66	25,72	0,02	5,79	-
	Camión Pesado	5,45	5,29	151,39	0,14	30,21	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	1,86	1,00	-	-	-	-
	Maquinaria	0,54	0,52	5,24	0,00	2,05	-
	Moto	-	-	2,34	0,00	21,96	-
	Vehículos	1,08	1,06	47,29	0,09	98,07	-
Hijuelas	Bus	3,31	3,21	74,62	0,09	21,20	-
	Calles	161,65	39,11	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	1,54	1,49	58,23	0,06	13,10	-
	Camión Pesado	6,73	6,53	186,95	0,18	37,31	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	2,64	1,42	-	-	-	-
	Maquinaria	0,71	0,69	6,69	0,00	2,77	-
	Moto	-	-	3,76	0,00	35,33	-
	Vehículos	1,69	1,66	73,53	0,14	147,48	-
La Calera	Bus	4,64	4,50	104,68	0,13	29,73	-
	Calles	116,39	28,16	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	1,54	1,50	58,36	0,06	13,13	-
	Camión Pesado	2,85	2,77	79,20	0,08	15,81	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	3,50	1,88	-	-	-	-
	Maquinaria	0,43	0,42	3,55	0,00	1,91	-
	Moto	-	-	6,17	0,00	57,94	-
	Vehículos	3,68	3,60	161,80	0,31	356,18	-
La Cruz	Bus	3,63	3,52	81,88	0,10	23,26	-
	Calles	117,46	28,42	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	1,08	1,04	40,66	0,04	9,15	-
	Camión Pesado	3,73	3,61	103,44	0,10	20,64	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	3,08	1,65	-	-	-	-
	Maquinaria	0,35	0,35	3,18	0,00	1,45	-
	Moto	-	-	4,76	0,00	44,74	-
	Vehículos	3,14	3,07	135,57	0,25	259,62	-
Llay Llay	Bus	1,98	1,92	44,57	0,05	12,66	-
	Calles	57,04	13,80	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	0,71	0,69	26,69	0,03	6,00	-
	Camión Pesado	1,55	1,51	43,10	0,04	8,60	-

Comuna	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV
	Desgaste de frenos y neumáticos	1,63	0,87	-	-	-	-
	Maquinaria	0,73	0,71	7,11	0,00	2,74	-
	Moto	-	-	5,73	0,00	53,82	-
	Vehículos	1,68	1,65	73,86	0,14	161,57	-
	Bus	12,03	11,67	271,55	0,33	77,13	-
	Calles	124,78	30,19	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	0,88	0,85	33,19	0,03	7,47	-
Nogales	Camión Pesado	2,99	2,90	82,97	0,08	16,56	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	2,83	1,52	-	-	-	-
	Maquinaria	0,67	0,65	6,24	0,00	2,68	-
	Moto	-	-	3,20	0,00	30,05	-
	Vehículos	1,80	1,76	78,22	0,15	157,12	-
Panquehue	Bus	1,65	1,60	37,31	0,05	10,60	-
	Calles	118,83	28,75	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	0,45	0,44	17,15	0,02	3,86	-
	Camión Pesado	5,70	5,53	158,39	0,15	31,61	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	1,65	0,89	-	-	-	-
	Maquinaria	0,43	0,42	4,24	0,00	1,69	-
	Moto	-	-	1,84	0,00	17,33	-
	Vehículos	0,90	0,88	39,05	0,07	76,36	-
Quillota	Bus	5,97	5,79	134,74	0,16	38,27	-
	Calles	298,73	72,27	-	-	-	-
	Camión Liviano-Medio	2,80	2,71	105,66	0,10	23,77	-
	Camión Pesado	10,42	10,11	289,31	0,28	57,74	-
	Desgaste de frenos y neumáticos	7,38	3,96	-	-	-	-
	Maquinaria	1,56	1,52	14,11	0,00	6,37	-
	Moto	-	-	15,49	0,01	145,61	-
	Vehículos	7,42	7,27	324,57	0,62	686,01	-
Total		1253,51	392,09	3.296,38	4,17	2.901,23	-

Fuente: Elaboración propia

6.8.6 Resultados Otras Fuentes

La Tabla 6-82 presenta las emisiones de otras fuentes, principalmente fuentes areales y fugitivas de procesos de transferencia de material, como minería o extracción de áridos. Las principales emisiones ocurren por incendios forestales, extracción de áridos y minería.

Se observan altas emisiones de MP10, MP2.5, NOx, SO2 y CO por incendios forestales en la zona de interés. Si bien esta fuente emisora no es atribuible a un responsable directo, su contabilización se realiza para contabilizar su efecto en la concentración de MP10 y MP2.5.

Las emisiones de polvo fugitivo por transferencia de material se concentran en las zonas de extracción de áridos, y en los proyectos mineros específicos en la zona. También existen emisiones importantes de la planta de Cementos Melón, ubicada en la ciudad de La Calera

Tabla 6-82 Inventario de emisiones para otras fuentes [ton/año], principales contaminantes

Subsector	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO ₂	CO	COV
Agrícola	Aplicación de Fertilizante	-	-	86	-	-	-
	Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	321
	Preparación de terreno	11	-	-	-	-	-
	Quema Agrícola	0	0	0	0,02	2	0
		11	11	3	0,40	93	8
Construcción	Construcción edificios	4	-	-	-	-	-
Fabricación de Cemento	Cementos Melón	29	4	-	-	-	-
Incendios	Incendio Forestal	339	288	110	34,12	3.296	-
	Incendio Urbano	2	2	1	-	25	-
Ind. Productos minerales	Áridos Aconcagua	111	0	-	-	-	-
	Áridos La Sombra, Aguas abajo	20	0	-	-	-	-
	Áridos Puente las Tinajas	15	0	-	-	-	-
	Áridos Tobalongo	13	0	-	-	-	-
	Áridos Tunel la Calavera	14	0	-	-	-	-
	Cantera Ñilhue	43	7	-	-	-	-
Minería	Mina El Soldado	82	10	-	-	-	-
	Planta Catemu-Minera Amalia	4	0	-	-	-	-
	Proyecto minero UVA	24	6	-	-	-	-
Sanitario	Relleno Sanitario San Pedro	29	5	0	-	0	31
Total		751	333	200	34,54	3.416	360

Fuente: Elaboración propia

7. Modelación de la Calidad del Aire

En la presente sección se aplica un modelo de dispersión a las emisiones estimadas para determinar el impacto de estas en la calidad del aire de la zona de interés. Esto para dar cumplimiento al objetivo específico d), y para generar una propuesta de zona saturada para MP10, lo cual corresponde al objetivo e) del estudio (ver Sección 7.3).

7.1 Georreferenciación de Inventario de Emisiones

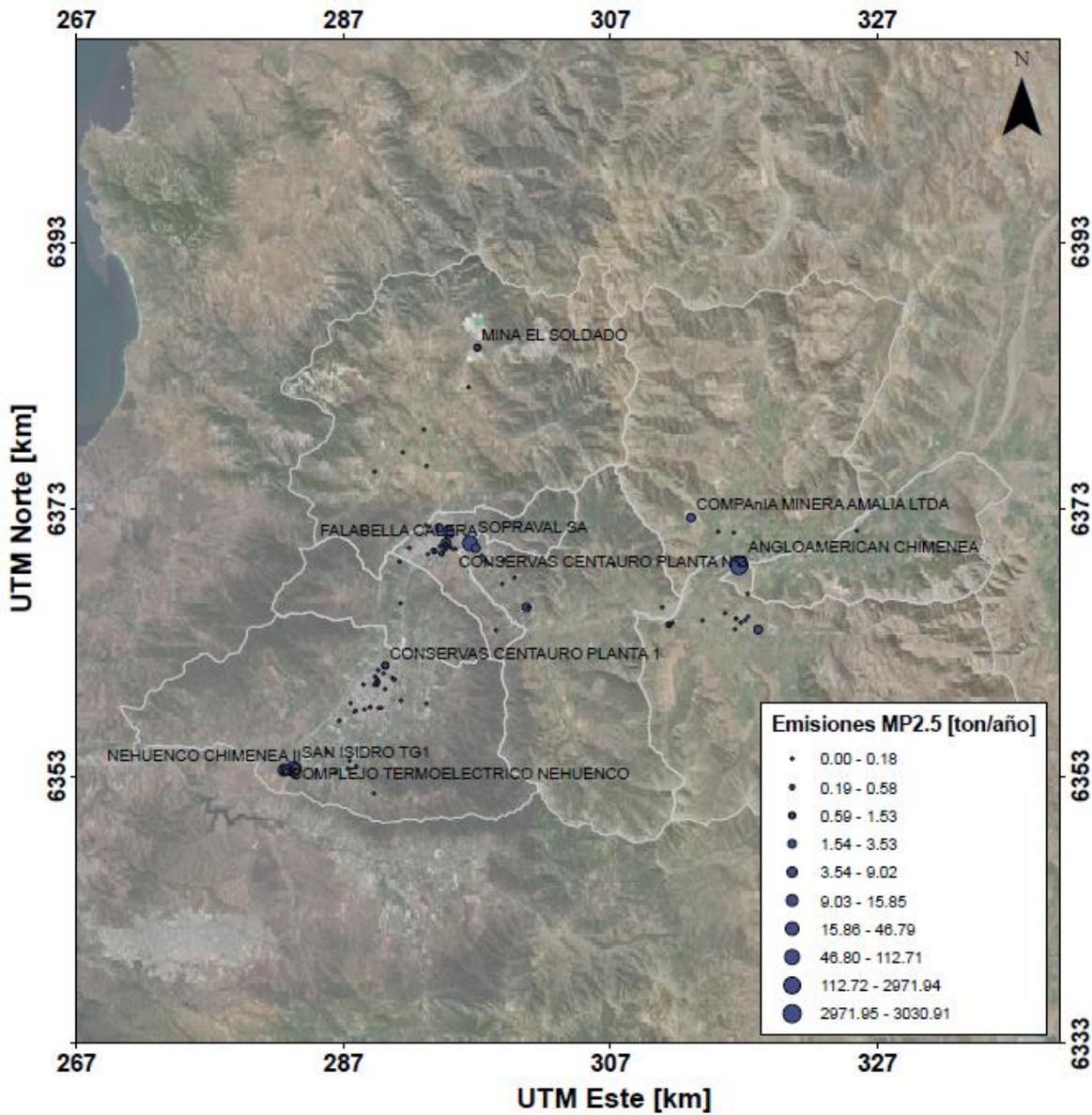
Para la modelación se utilizó el inventario de emisiones desarrollado para el año 2017 (ver Sección 6). Cada fuente emisora importante fue georreferenciada como polígono (área), línea (caminos) o punto.

El proceso de georreferenciación del inventario de emisiones permite asignar espacialmente las emisiones, las cuales son un parámetro de entrada clave para el modelo de dispersión de contaminantes. Las emisiones se dividieron en cuatro categorías para georeferenciarlas y modelarlas:

- **Fuentes puntuales DS138:** Emisiones puntuales por combustión, georreferenciadas como puntos con sus coordenadas UTM declaradas.
- **Calefacción residencial:** Emisiones por calefacción en ciudades. Asignadas al polígono de área correspondiente de cada ciudad.
- **Fuentes móviles:** Emisiones por combustión y levantamiento de polvo en calles. Son asignadas al polígono de calles, y posteriormente discretizadas en una grilla de 2km x 2km para su modelación. Se asignaron las emisiones a cada grilla según la proporción de largo de cada polígono de la línea superpuesta.
- **Otras fuentes areales:** Emisiones restantes, por procesos de grandes fuentes, fugitivas o quemas agrícolas. Son asignadas a sus polígonos de área correspondientes, y posteriormente discretizadas en una grilla de 2km x 2km para su modelación. Se asignaron las emisiones a cada grilla según la proporción de superficie de cada polígono superpuesto.

A continuación, se presentan los mapas de las emisiones georreferenciadas.

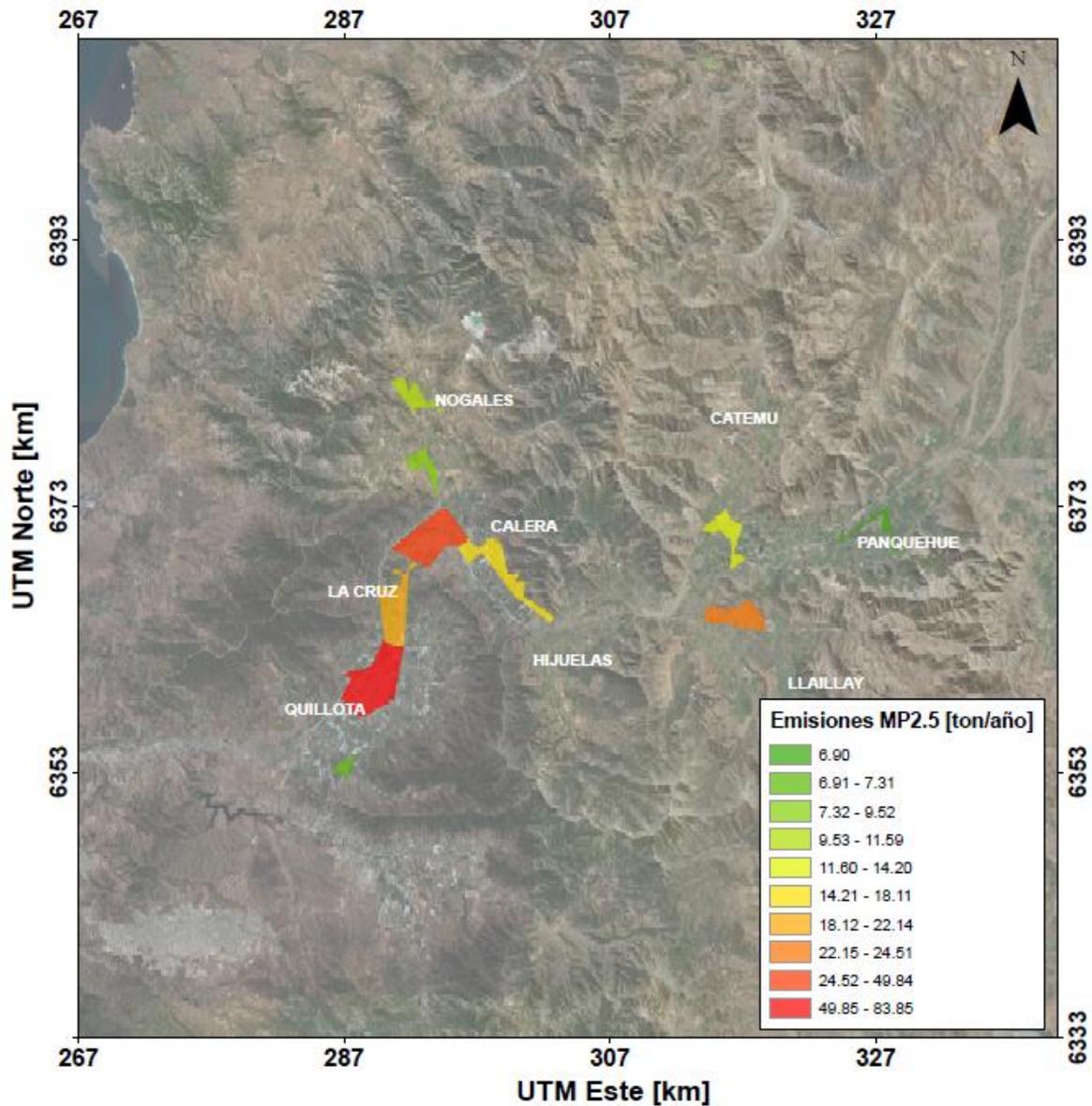
Figura 7-1 Inventario de emisiones por fuentes puntuales



Fuente: Elaboración propia

La Figura 7-1 presenta las emisiones de MP2.5 georreferenciadas de fuentes puntuales. Se observan emisiones importantes de la fundición Chagres en Catemu, de las centrales termoeléctricas al sur de Quillota, de compañías mineras al norte y de diversas fuentes en la ciudad de La Calera y Quillota.

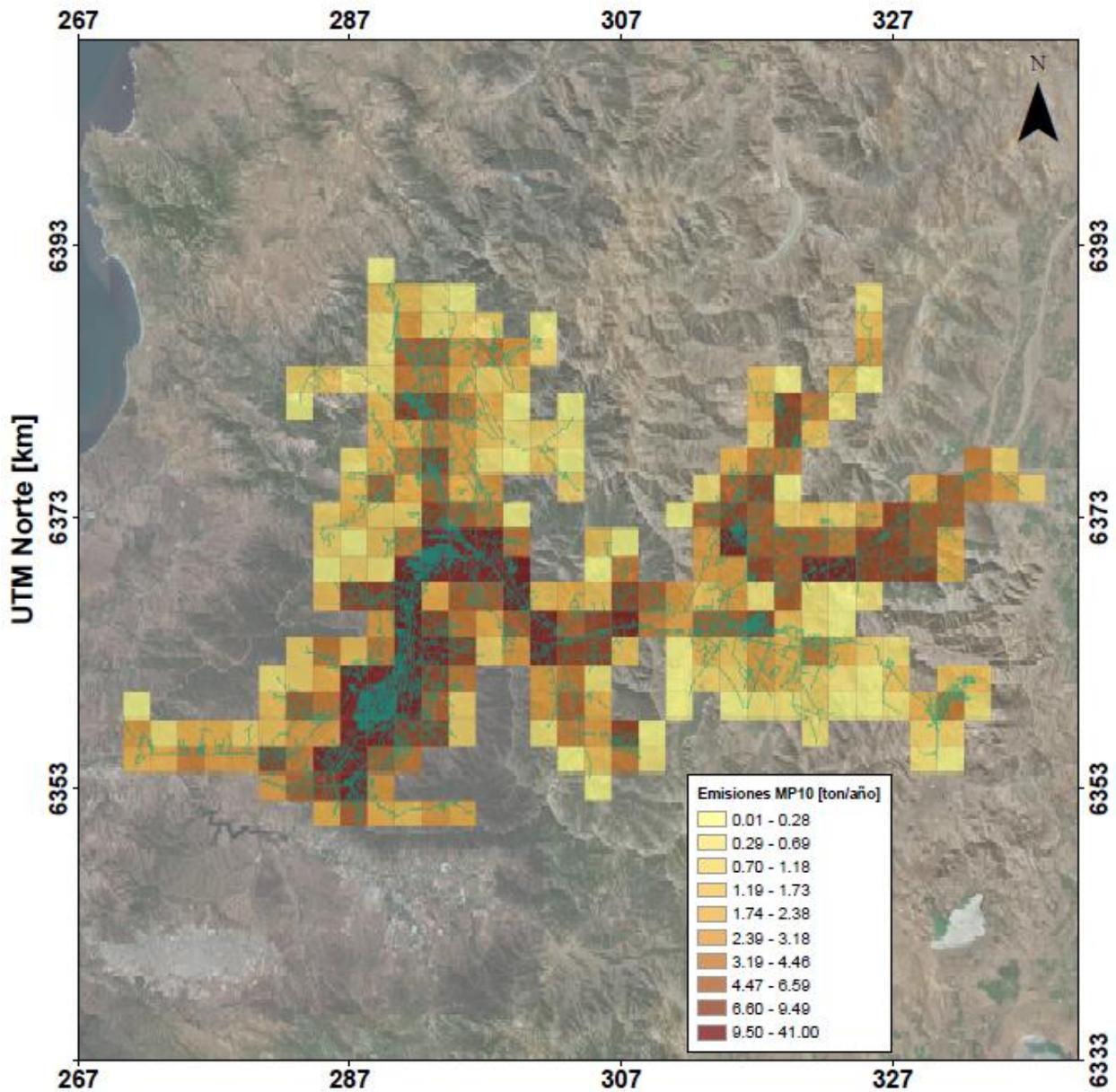
Figura 7-2 Inventario de emisiones por calefacción residencial



Fuente: Elaboración propia

La Figura 7-2 presenta las emisiones de MP2.5 por calefacción residencial. Estas fueron asignadas a los polígonos de cada ciudad. Se observa que las ciudades más grandes y con mayor población concentran las mayores emisiones de MP2.5.

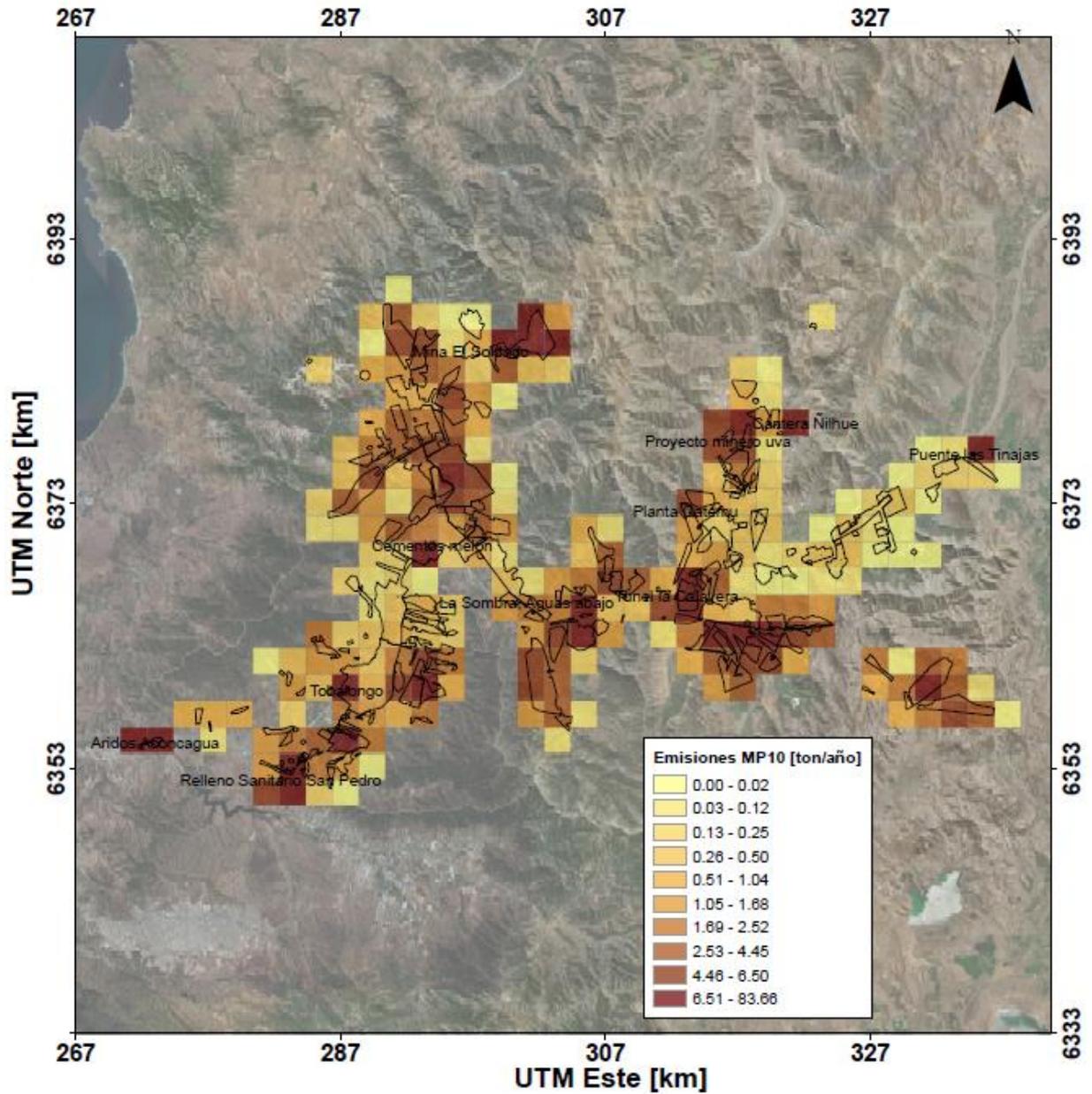
Figura 7-3 Inventario de emisiones por fuentes móviles en grillas de 2km x 2km



Fuente: Elaboración propia

La Figura 7-3 presenta las emisiones de MP10 discretizadas en grillas de las fuentes móviles. Se observa que los centros urbanos concentran las mayores emisiones, por su mayor densidad de calles y flujo vehicular.

Figura 7-4 Inventario de emisiones de otras fuentes en grillas de 2km x 2km



Fuente: Elaboración propia

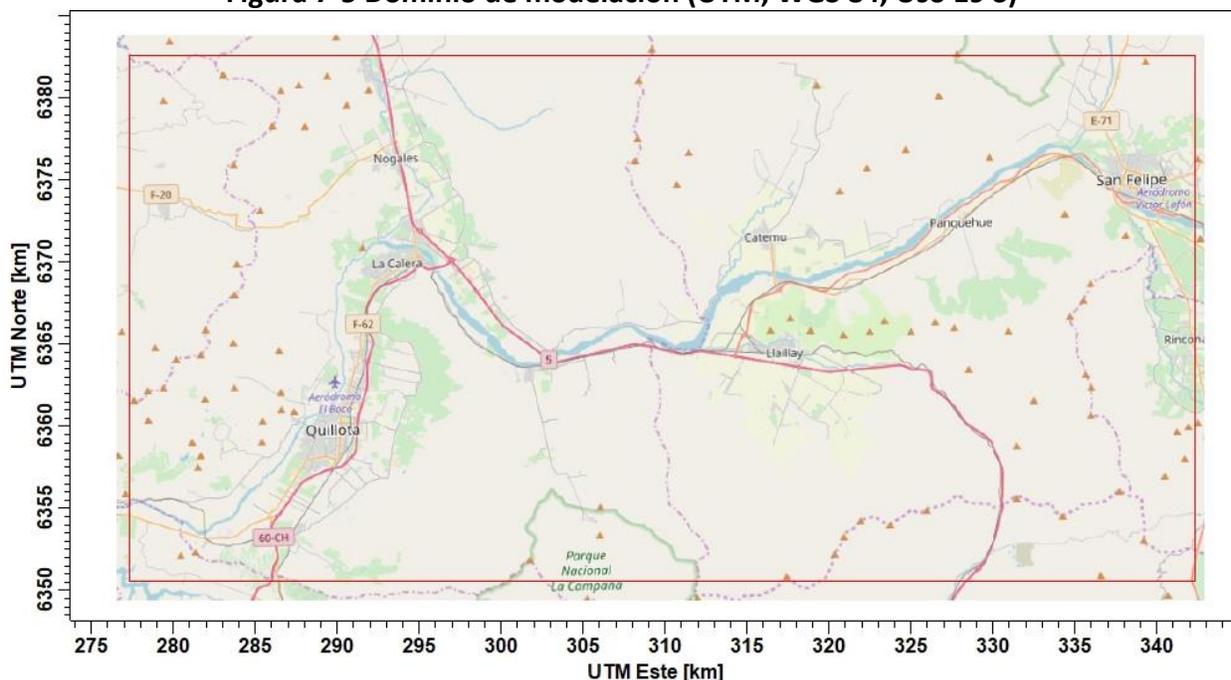
La Figura 7-4 presenta las emisiones de MP10 de otras fuentes discretizadas en grillas. Se observa que en los sectores de extracción de áridos y de proyectos mineros existen emisiones importantes de MP10, al igual que en los centros urbanos.

7.2 Modelación de calidad del aire

Para realizar la modelación de calidad del aire se empleó el modelo de dispersión CALPUFF⁸⁴, desarrollado en EEUU, particularmente para condiciones de terreno complejo, como es la característica de la zona de estudio, compuesta por varios valles contiguos, separados por cadenas de cerros. La meteorología ingresada al modelo de dispersión fue generada para todo el año 2017 mediante una simulación del modelo numérico de pronóstico WRF (*The Weather Research and Forecasting Model*, <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>), desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR, EEUU) y que se emplea para el pronóstico del tiempo en EEUU y numerosos países más, incluyendo Chile.

La siguiente figura muestra el dominio de modelación empleado para representar la dispersión de las emisiones estimadas en el capítulo anterior de este Informe. El dominio (delimitado por un rectángulo de color rojo) incluye todas las zonas pobladas (receptores sensibles) y comunas asociadas a la región de Valparaíso interior.

Figura 7-5 Dominio de modelación (UTM, WGS 84, Uso 19 S)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las modelaciones de calidad del aire se calculan para dos tipos de receptores: una grilla de receptores cartesianos igualmente espaciados y un conjunto de receptores discretos, que incluyen estaciones de monitoreo meteorológico y de calidad del aire. Con estos

⁸⁴ Disponible en: <http://www.src.com/>

resultados es posible construir mapas de aportes a la calidad del aire de las distintas fuentes emisoras incluidas en el inventario 2017.

La Tabla 7-1 muestra los receptores discretos considerados en las modelaciones para estimación de aportes a las concentraciones ambientales de MP10.

Tabla 7-1 Ubicación receptores urbanos considerados

UTM E (m)	UTM N (m)	Descripción
289.815	6.359.214	Bomberos Quillota
287.422	6.353.393	San Pedro
292.559	6.381.285	El Melón
293.634	6.375.775	Nogales
316.806	6.364.531	Llailay
328.078	6.371.507	Panquehue
298.948	6.368.751	Hijuelas
293.328	6.370.156	La Calera
291.211	6.365.067	La Cruz
315.869	6.371.747	Catemu

Fuente: Elaboración propia

7.2.1 Resultados para el MP10

En esta sección presentamos los resultados de las modelaciones para el MP10, tanto como promedio anual como percentil 98 de promedios diarios. Cabe hacer notar que no hemos considerado un aporte basal (*background*) correspondiente a las fuentes no modeladas en el inventario 2017, como es el caso del aporte eólico al MP10 por suspensión de polvo superficial, el aporte de llegada de masas de aire desde la costa (ver sección 5 con trayectorias del viento) y los aportes de fuentes regionales como es el caso del Gran Valparaíso (y en menor medida la Región Metropolitana).

7.2.1.1 Caso de las fuentes de calefacción residencial

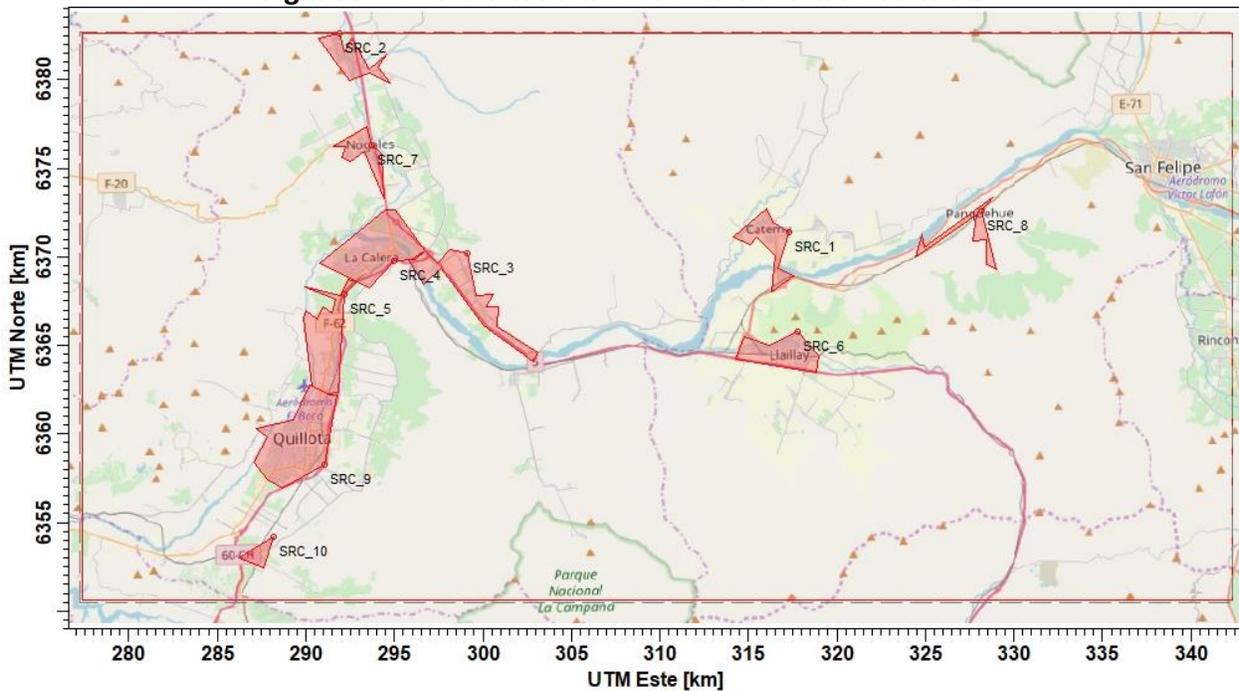
Estas fuentes solamente operan en los meses fríos, desde mayo hasta septiembre (ver Tabla 7-2). La siguiente figura muestra como aparecen esas fuentes, como fuentes de área (polígonos) que cubren las zonas urbanas dentro del dominio modelado.

Tabla 7-2 Distribución mensual de emisiones por calefacción según equipos encendidos

Mes	Equipos Encendidos	
Mayo	71.240	17,5%
Junio	100.835	24,8%
Julio	100.835	24,8%
Agosto	94.153	23,1%
Septiembre	39.702	9,8%

Fuente: CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015. Tabla 64

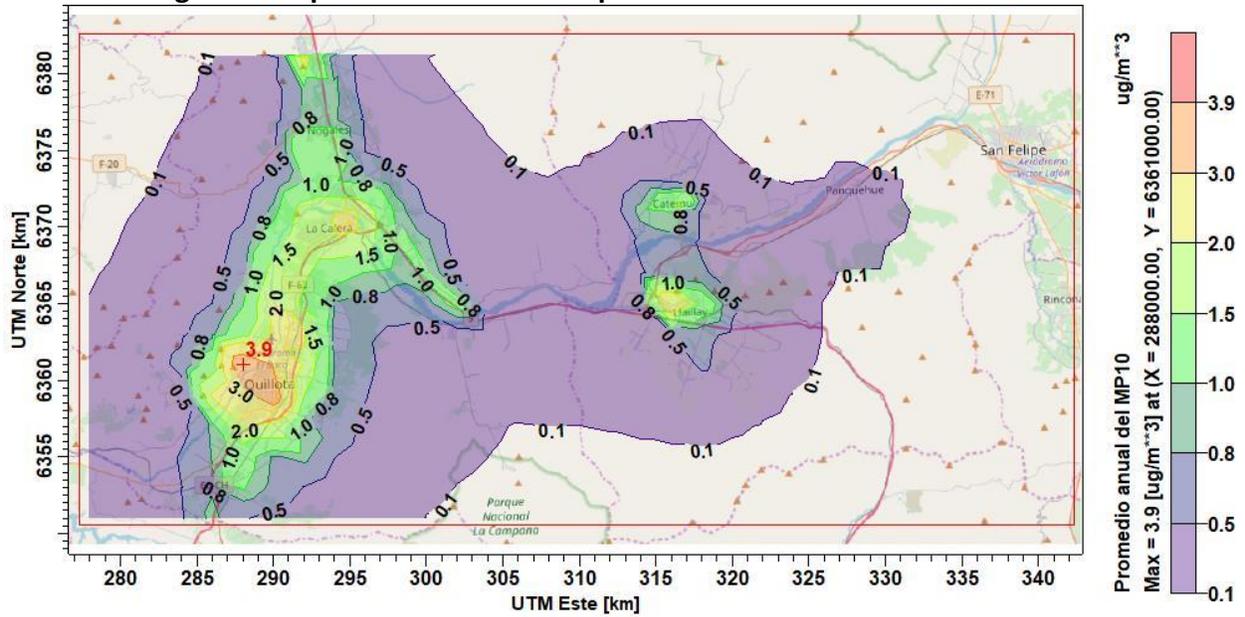
Figura 7-6 Ubicación fuentes de calefacción residencial



Fuente: Elaboración propia

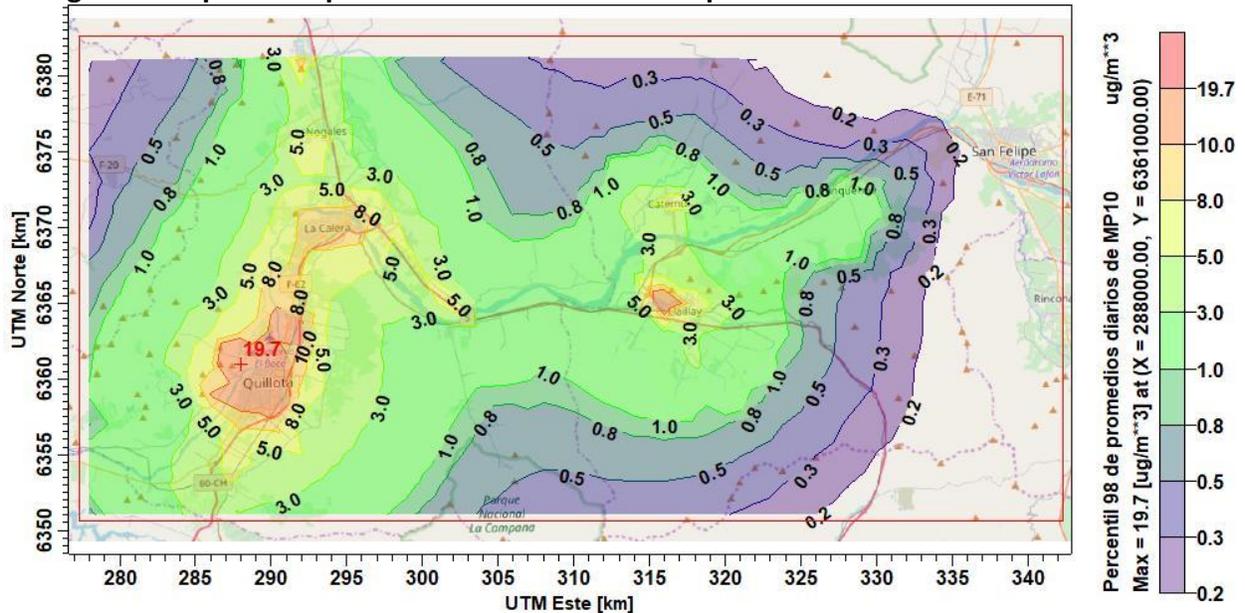
La Figura 7-7 muestra el promedio anual del MP10, asociado a esta categoría de fuentes. Se aprecia que los mayores aportes están en la zona urbana de Quillota, la más poblada de la zona modelada, con una media anual máxima de $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La Figura 7-8 muestra los resultados para el percentil 98 de promedios diarios de MP10, con un valor máximo de $19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nuevamente en la zona urbana de Quillota.

Figura 7-7 Aportes al MP10 anual por fuentes de calefacción residencial



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-8 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por fuentes de calefacción residencial



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-3 resume los aportes de este tipo de fuentes en los receptores sensibles ya presentados.

Tabla 7-3 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de fuentes de calefacción residencial

Receptor	MP10 anual (ug/m ³)	P98 MP10 24 h (ug/m ³)
Bomberos Quillota	3,57	15,1
San Pedro	1,20	5,4
El Melón	1,30	5,4
Nogales	1,29	5,6
Llaillay	1,51	7,2
Panquehue	0,28	1,5
Hijuelas	1,05	5,1
La Calera	1,87	8,2
La Cruz	1,79	8,6
Catemu	1,28	5,3

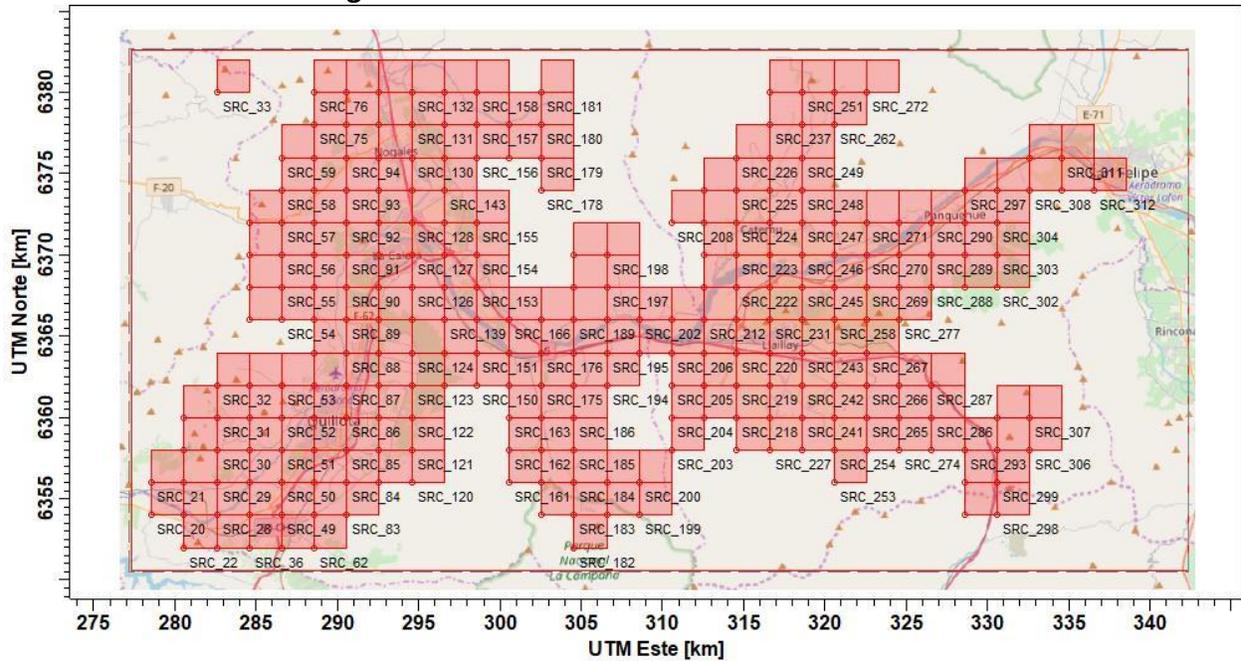
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.1.2 Caso de las fuentes móviles

La siguiente figura muestra la distribución espacial de las fuentes móviles del inventario 2017, expresadas como un conjunto de fuentes de emisión de área, de manera de poder capturar la variabilidad espacial de ellas.

Para asignar variabilidad temporal a las emisiones, se usaron los perfiles semanales de tráfico desarrollados para la comuna de Concón, dentro del marco del proyecto: “Actualización de Perfiles de Flujos del Modelo MODEM Para el Gran Santiago y Regiones”, desarrollado por DICTUC S.A. para SECTRA, año 2015.

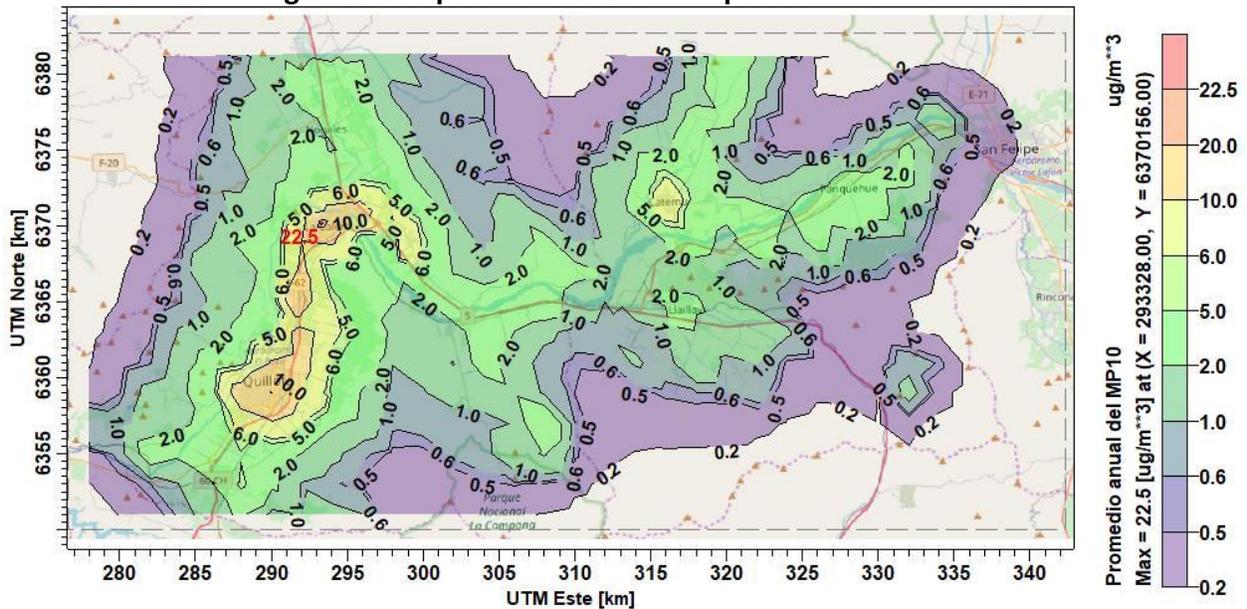
Figura 7-9 Distribución de las fuentes móviles



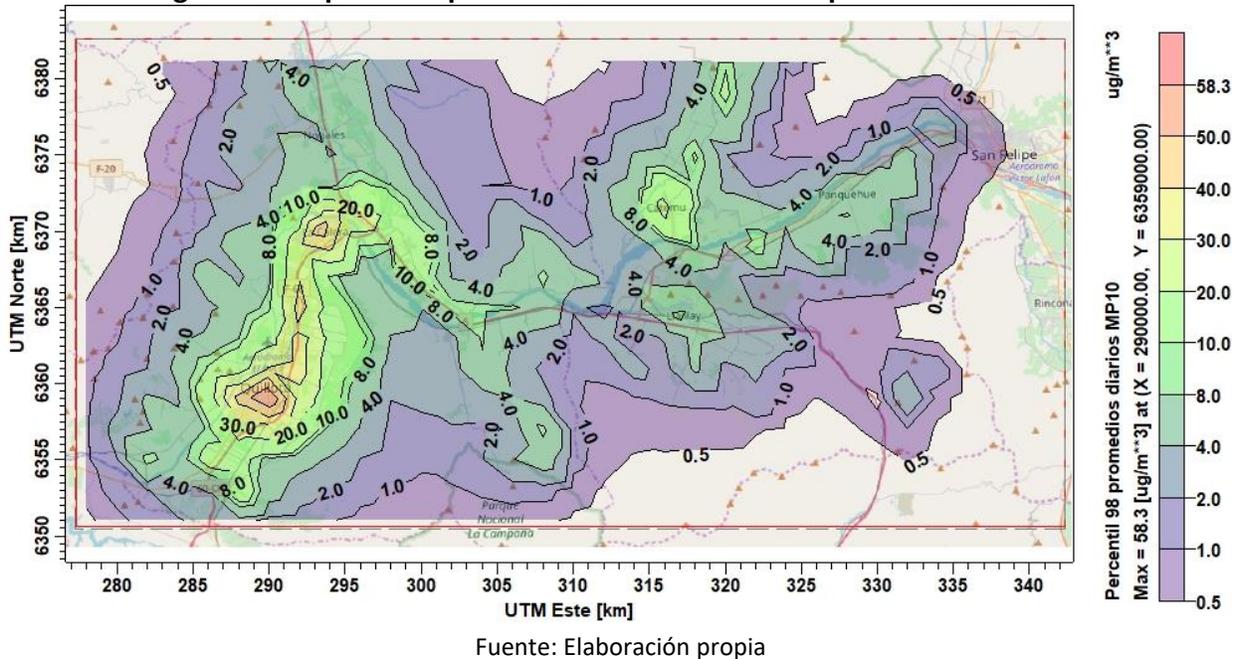
Fuente: Elaboración propia

Las siguientes figuras muestran los aportes al MP10 anual y diario (P98) asociados a fuentes móviles. El eje vial Quillota-La Calera concentra los mayores aportes, como era de esperarse dada la mayor población de esas localidades.

Figura 7-10 Aportes al MP10 anual por fuentes móviles



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-11 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por fuentes móviles


La Tabla 7-4 resume los aportes de las fuentes móviles en los receptores sensibles ya presentados. Las localidades de La Calera, La Cruz y Quillota tienen los mayores aportes, seguidas de Catemu e Hijuelas.

Tabla 7-4 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de fuentes móviles

Receptor	MP10 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 MP10 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	19,88	59,3
San Pedro	3,34	8,3
El Melón	1,81	3,8
Nogales	1,99	4,6
Llaillay	4,85	9,3
Panquehue	3,14	7,8
Hijuelas	9,79	19,0
La Calera	22,49	46,6
La Cruz	11,96	25,7
Catemu	8,29	23,5

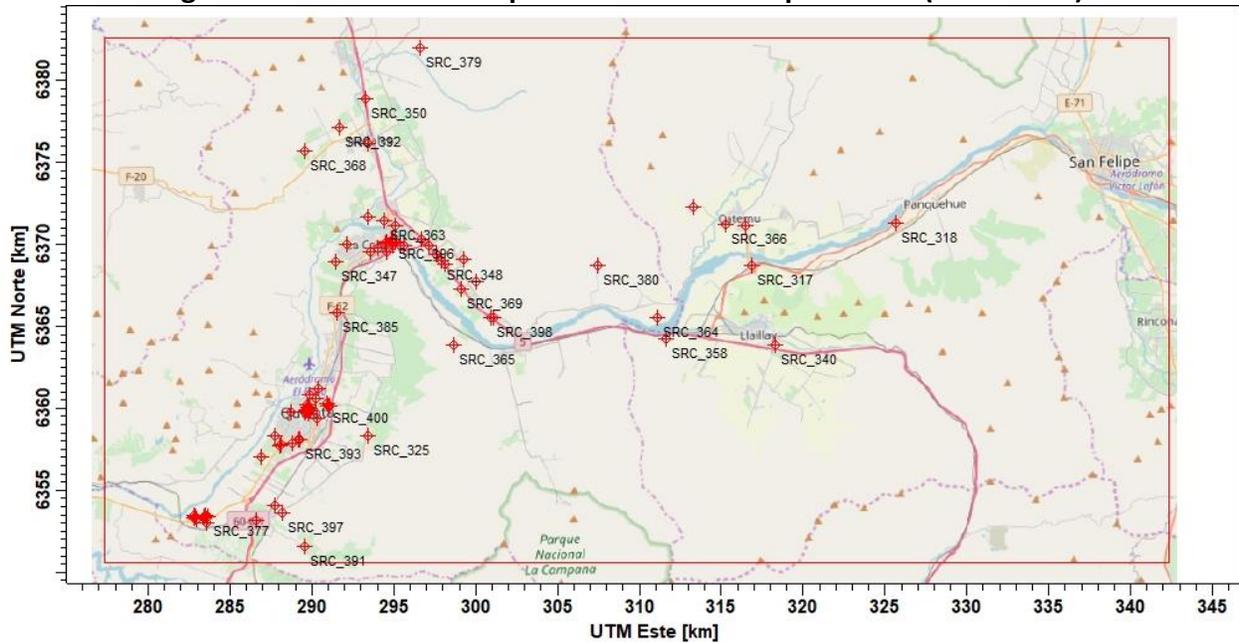
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.1.3 Aportes de las fuentes puntuales (chimeneas)

Esta categoría de fuentes corresponde a chimeneas que descargas emisiones de procesos industriales (centrales termoléctricas, fundición de cobre, etc.) y de procesos de combustión (calderas de calefacción y de procesos) principalmente. En este tipo de fuentes se asume que ellas operan 24/7, ya que las emisiones están dominadas por las mayores emisiones, que corresponden a procesos industriales.

La siguiente figura muestra cómo se ven esas fuentes distribuidas en el dominio de modelación.

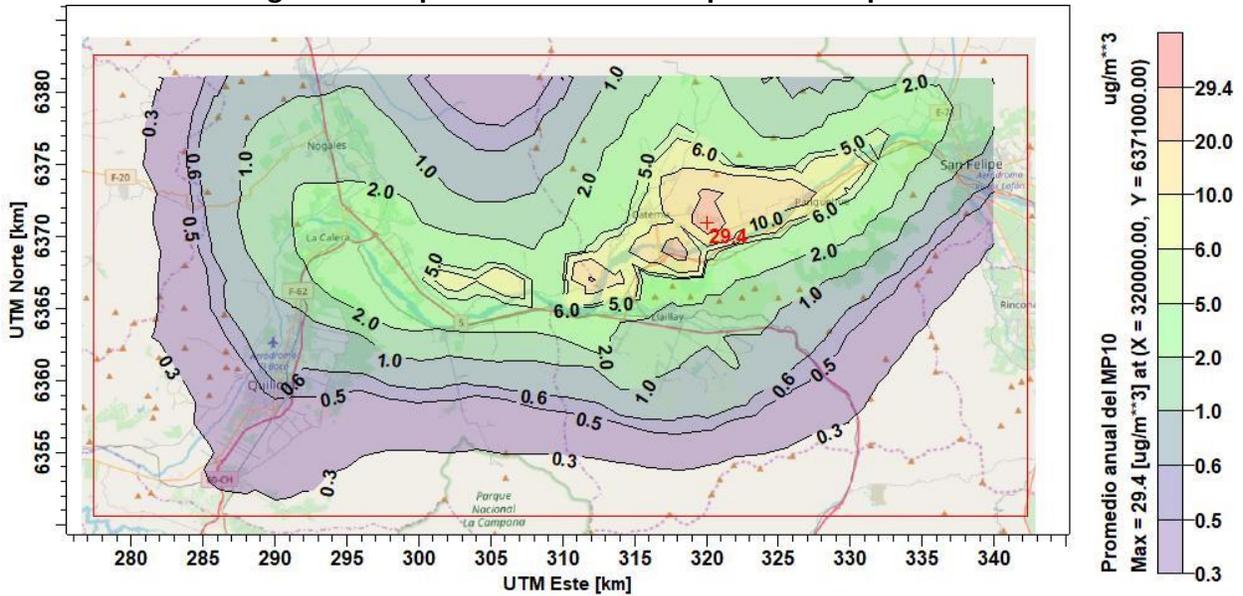
Figura 7-12 Distribución espacial de las fuentes puntuales (chimeneas)



Fuente: Elaboración propia

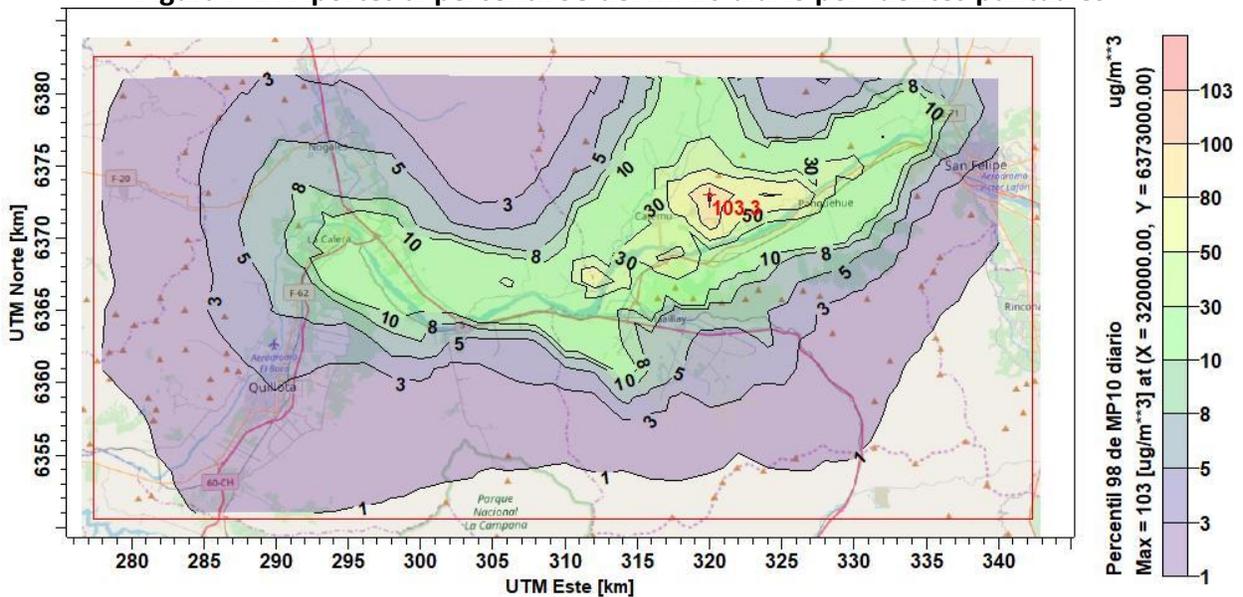
Las siguientes figuras muestran los aportes al MP10 anual y diario (P98) asociados a fuentes móviles. El sector Catemu-Chagres concentra los mayores aportes, como era de esperarse dada la distribución de las emisiones puntuales en el inventario de emisiones.

Figura 7-13 Aportes al MP10 anual por fuentes puntuales



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-14 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por fuentes puntuales



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-5 resume los aportes de las fuentes puntuales en los receptores sensibles ya presentados. La localidad de Catemu recibe los mayores aportes, seguida de Panquehue, Hijuelas y La Calera. En este último lugar los aportes provienen de Cemento Melón, mientras que en los otros sitios ellos se deben a las emisiones de la fundición de Chagres. Los menores valores en Quillota y San Pedro se explican por las menores emisiones (relativas) de las centrales de generación térmica ubicadas en Nehuenco y San Isidro.

Tabla 7-5 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de fuentes puntuales

Receptor	MP10 anual (ug/m ³)	P98 MP10 24 h (ug/m ³)
Bomberos Quillota	0,52	2,9
San Pedro	0,34	1,7
El Melón	0,81	2,8
Nogales	1,54	5,5
Llaillay	1,83	7,1
Panquehue	4,69	17,4
Hijuelas	3,83	13,7
La Calera	2,88	10,6
La Cruz	0,98	5,2
Catemu	7,00	33,3

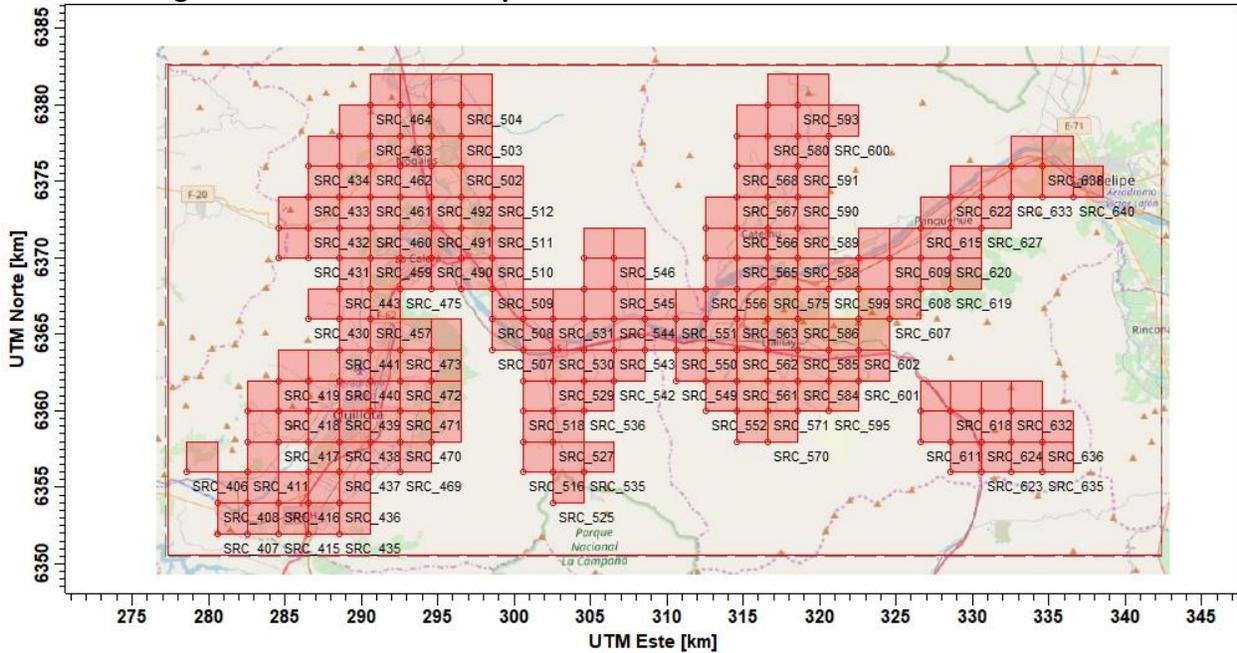
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.1.4 Aportes de otras fuentes

En esta sección presentamos el resto de las fuentes de emisión consideradas en el Inventario 2017, y que no corresponden a las categorías de fuentes ya presentadas en esta sección de resultados de modelación.

La siguiente figura muestra la distribución espacial de esas emisiones, ubicadas en un retículo de emisiones areales.

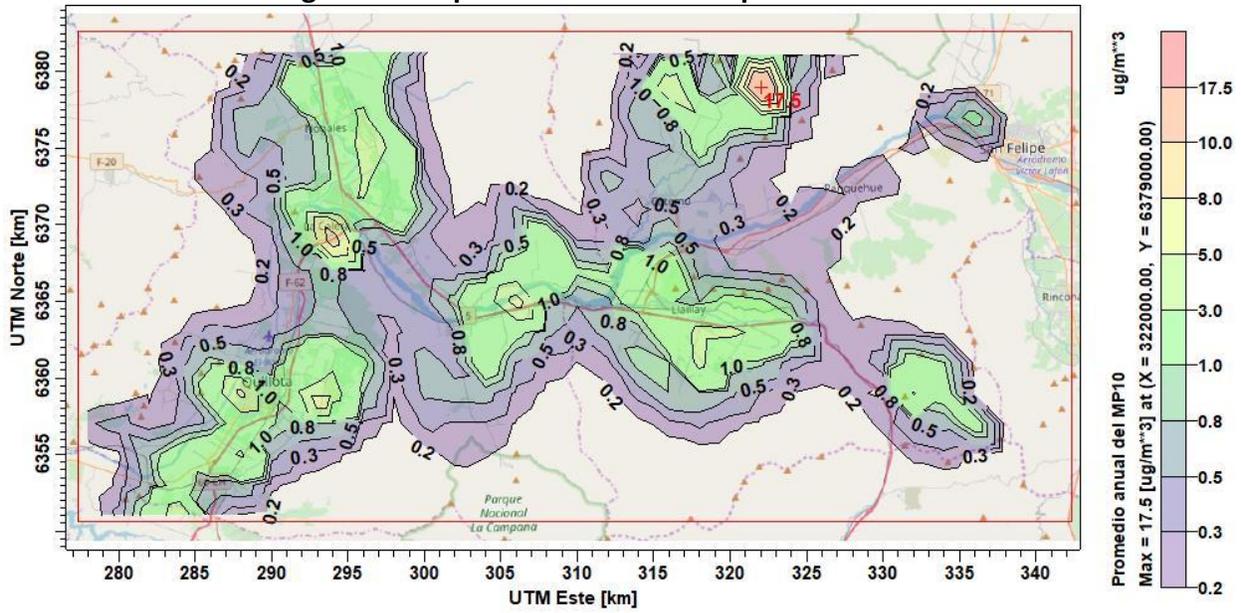
Figura 7-15 Distribución espacial de las restantes fuentes del inventario



Fuente: Elaboración propia

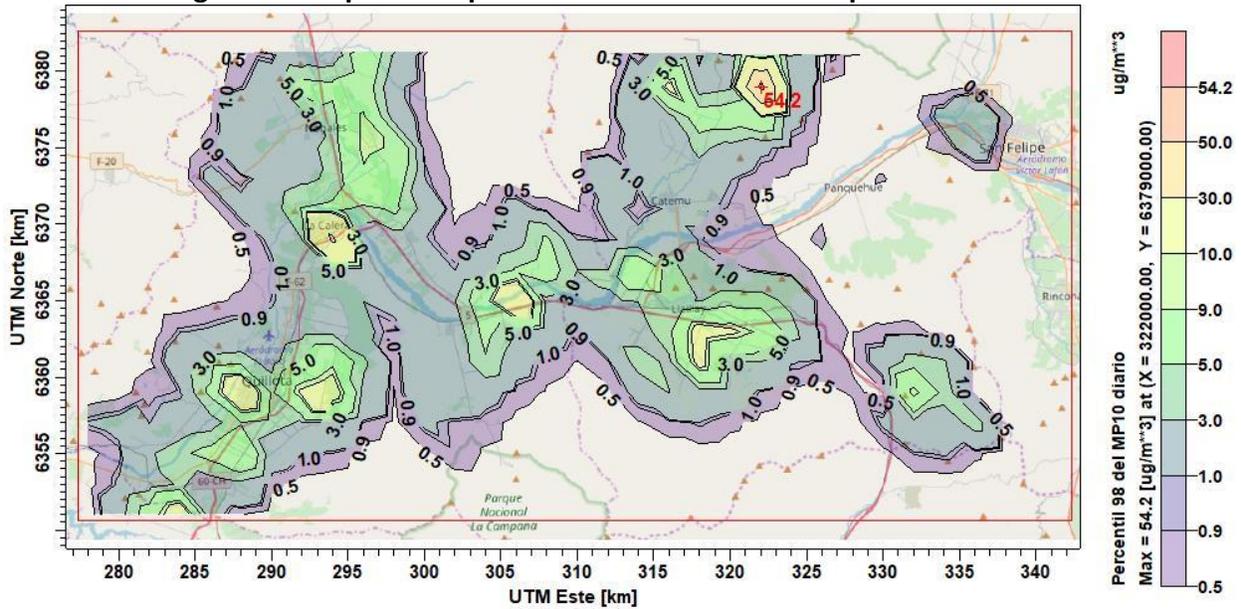
Las siguientes figuras muestran los aportes al MP10 anual y diario (P98) asociados a fuentes móviles. El sector al oeste de El Ñihue concentra los mayores aportes, como era de esperarse dada la presencia de una fuente de área relevante. Los aportes que siguen en magnitud corresponden a las localidades de La Calera, Quillota y al este de Quillota (sector de La Palma).

Figura 7-16 Aportes al MP10 anual por otras fuentes



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-17 Aportes al percentil 98 del MP10 diario por otras fuentes



Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla resume los aportes de otras fuentes en los receptores sensibles ya presentados. La localidad de La Calera es la que recibe los mayores aportes de esas fuentes; no aparece el caso de El Ñihue por tratarse de una zona rural.

Tabla 7-6 Aportes al MP10 en receptores urbanos, caso de otras fuentes

Receptor	MP10 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 MP10 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	1,02	4,2
San Pedro	0,85	3,5
El Melón	0,36	1,0
Nogales	1,01	3,1
Llaillay	1,27	4,6
Panquehue	0,18	0,4
Hijuelas	0,46	1,4
La Calera	7,46	24,5
La Cruz	0,44	1,4
Catemu	0,55	1,5

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.1.5 Resumen de resultados para el MP10

A continuación, presentamos un resumen de los resultados de las modelaciones de calidad del aire para las cuatro categorías de fuentes de emisión que contempla el inventario 2017. Estos resultados permiten determinar los aportes, absolutos y porcentuales, de las fuentes emisoras a la concentración de MP10, tal como se solicita en el objetivo específico d) del estudio.

La Tabla 7-7 presenta los valores del promedio anual de MP10 en diez receptores poblados definidos anteriormente. Se espera que el total de las emisiones modeladas no supere los valores observados, ya que siempre hay fuentes naturales que aportan a las concentraciones ambientales, más las fuentes a mayores distancias viento arriba que no son modeladas (caso del Gran Valparaíso, por ejemplo). En todos los valores de MP10 que se muestran se han agregado los aportes secundarios al MP10 primario, es decir, se trata del total del MP10 estimado por el modelo de dispersión.

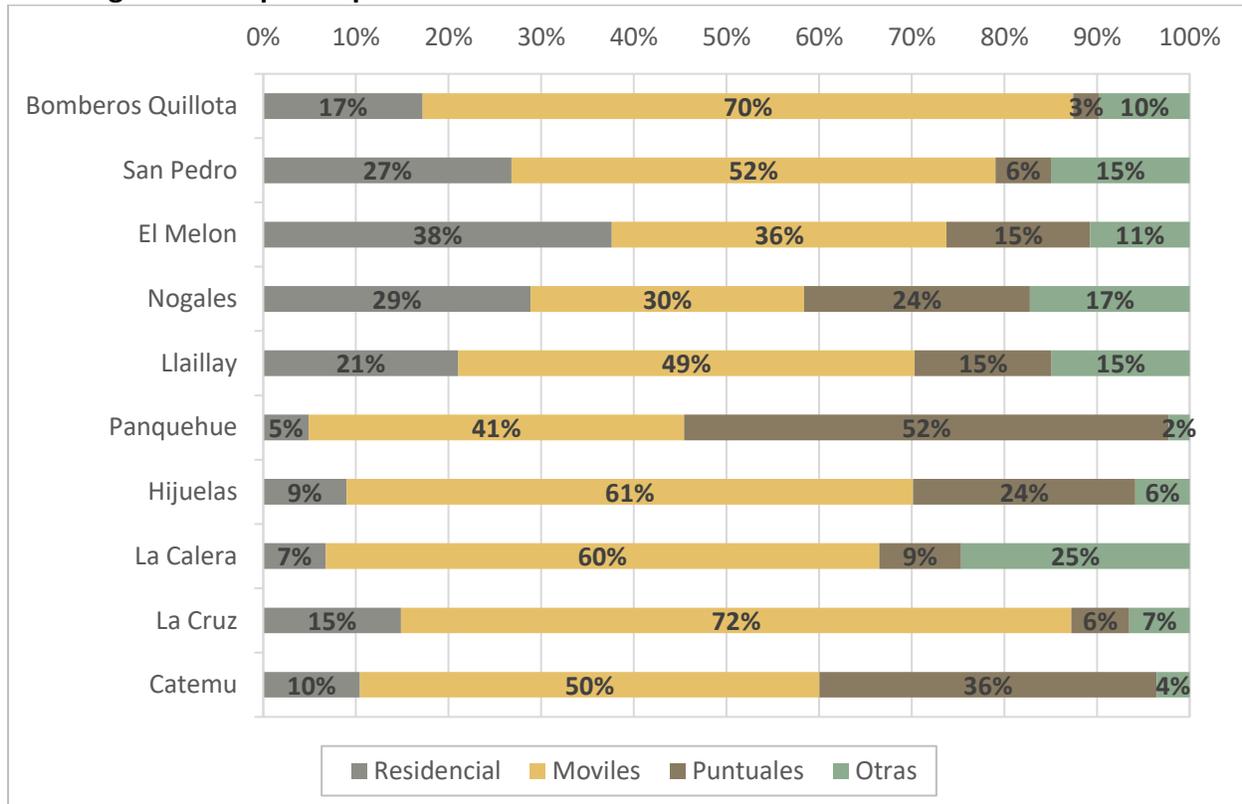
Se aprecia que en dos zonas urbanas (La Calera y Quillota), el modelo predice unos $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menos que lo observado, lo que se podría explicar con un valor basal de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en dichas zonas. Sin embargo, en otras localidades más pequeñas como San Pedro, La Cruz y Catemu, los valores modelados son muy inferiores a los observados, lo que sugiere que las emisiones locales o cercanas a esas localidades estarían siendo subestimadas.

Tabla 7-7 Aportes a la concentración de MP10 anual

↓Receptor/Aportes→	Residencial (µg/m ³)	Móviles (µg/m ³)	Puntuales (µg/m ³)	Otras (µg/m ³)	Total modelo (µg/m ³)	Observado (µg/m ³)
Bomberos Quillota	3,57	19,88	0,52	1,02	25,03	37,4
San Pedro	1,20	3,34	0,34	0,85	5,75	33,2
El Melón	1,30	1,81	0,81	0,36	4,29	-
Nogales	1,29	1,99	1,54	1,01	5,85	-
Llaillay	1,51	4,85	1,83	1,27	9,46	-
Panquehue	0,28	3,14	4,69	0,18	8,30	-
Hijuelas	1,05	9,79	3,83	0,46	15,15	-
La Calera	1,87	22,49	2,88	7,46	34,72	48
La Cruz	1,79	11,96	0,98	0,44	15,21	34,5
Catemu	1,28	8,29	7,00	0,55	17,13	65

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

La Figura 7-18 muestra los aportes porcentuales a la concentración de MP10 para cada receptor. Se observa que el principal aporte corresponde a las fuentes móviles, por combustión y polvo de calles. Las comunas con mayor cercanía a fuentes puntuales importantes, como Catemu y Panquehue a la fundición Chagres, tienen un mayor aporte de estas fuentes.

Figura 7-18 Aportes porcentuales de fuentes emisoras a la concentración de MP10


Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-8 muestra la comparación entre lo modelado para el percentil 98 de los promedios diarios del MP10 y los valores observados. Nuevamente se aprecia que el modelo se desempeña razonablemente bien para las zonas de La Calera y Quillota, con estimaciones similares a las observaciones. Sin embargo, para otras zonas con menor población, las estimaciones son bastante menores a las observaciones.

Tabla 7-8 Comparación de la modelación y la medición del percentil 98 del MP10 diario

↓Receptor/Aportes→	Residencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Móviles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Puntuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Otras ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Total Modelo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	15,1	59,3	2,9	4,2	72,3	73,3
San Pedro	5,4	8,3	1,7	3,5	16,3	63,2
El Melón	5,4	3,8	2,8	1,0	12,0	-
Nogales	5,6	4,6	5,5	3,1	17,0	-
Llailay	7,2	9,3	7,1	4,6	23,2	-
Panquehue	1,5	7,8	17,4	0,4	21,7	-
Hijuelas	5,1	19,0	13,7	1,4	34,8	-
La Calera	8,2	46,6	10,6	24,5	76,1	89
La Cruz	8,6	25,7	5,2	1,4	34,6	65,7
Catemu	5,3	23,5	33,3	1,5	41,0	132

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

Lo que se puede concluir es que los inventarios de emisiones están entregando estimaciones para la zona de Quillota – La Calera que al modelarse son consistentes con las observaciones si se asume un nivel basal de MP10 de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, para otras zonas con menor población, las estimaciones aparentemente estarían subestimadas (o bien faltan algunas fuentes en el inventario).

En el caso de Quillota, un estudio hecho en 1999-2000⁸⁵ estimó un aporte anual de aerosol marino de $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se puede asumir que se mantiene a la fecha (porque es una fuente natural) y que es aplicable también a La Calera dada la cercanía entre ambas localidades. Ese aporte explica en parte por qué el modelo predice menos MP10 que lo observado en esas dos localidades.

En ese mismo estudio se estimó un aporte anual del tráfico (fuentes móviles) en Quillota de $17,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un poco menor a los valores estimados en Quillota y La Calera por la modelación, que ascienden a $19,9$ y $22,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Esta similitud de resultados indica que el inventario de emisiones de fuentes móviles no tiene sesgos significativos, ya que se esperaría un mayor crecimiento de las emisiones de MP10 debido al aumento del parque de vehículos motorizados (se duplicó entre 2000 y 2015, según cifras del INE) y a que las emisiones de MP10 están dominadas por suspensión de polvo de calles, las que dependen de los km recorridos.

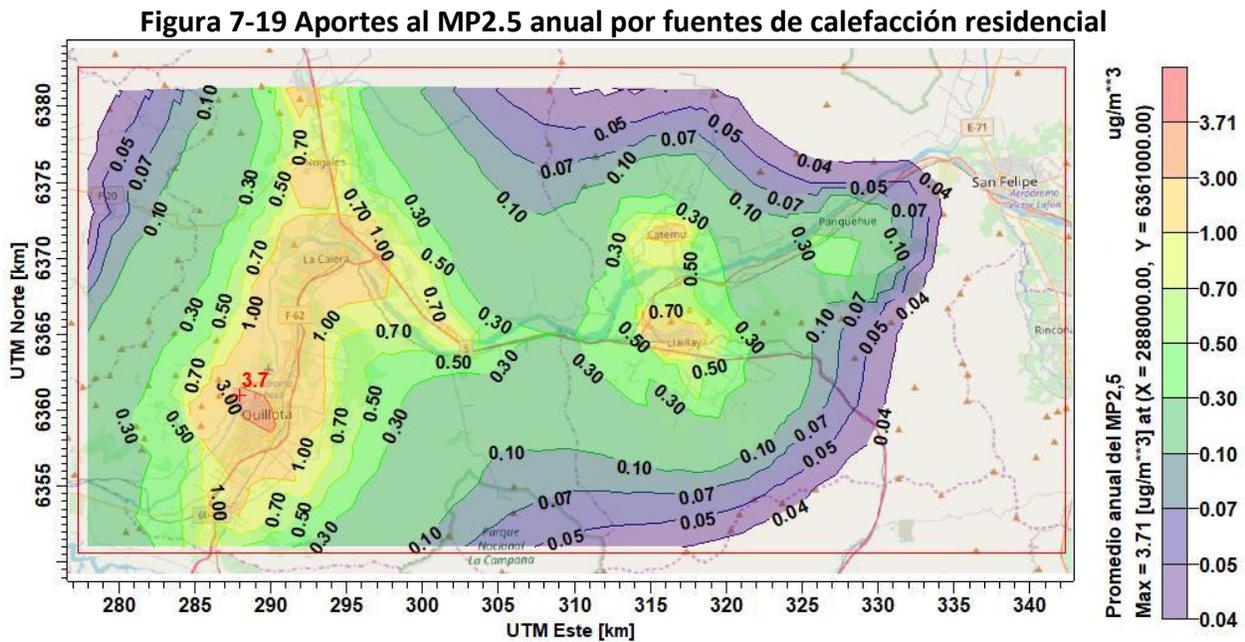
⁸⁵ Fuente: Hedberg, E., Gidhagen, L., & Johansson, C. (2005). Source contributions to PM10 and arsenic concentrations in Central Chile using positive matrix factorization. *Atmospheric Environment*, 39(3), 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.11.001>

7.2.2 Resultados para el MP2.5

En esta sección presentamos los resultados de las modelaciones para el MP2.5, tanto como promedio anual como percentil 98 de promedios diarios. Cabe hacer notar que no hemos considerado un aporte basal (*background*) correspondiente a las fuentes no modeladas en el inventario 2017, como es el caso de fuentes regionales como el Gran Valparaíso (y en menor medida la Región Metropolitana), las que pueden transportar MP2.5 antropogénico a largas distancias de las fuentes emisoras. Al contrario que en el caso del MP10, el aporte natural al MP2.5 es bajo, lo que permite comparar mejor lo observado con lo modelado. En todos los resultados presentados aquí, se trata del total del MP2.5 entregado por el modelo (primario más aportes secundarios).

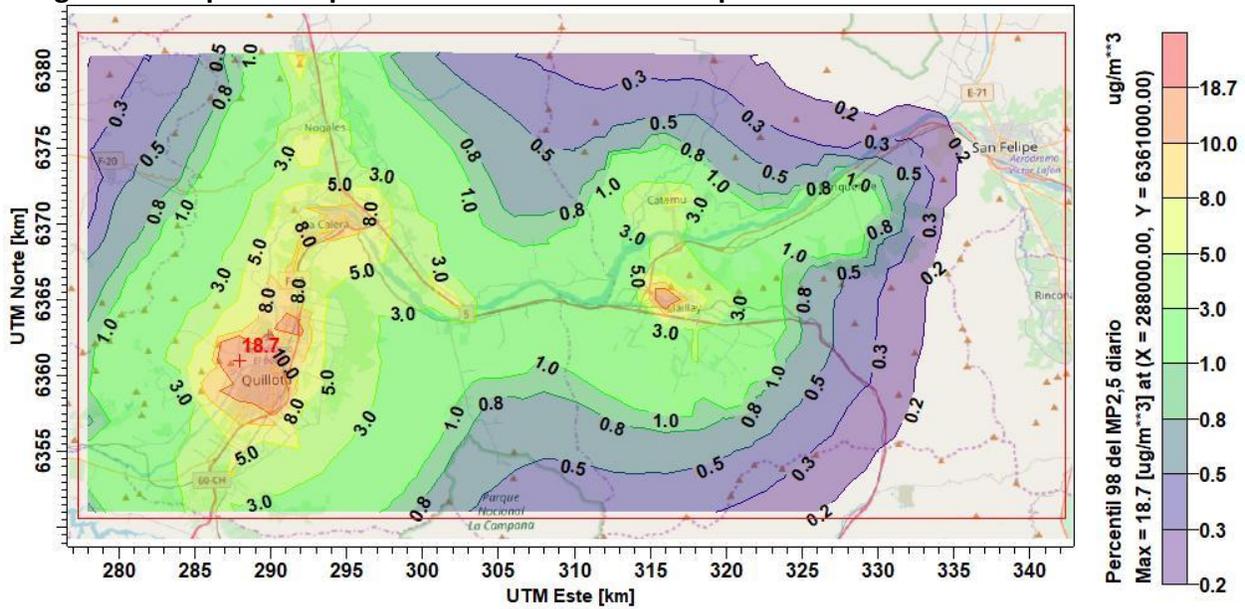
7.2.2.1 Caso de las fuentes de calefacción residencial

La Figura 7-19 muestra el promedio anual del MP10, asociado a esta categoría de fuentes. Se aprecia que los mayores aportes están en la zona de Quillota, la más poblada de la zona modelada, con una media anual máxima de 3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La Figura 7-20 muestra los resultados para el percentil 98 de promedios diarios de MP2.5, con un valor máximo de 18,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nuevamente en la zona de Quillota.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-20 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por fuentes de calefacción residencial



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-9 resume los aportes de este tipo de fuentes en los receptores sensibles ya presentados. Los mayores aportes se estiman para aquellas zonas más pobladas.

Tabla 7-9 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de fuentes de calefacción residencial

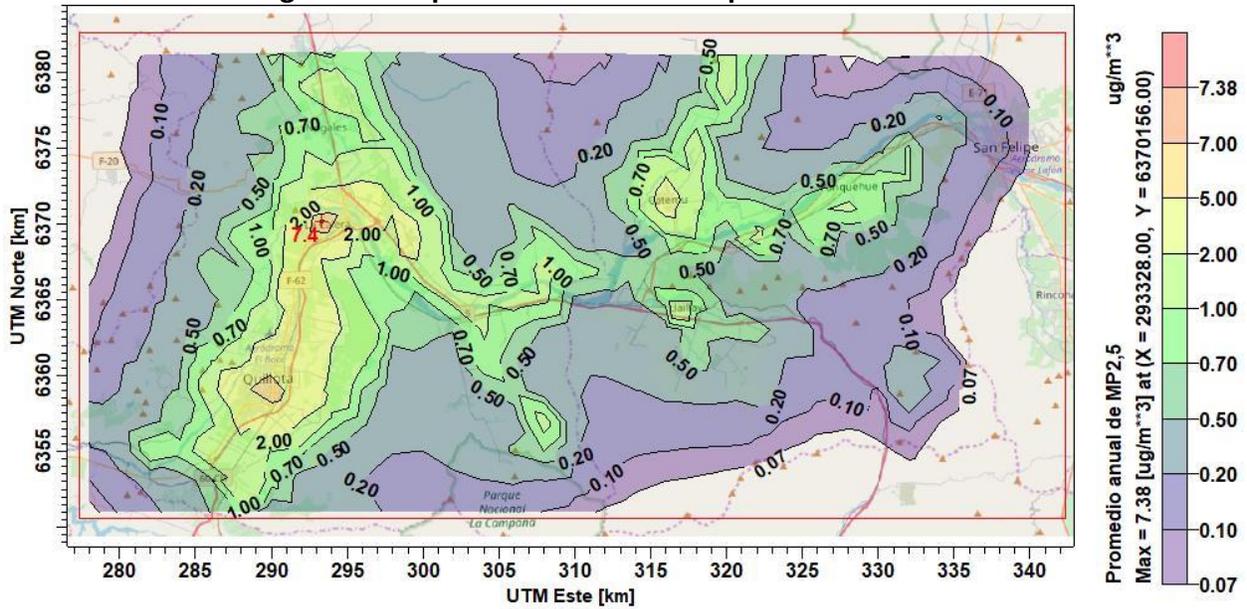
Receptor	MP2,5 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 MP2,5 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	3,39	14,4
San Pedro	1,14	5,1
El Melón	1,24	5,2
Nogales	1,23	5,3
Llaillay	1,43	6,8
Panquehue	0,26	1,4
Hijuelas	1,00	4,8
La Calera	1,77	7,8
La Cruz	1,70	8,1
Catemu	1,22	5,0

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.2.2 Caso de las fuentes móviles

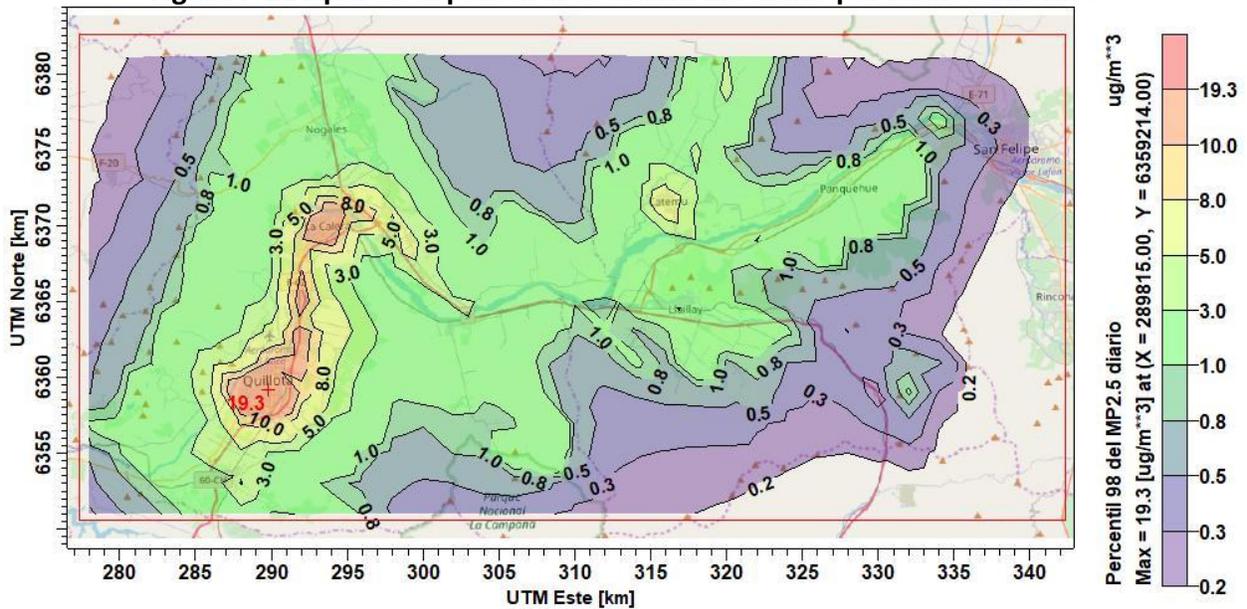
Las siguientes figuras muestran los aportes al MP2.5 anual y diario (P98) asociados a fuentes móviles. El eje vial Quillota-La Calera concentra los mayores aportes, como era de esperarse dada la mayor población de esas localidades. La Calera presenta el mayor valor anual y Quillota el mayor valor diario (percentil 98).

Figura 7-21 Aportes al MP2.5 anual por fuentes móviles



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-22 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por fuentes móviles



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-10 resume los aportes de las fuentes móviles en los receptores sensibles ya presentados. Las localidades de La Calera, La Cruz y Quillota tienen los mayores aportes, seguidas de Catemu e Hijuelas.

Tabla 7-10 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de fuentes móviles

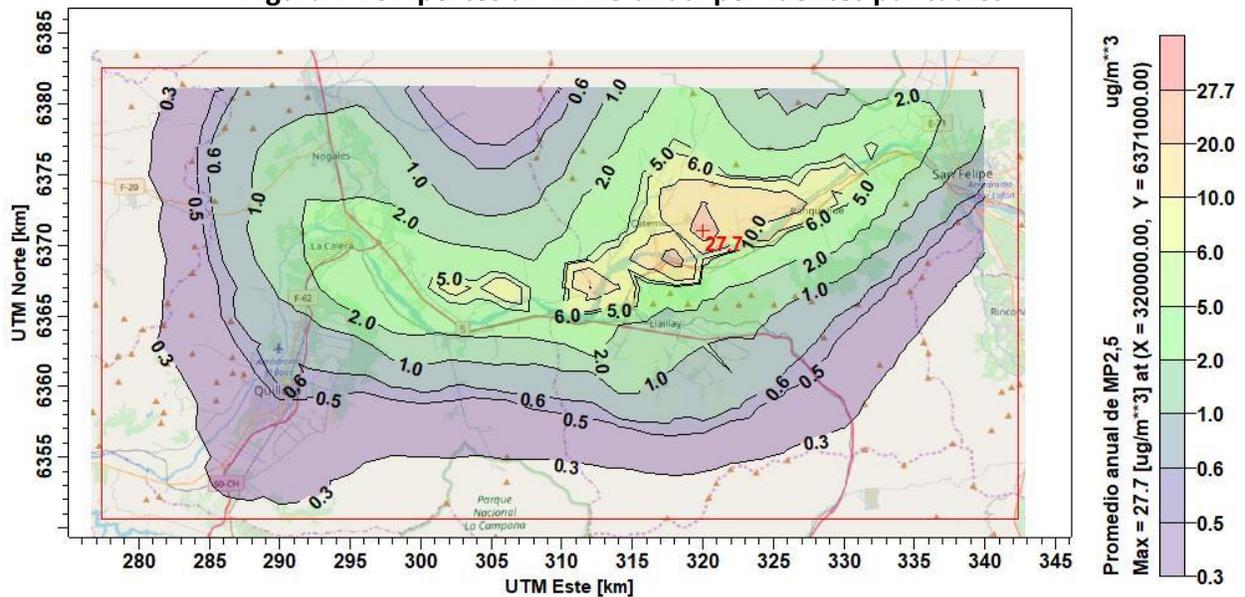
Receptor	MP2,5 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 MP2,5 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	6,35	19,3
San Pedro	1,12	2,9
El Melón	0,69	1,5
Nogales	0,79	1,9
Llailay	1,61	3,1
Panquehue	0,99	2,5
Hijuelas	3,13	6,2
La Calera	7,38	15,4
La Cruz	3,91	8,4
Catemu	2,58	7,3

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

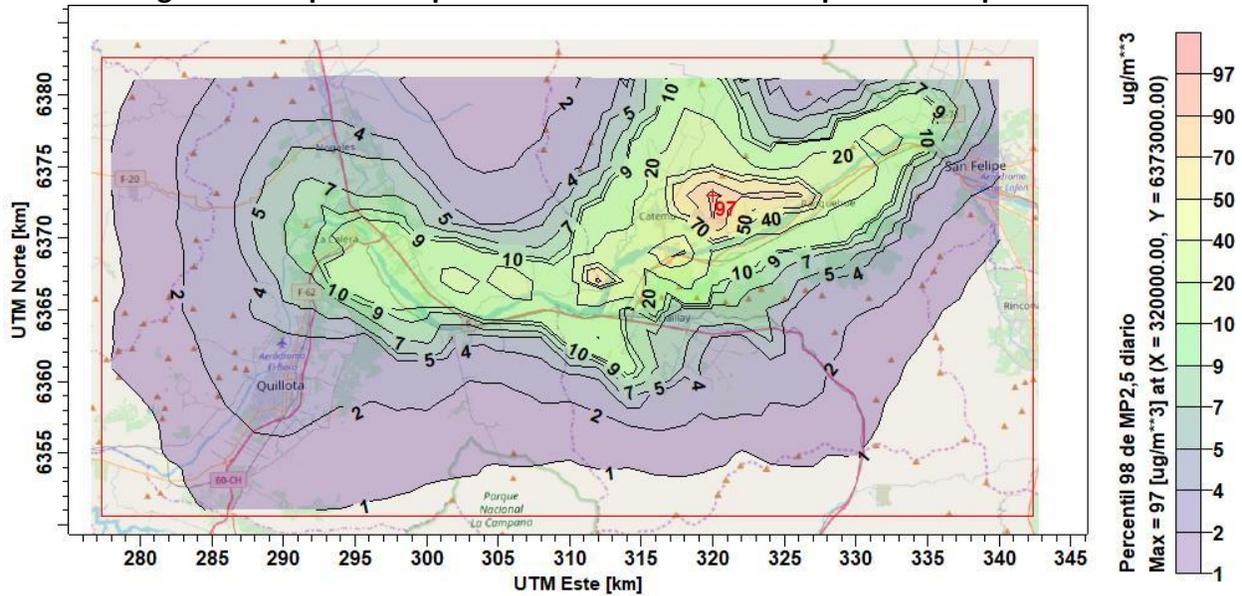
7.2.2.3 Aportes de las fuentes puntuales (chimeneas)

Las siguientes figuras muestran los aportes al MP2.5 anual y diario (P. 98) asociados a fuentes puntuales. El sector Catemu-Chagres concentra los mayores aportes, como era de esperarse dada la distribución de las emisiones puntuales en el inventario de emisiones.

Figura 7-23 Aportes al MP2.5 anual por fuentes puntuales



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-24 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por fuentes puntuales


Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-11 resume los aportes de las fuentes puntuales en los receptores sensibles ya presentados. La localidad de Catemu recibe los mayores aportes, seguida de Panquehue, Hijuelas y La Calera. En este último lugar los aportes provienen principalmente de Cemento Melón, mientras que en los otros sitios ellos se deben a las emisiones de la fundición de Chagres. Los menores valores en Quillota y San Pedro se explican por las menores emisiones (relativas) de las centrales de generación térmica ubicadas en Nehuenco y San Isidro.

Tabla 7-11 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de fuentes puntuales

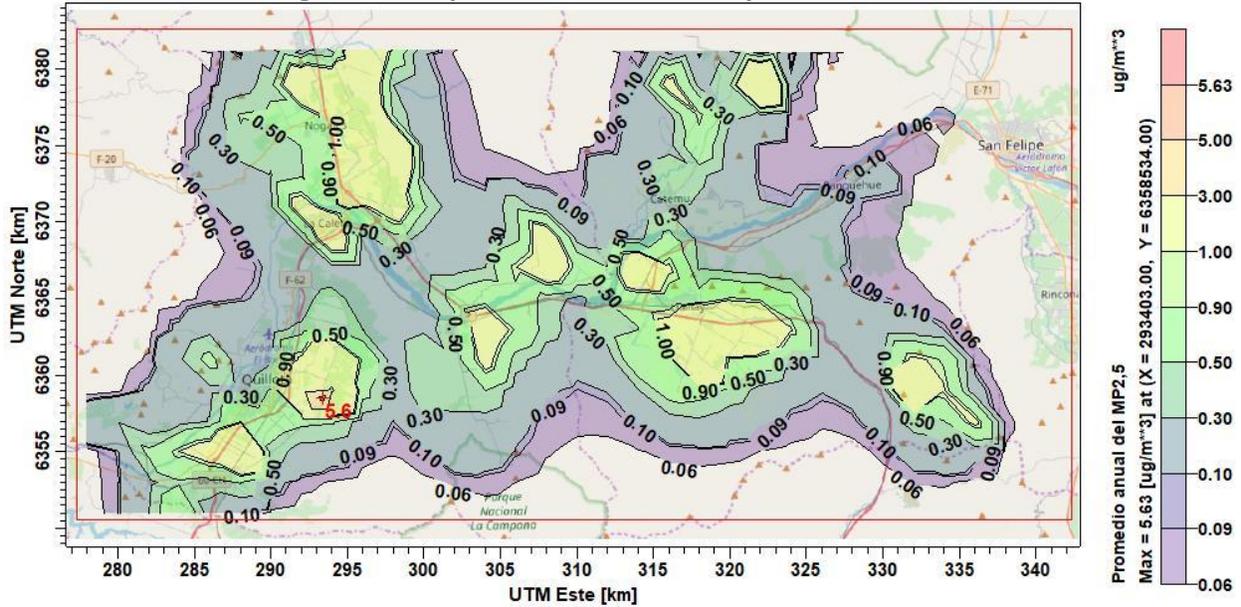
Receptor	MP2,5 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 MP2,5 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	0,50	2,8
San Pedro	0,33	1,7
El Melón	0,76	2,6
Nogales	1,45	5,2
Llailay	1,74	6,7
Panquehue	4,43	16,4
Hijuelas	3,55	12,6
La Calera	2,70	9,9
La Cruz	0,93	5,0
Catemu	6,60	31,3

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.2.4 Aportes de otras fuentes

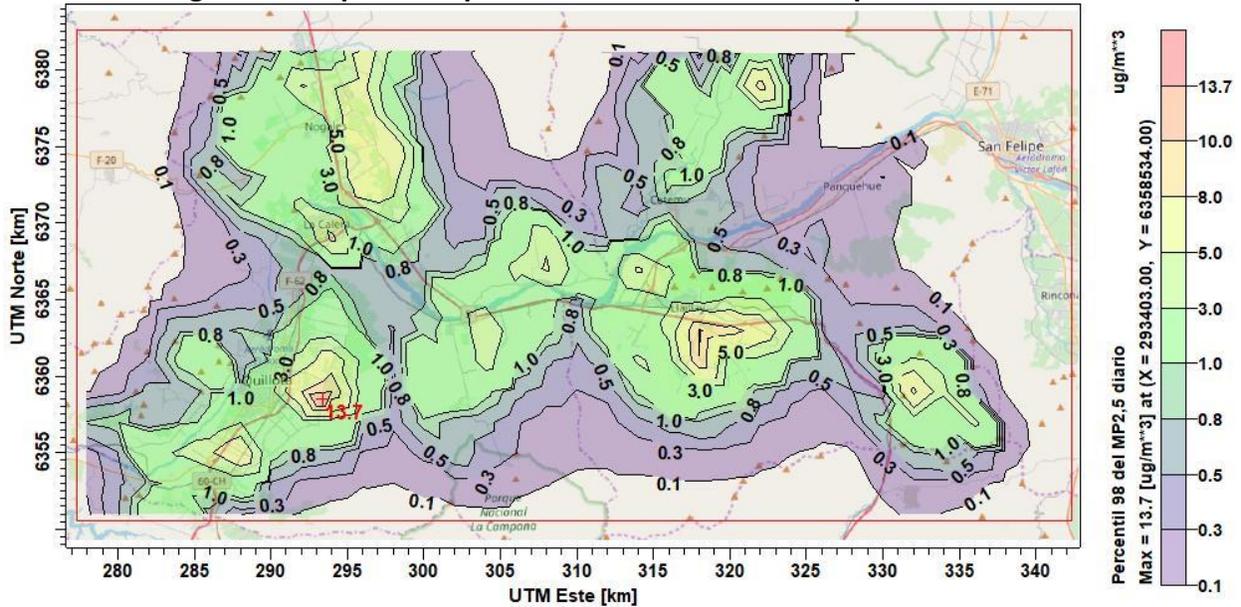
Las siguientes figuras muestran los aportes al MP2.5 anual y diario (P98) asociados a otras fuentes del inventario. El sector al este de Quillota (sector de La Palma) concentra los mayores aportes al promedio anual y al percentil 98 de promedios diarios.

Figura 7-25 Aportes al MP2.5 anual por otras fuentes



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-26 Aportes al percentil 98 del MP2.5 diario por otras fuentes



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-12 resume los aportes de las restantes fuentes en los receptores sensibles ya presentados. La localidad de La Calera es la que recibe los mayores aportes de esas fuentes; no aparece el caso de La Palma por tratarse de una zona rural.

Tabla 7-12 Aportes al MP2.5 en receptores urbanos, caso de otras fuentes

Receptor	MP2,5 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P98 MP2,5 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	0,42	1,8
San Pedro	0,63	2,7
El Melón	0,28	0,8
Nogales	0,81	2,5
Llaillay	0,98	3,6
Panquehue	0,10	0,2
Hijuelas	0,30	0,9
La Calera	1,55	4,5
La Cruz	0,22	0,7
Catemu	0,36	1,0

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

7.2.2.5 Resumen de resultados para el MP2.5

A continuación, presentamos un resumen de los resultados de las modelaciones de calidad del aire para las cuatro categorías de fuentes de emisión que contempla el inventario 2017. No se dispone de observaciones en la zona de estudio. Estos resultados permiten determinar los aportes, absolutos y porcentuales, de las fuentes emisoras a la concentración de MP2.5, tal como se solicita en el objetivo específico d) del estudio.

La Tabla 7-13 presenta los valores del promedio anual de MP2.5 en diez receptores poblados definidos anteriormente. Se aprecia que en las zonas urbanas más pobladas (Catemu, La Calera y Quillota), el modelo predice mayores concentraciones totales (incluyendo aportes secundarios), entre 10 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En las localidades más pequeñas, los valores modelados son menores a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

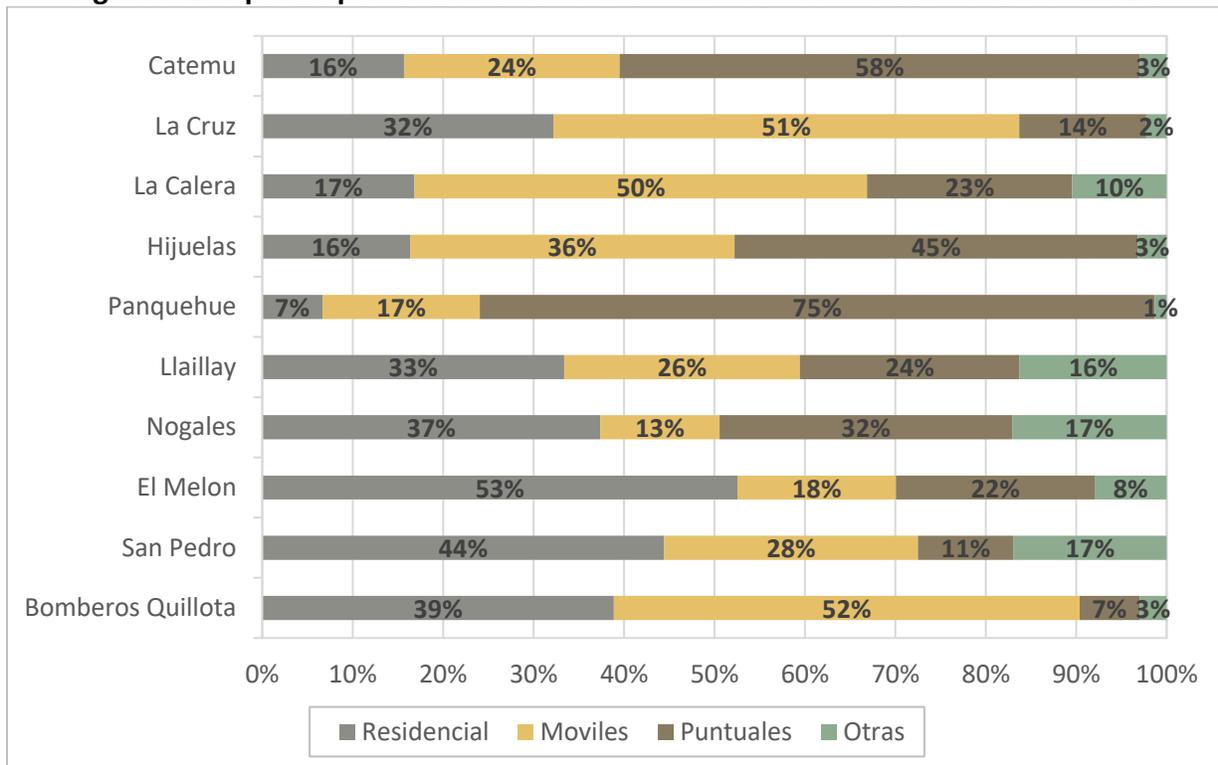
Tabla 7-13 Aportes a la concentración de MP2.5 anual

↓Receptor/Aportes→	Residencial (µg/m³)	Móviles (µg/m³)	Puntuales (µg/m³)	Otras (µg/m³)	Total (µg/m³)
Bomberos Quillota	3,39	6,35	0,50	0,42	10,70
San Pedro	1,14	1,12	0,33	0,63	3,25
El Melón	1,24	0,69	0,76	0,28	2,98
Nogales	1,23	0,79	1,45	0,81	4,30
Llailay	1,43	1,61	1,74	0,98	5,77
Panquehue	0,26	0,99	4,43	0,10	5,79
Hijuelas	1,00	3,13	3,55	0,30	7,99
La Calera	1,77	7,38	2,70	1,55	13,43
La Cruz	1,70	3,91	0,93	0,22	6,80
Catemu	1,22	2,58	6,60	0,36	10,77

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

La Figura 7-27 muestra los aportes porcentuales a la concentración de MP2.5 para cada receptor. Los principales aportes varían según el receptor, siendo la emisión por calefacción residencial importante en receptores con centros urbanos grandes. Para algunos receptores las fuentes puntuales son considerables en el aporte de MP2.5, como es el caso de Hijuelas, Catemu y Panquehue.

Figura 7-27 Aportes porcentuales de fuentes emisoras a la concentración de MP2.5



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7-14 muestra los resultados modelados para el percentil 98 de los promedios diarios del MP2.5. Nuevamente se aprecia que los mayores valores modelados corresponden a las zonas de Catemu, La Calera y Quillota, con valores entre 30 y 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En La Cruz e Hijuelas los valores son levemente superiores a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En las localidades más pequeñas, los valores modelados están entre 10 y 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 7-14 Resultados de la modelación para el percentil 98 del MP2.5 diario

↓Receptor/Aportes→	Residencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Móviles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Puntuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Otras ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Total ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bomberos Quillota	14,4	19,3	2,8	1,8	32,7
San Pedro	5,1	2,9	1,7	2,7	10,1
El Melón	5,2	1,5	2,6	0,8	9,4
Nogales	5,3	1,9	5,2	2,5	13,3
Llailay	6,8	3,1	6,7	3,6	17,5
Panquehue	1,4	2,5	16,4	0,2	17,5
Hijuelas	4,8	6,2	12,6	0,9	20,9
La Calera	7,8	15,4	9,9	4,5	32,3
La Cruz	8,1	8,4	5,0	0,7	19,5
Catemu	5,0	7,3	31,3	1,0	33,9

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión

En ambos promedios, las modelaciones indican que no se estarían excediendo las normas de calidad del aire para MP2.5. Estos resultados son preliminares puesto que no hay mediciones para confirmar estos resultados.

7.3 Propuesta Zona Saturada

Los resultados de la Sección 7.2.1 permiten generar una distribución espacial de la concentración anual del MP10 en la zona de estudio y poder determinar una zona saturada de MP10⁸⁶. Para estos fines, se agregó un valor basal de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a los resultados de las modelaciones de las cuatro categorías de fuentes: calefacción residencial, móviles, puntuales y otras.

La siguiente figura muestra cómo queda la distribución espacial de las concentraciones anuales de MP10. La zona modelada con las mayores concentraciones corresponde a La Calera, seguida por Quillota. La modelación no representa adecuadamente las altas concentraciones de MP10 en la zona de Catemu.

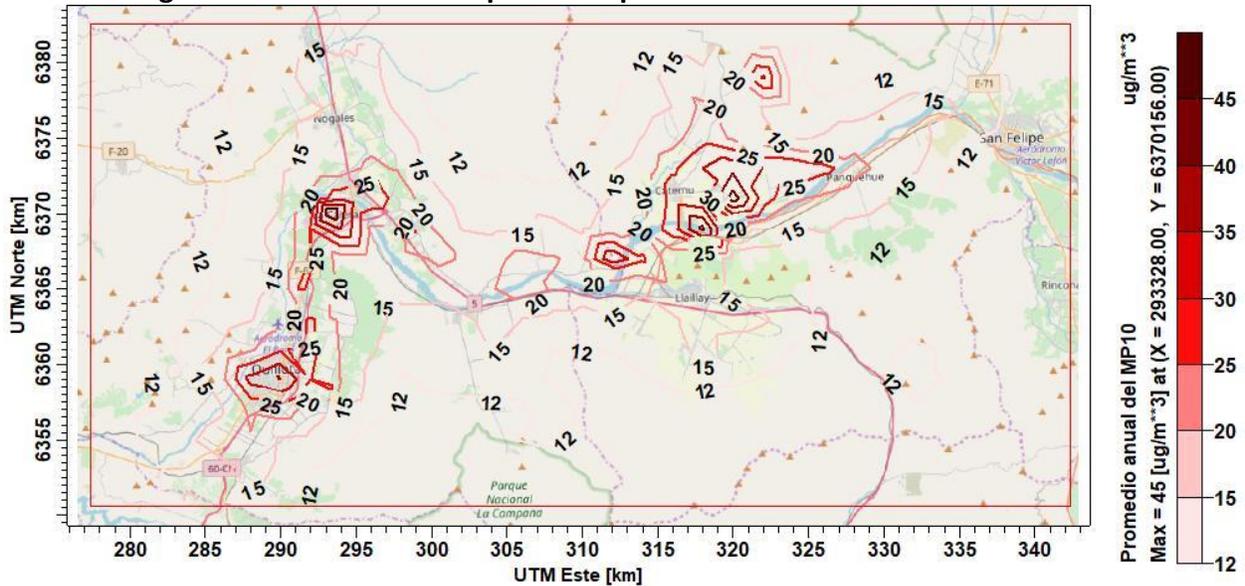
Para poder proponer una zona saturada, vamos a considerar que:

- a. La zona de Quillota-La Calera está en condiciones de latencia; en el caso de La Calera, recibe aportes desde la zona de Quillota, por lo que ambas zonas deberían estar sometidas a mayores controles de emisiones.

⁸⁶ Para dar cumplimiento al objetivo específico e) del presente estudio.

- b. La zona de Catemu – Chagres y hacia el este presenta valores modelados relativamente altos, aunque menores a los observados. Debido a los altos valores observados, esta zona debería ser parte también de la zona saturada.
- c. Hay trayectorias del viento que muestran que la zona de Catemu recibe masas de aire desde la zona de Quillota – La Calera, por lo que ambos sectores están conectados y deberían ser regulados en forma conjunta, para asegurarse que las concentraciones de MP10 efectivamente disminuyan en Catemu por causa de una regulación a todo el conjunto de fuentes emisoras.
- d. Las trayectorias del viento también indican que tanto Catemu como Quillota-La Calera reciben masas de aire provenientes desde todas las direcciones del viento. Esto indica que es necesario también regular fuentes en una extensión alrededor de esas zonas urbanas.

Figura 7-28 Distribución espacial del promedio anual del MP10 modelado.



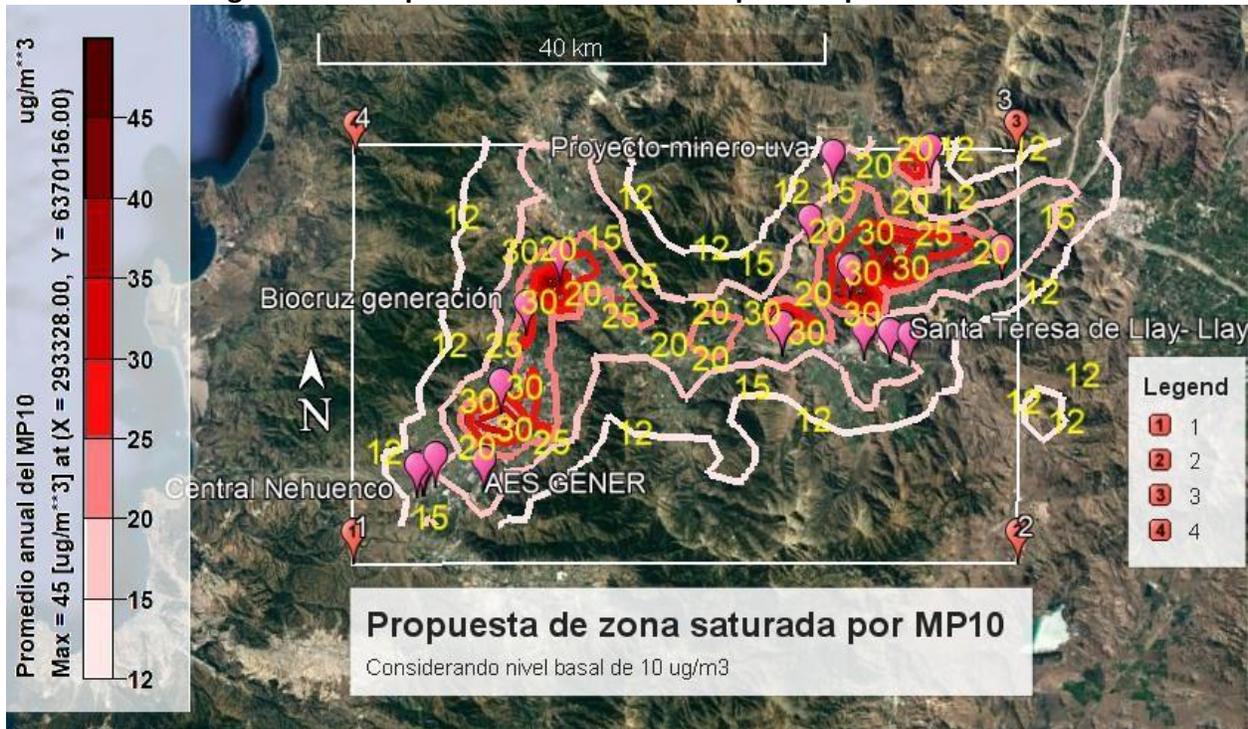
Fuente: Elaboración propia

Considerando los elementos arriba detallados, se propone una zona saturada para MP10 que está definida por la siguiente poligonal:

- 1) Vértice suroeste en el punto de coordenadas UTM 278 km E, 6.348 km N
- 2) Vértice sureste en el punto de coordenadas UTM 330 km E, 6.348 km N
- 3) Vértice noreste en el punto de coordenadas UTM 330 km E, 6.380 km N
- 4) Vértice noroeste en el punto de coordenadas UTM 278 km E, 6.380 km N

La siguiente figura muestra la zona saturada, las isolíneas de la concentración anual de MP10 modeladas, y las principales fuentes emisoras consideradas en el inventario 2017.

Figura 7-29 Propuesta de zona saturada para Valparaíso interior



Fuente: Elaboración propia

7.4 Relación Emisión-Calidad del Aire

Con los resultados del modelo de dispersión y el inventario de emisiones es posible obtener la relación entre emisiones y calidad del aire para distintas fuentes en el año 2017⁸⁷. El cálculo de esta relación permite dar cumplimiento al objetivo específico h) del presente estudio.

Esta relación se aproxima como lineal entre emisiones y concentración, para cada fuente emisora y estación de monitoreo. Lo anterior se conoce como un modelo de *Rollback* simplificado⁸⁸. Este factor de emisión concentración (FEC) depende de los siguientes factores que determinan la dispersión de los contaminantes:

- Condiciones topográficas
- Meteorología de la zona

Si bien el inventario tiene una incertidumbre, el modelo permite el cálculo del FEC a partir de las emisiones y concentración modelada, bajo el supuesto de que esta relación entre emisiones y

⁸⁷ Año base del inventario y de la modelación.

⁸⁸ MMA, *Guía Metodológica. Para La Elaboración de Un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) Para Instrumentos de Gestión de Calidad Del Aire*, 2013.

concentración está correctamente representada por el modelo. Así, el cálculo del FEC es posible para distintas fuentes emisoras, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2 Determinación del Factor Emisión Concentración

$$FEC_{i,r} = \frac{Emisiones_i}{Aporte\ concentración_{i,r}}$$

Donde:

- $FEC_{i,e}$: Factor Emisión Concentración para la fuente “i” en el receptor “r”
- $Emisiones_i$: Emisiones de la fuente “i”
- $Aporte\ concentración_{i,r}$: Aporte a la concentración de la fuente “i” en el receptor “r”

Los aportes a la concentración por fuente emisora se obtuvieron con el modelo de dispersión (ver Tabla 7-7 para el MP10 y Tabla 7-13 para el MP2.5).

Las emisiones se obtuvieron a partir del inventario de emisiones, el cual permite desagregar las emisiones por fuente y por comuna. Dado que el impacto de una emisión puede afectar comunas cercanas a esta, se determinó un criterio del impacto de la emisión en comunas cercanas.

Esta asignación se realizó en base a la proximidad entre comunas y a la topografía y trayectorias del viento entre comunas (ver Sección 5.2). La Tabla 7-15 presenta la asignación realizada. Por ejemplo, en la tabla se observa que el receptor de Panquehue considera para el cálculo de su FEC las emisiones de las comunas de Panquehue, Llay Llay y Catemu. Esto es relevante porque las emisiones de otras comunas no tendrían un impacto significativo en su concentración, y por ende no se incluyen en la estimación de su FEC.

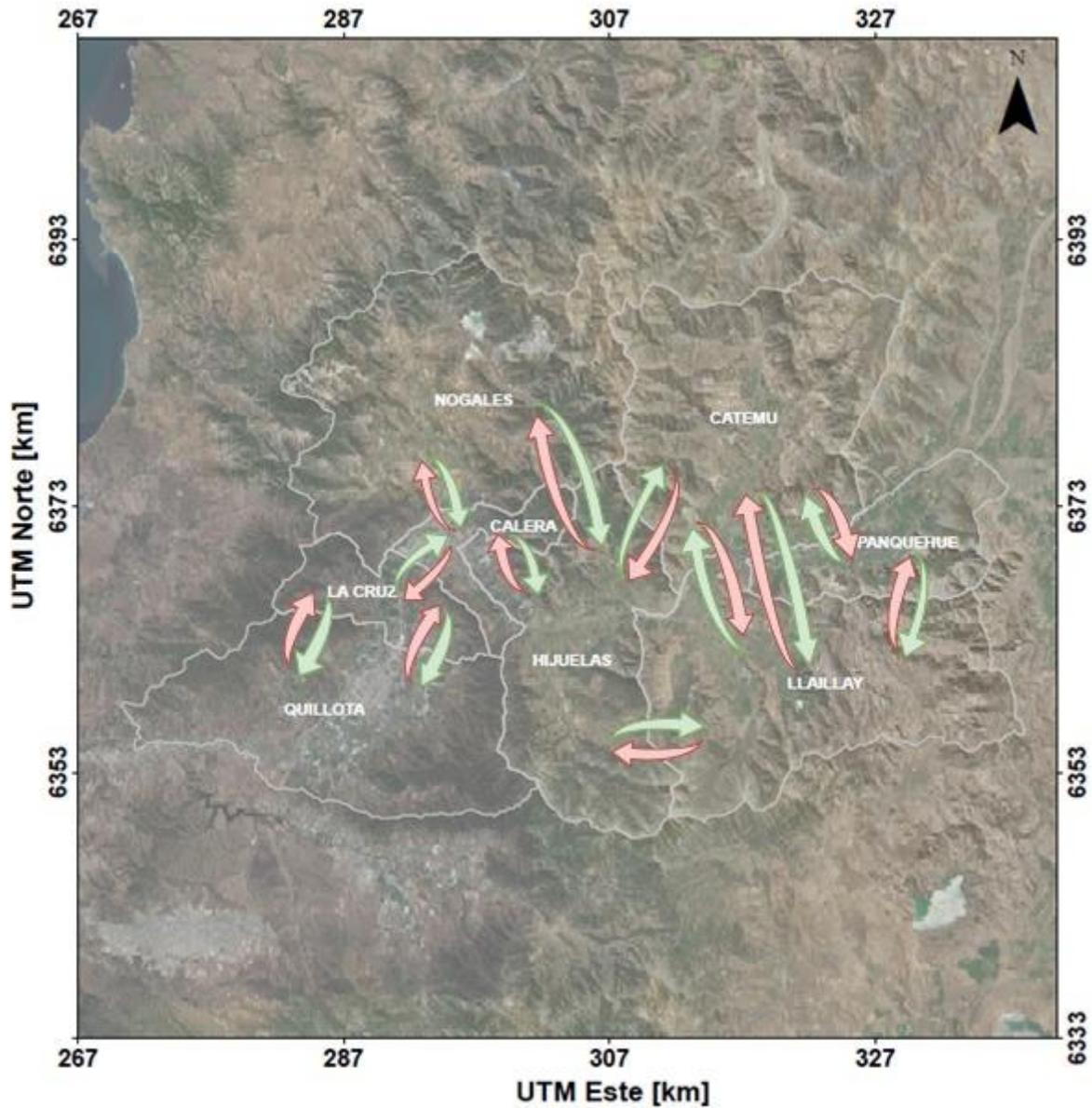
Tabla 7-15 Emisiones por comuna consideradas para cada receptor

↓Receptor/Emisor→	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota
Bomberos Quillota	x	x	x	x	✓	✓	x	✓
San Pedro	x	x	x	x	✓	✓	x	✓
El Melón	x	x	x	✓	✓	x	✓	x
Nogales	x	x	x	✓	✓	x	✓	x
Llaillay	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
Panquehue	✓	✓	✓	x	x	x	x	x
Hijuelas	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	x
La Calera	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
La Cruz	x	x	x	x	✓	✓	x	✓
Catemu	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de ilustrar y entender mejor el impacto de las emisiones entre comunas se presenta la siguiente imagen.

Figura 7-30 Relación emisor-receptor entre comunas



Fuente: Elaboración propia

7.4.1 Relación Emisión-Calidad del Aire para el MP10

La Tabla 7-16 presenta los FEC de MP10 estimados para cada receptor, según la fuente emisora. Los resultados se interpretan como la cantidad de emisiones anuales de MP10 necesarias para aumentar la concentración anual de MP10 en $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 7-16 Factores de Emisión Concentración (FEC) para MP10, año 2017 [(ton/año)/(ug/m³)]

Receptor	Residencial	Móviles	Puntuales	Otras
Bomberos Quillota	48	30	333	251
San Pedro	143	180	510	302
El Melón	72	253	122	852
Nogales	73	230	64	304
Llailay	45	105	1.772	244
Panquehue	172	105	689	1.248
Hijuelas	128	67	869	1.116
La Calera	114	41	65	71
La Cruz	96	50	177	583
Catemu	53	61	463	563

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión e inventario de emisiones

De la Tabla 7-16 se observa:

- Las emisiones de fuentes móviles y residencial tiene un mayor impacto en zonas urbanas
- Las emisiones puntuales y otras depende del receptor, teniendo impactos diversos

7.4.2 Relación Emisión-Calidad del Aire para el MP2.5

La Tabla 7-17 presenta los FEC de MP2.5 estimados para cada receptor, según la fuente emisora. Los resultados se interpretan como la cantidad de emisiones anuales de MP2.5 necesarias para aumentar la concentración anual de MP2.5 en 1 ug/m³.

Tabla 7-17 Factores de Emisión Concentración (FEC) para MP2.5, año 2017 [(ton/año)/(ug/m³)]

Receptor	Residencial	Móviles	Puntuales	Otras
Bomberos Quillota	48	30	328	160
San Pedro	143	168	497	107
El Melon	72	212	110	570
Nogales	72	185	58	197
Llailay	45	96	1.748	174
Panquehue	175	101	685	1.166
Hijuelas	128	67	879	916
La Calera	114	40	63	141
La Cruz	96	48	176	306
Catemu	52	60	461	474

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de dispersión e inventario de emisiones

De la Tabla 7-17 se observan patrones similares que para el MP10.

8. Medidas de reducción de emisiones

Esta sección tiene por objetivo proponer un conjunto de medidas para reducir emisiones de las principales actividades responsables de la emisión de los contaminantes MP10, MP2.5 y sus precursores. Se considera la aplicabilidad, potencial de reducción, efecto en la concentración y costos asociados de cada medida, de modo de poder jerarquizarlas y poder incluirlas en un instrumento de gestión ambiental en la zona. Esta sección da cumplimiento al objetivo g) del presente estudio, acerca de proponer un conjunto de medidas para la reducción de emisiones en la zona.

8.1 Medidas de reducción disponibles

El objetivo de esta sección es la identificación de las medidas disponibles y aplicables para la reducción de MP10, MP2.5 y sus precursores. Para esto se revisaron diversas fuentes bibliográficas para caracterizar adecuadamente cada medida de reducción de emisiones.

8.1.1 Fuentes de información

Para la recopilación de medidas potencialmente aplicables, se realizó una revisión bibliográfica internacional basada en los siguientes documentos oficiales:

- **EPA**, La Agencia de Protección del Medio Ambiente, una agencia del gobierno de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente, mediante el documento “Important Information Concerning the Menu of Control Measures” y “*Air Control Net*”.⁸⁹
- **IISA**, “International Institute for Applied Systems Analysis”, una organización científica de investigación localizada en Luxemburgo, Austria, mediante el documento “Policy Scenarios for the Revision of the Thematic Strategy on Air Pollution”⁹⁰

Adicionalmente se revisaron los planes de descontaminación relevantes vigentes o en proceso de elaboración. En particular se revisaron los planes de las siguientes localidades:

- Huasco
- Caletones
- Andacollo
- Región Metropolitana
- Gran Concepción
- Concon-Quintero-Puchuncavi
- Calama

⁸⁹ EPA, ‘Important Information Concerning the Menu of Control Measures’, 2013, 11–12; Inc. E.H. Pechan & Associates, *Air Control Net*, ed. by Inc. E.H. Pechan & Associates (Springfield, VA: US Government, 2006).

⁹⁰ IIASA, ‘Policy Scenarios for the Revision of the Thematic Strategy on Air Pollution’, *Luxemburg, International Institute for Applied Systems Analysis*, 2013.

- Temuco y Padre Las Casas

Se seleccionaron aquellas medidas cuyas fuentes de información entreguen la mayor cantidad de información posible para caracterizarlas y sean aplicables a las fuentes de emisión del presente estudio.

8.1.2 Evaluación de medidas

En la revisión bibliográfica se buscó caracterizar cada medida según los siguientes campos de información:

- Nombre medida
- Tipo de medida de control (fija, móvil, combustión, fugitiva, ...)
- Nombre equipo de control
- Fuente de emisión controlada
- Reducción de emisiones
- Contaminante reducido
- Costos de inversión
- Costos de operación y mantención
- Vida útil

Durante la revisión bibliográfica de medidas, se utilizaron ciertos criterios para filtrar y seleccionar únicamente las medidas de interés para la zona de estudio. Estos criterios son:

- **Aplicabilidad:** La medida no debe de estar entre las medidas del caso base o repetidas entre ellas, se repetirán en el único caso donde estas contengan distintas eficiencias o costos dependiendo de la fuente a la que sea aplicada.
- **Factibilidad:** Las medidas deberán ser aplicables exclusivamente a las fuentes presentes en el inventario de emisiones.

A continuación, se detalla cada una de las medidas seleccionadas como aplicables a alguna fuente emisora relevante del presente estudio. Se debe tener en consideración que la evaluación de cada medida se realiza de manera independiente, y no se consideran sinergias entre ellas. Las medidas presentadas están por la mayoría basadas en un trabajo anterior realizado por GreenLab⁹¹.

De manera general en el informe, el método de evaluación utilizado opta por parámetros de modelación con valores razonables, que son modificables. Estas modificaciones pueden realizarse según las necesidades/objetivos del regulador y/o Estado.

⁹¹ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

En lo referente a las medidas de reducción propuestas y evaluadas, lo importante es la evaluación de la medida por su costo-eficiencia asociada. Diversos supuestos o parámetros adoptados por el consultor representan una estimación razonable, la cual no afecta la costo-eficiencia de la medida. La evaluación realizada tiene por objetivo una primera aproximación del potencial de reducción de cada medida y de sus costos, para permitir una priorización/jerarquización del conjunto de medidas evaluadas.

Se sugiere que, al momento de utilizar las medidas proporcionadas en el informe, la entidad a cargo tome en consideración estos parámetros y la necesidad de adaptarlos según los objetivos y restricciones propios de las problemáticas que se buscan solucionar.

8.1.2.1 Recambio equipos de calefacción a leña

Esta medida consiste en un programa de recambio de calefactores de combustión a leña de uso residencial, donde los usuarios entregan uno antiguo, y reciben uno nuevo menos contaminante pagando un precio menor al de mercado (véase Anexo 11.4.1 para mayores detalles sobre la presente medida).

Este tipo de programa viene acompañado de la entrega de un subsidio, distribuido por artefacto recambiado, a fin de incentivar que se haga dicho recambio⁹² (el monto del subsidio no está incluido en los resultados de costos entregados a continuación, ya que la decisión y el valor del subsidio incumben a la entidad a cargo en este respecto).

La tecnología entrante considerada corresponde a una estufa tipo Combustión lenta C/T. Se busca reemplazar los artefactos más emisores, los cuales son, en este caso, las salamandras, que pertenecen al grupo de artefactos más numeroso en la V Región (véase inventario de emisiones en Sección 6.4.1, en particular Tabla 6-30), y que poseen uno de los factores de emisión⁹³(utilizados en la Sección 6.4.1) más elevado, en comparación con el de otros equipos.

Se integró al modelo un número de equipos a recambiar cuyo valor se basa en la cantidad de artefactos existentes en cada comuna. En las comunas donde están localizados más artefactos pudiendo ser objeto de recambio, se proponen números mayores de artefactos a recambiar. La cantidad de equipos a cambiar propuesta es en base a cantidades similares propuestas en medidas anteriores de leña⁹⁴.

Se debe mencionar que el total de equipos a cambiar no afecta la costo-eficiencia de la medida, la cual es relevante para su evaluación y posterior implementación. Dicho criterio es considerado suficiente para validar el recambio propuesto, detallado en la Tabla 8-1.

⁹² El monto del subsidio no está incluido en los resultados de costos entregados a continuación, ya que el costo total no cambia, únicamente quien lo paga.

⁹³ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

⁹⁴ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Tabla 8-1 Recambio de equipos propuesto [número de artefactos]

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra
Catemu	100	-100
Llay Llay	200	-200
Panquehue	50	-50
Hijuelas	200	-200
La Calera	300	-300
La Cruz	200	-200
Nogales	200	-200
Quillota	500	-500
Total	1.750	-1.750

Fuente: Elaboración propia en base a propuesta del consultor y a lo establecido en: GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

En base a lo anterior, se obtiene el cambio del número de artefactos asociado a la implementación del recambio de equipos (nueva distribución de los artefactos tras recambio). Se presentan a continuación las cantidades asociadas de artefactos antes (Tabla 8-2) y después de la aplicación de la medida (Tabla 8-3).

Tabla 8-2 Cantidad de artefactos actualmente existentes en la V Región

Artefacto	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Combustión lenta S/T	130	224	63	165	454	202	193	830	2.260
Combustión lenta C/T	290	500	141	369	1.014	452	431	1.854	5.050
Salamandra	228	394	111	291	799	356	339	1.461	3.977
Chimenea	15	25	7	19	51	23	22	93	254
Total	662	1.142	322	844	2.317	1.032	984	4.238	11.540

Nota: Se hizo el supuesto que existe un artefacto por hogar en la V Región

Fuente: Elaboración propia a partir de CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

Tabla 8-3 Cantidad de artefactos en hogares de la V Región tras recambio de equipos

Artefacto	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Combustión lenta S/T	130	224	63	165	454	202	193	830	2.260
Combustión lenta C/T	390	700	191	569	1.314	652	631	2.354	6.800
Salamandra	128	194	61	91	499	156	139	961	2.227
Chimenea	15	25	7	19	51	23	22	93	254
Total	662	1.142	322	844	2.317	1.032	984	4.238	11.540

Fuente: Elaboración propia en base a CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

El recambio propuesto genera una reducción de emisiones producto de la diferencia en los factores de emisión⁹⁵ (utilizados en la Sección 6.4.1), los cuales son menores para los equipos más modernos.

También existe una reducción del consumo de leña por la diferencia en las eficiencias de combustión (véase Tabla 8-4). Siendo mayor las eficiencias de combustión de los equipos recambiados en el marco de la medida, bajo el supuesto que el nivel de necesidad de calefacción de una vivienda es constante⁹⁶, se requiere de un menor consumo de leña para satisfacer esta necesidad de energía térmica.

Tabla 8-4 Eficiencias de combustión de los artefactos presentes en la V Región

Comuna	Eficiencia de combustión
Cocina a leña	50%
Combustión lenta S/T	55%
Combustión lenta C/T	60%
Salamandra	50%
Chimenea	40%

Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla 25 de eficiencias de térmicas del informe Ambiente Consultores, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa, 2007

La Tabla 8-5 presenta el cambio en el consumo de leña asociado a distintos equipos. Los nuevos equipos ven aumentado su consumo de leña, el cual proviene del consumo evitado en salamandras. Se observa que se ahorran 319 toneladas de consumo de leña, dado que los nuevos equipos son más eficientes térmicamente⁹⁷.

⁹⁵ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

⁹⁶ Y que los hogares ya cumplen dicha necesidad.

⁹⁷ Requieren menor cantidad de leña para generar la misma energía térmica en la vivienda.

Tabla 8-5 Cambio en el consumo de leña asociado a la implementación de la medida recambio equipos[ton/año]

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra	Total
Catemu	118	-137	-19
Llay Llay	236	-272	-36
Panquehue	59	-68	-9
Hijuelas	233	-269	-36
La Calera	357	-411	-54
La Cruz	235	-271	-36
Nogales	235	-271	-36
Quillota	595	-687	-92
Total	2.068	-2.387	-319

Fuente: Elaboración propia a partir del nivel de actividad obtenido del inventario de emisiones (Sección 6.4.1), eficiencias de combustión (ver Tabla 8-4) y en base al recambio propuesto por el Consultor (ver Tabla 8-1)

La reducción del consumo de combustible permite una reducción de las emisiones asociadas al uso de calefactores a leña. Dicha reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de la medida propuesta, se presenta a continuación (ver Tabla 8-6). Esta se calcula a partir de los factores de emisión para el sector residencial de leña (ver Sección 6.4.1), donde las emisiones del consumo en equipos de combustión lenta C/T son menores a las emisiones por el consumo evitado en salamandras.

Tabla 8-6 Emisiones evitadas gracias al recambio de equipos de calefacción a leña [ton/año]

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Catemu	23,9	17,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,0
Llay Llay	47,6	33,9	2,0	2,0	2,1	1,2	0,0
Panquehue	11,9	8,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,0
Hijuelas	47,1	33,5	2,0	2,0	2,1	1,1	0,0
La Calera	72,0	51,3	3,0	3,0	3,1	1,8	0,1
La Cruz	47,5	33,8	2,0	2,0	2,1	1,2	0,0
Nogales	47,4	33,7	2,0	2,0	2,1	1,2	0,0
Quillota	120,3	85,6	5,1	5,1	5,2	2,9	0,1
Total	417,8	297,4	17,6	17,6	18,2	10,2	0,4

Fuente: Elaboración propia en base a CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y a insumos presentados en Anexos (Sección 11.4.1)

El costo de implementación de la medida corresponde a un costo de inversión asociado a la compra de los equipos nuevos y al costo de chatarrización del equipo antiguo que sale del parque.

Se presentan a continuación los costos unitarios⁹⁸ (Tabla 8-7) y totales (Tabla 8-8) asociados a la inversión necesaria para el recambio de equipos. El número de equipos a cambiar se presenta en la Tabla 8-1.

Tabla 8-7 Costos unitarios asociados a la inversión necesaria para al recambio de equipos de calefacción a leña

Tecnología	Equipo (UF/equipo)	Chatarrización (CLP2012/equipo)	Inversión Total (UF/equipo)
Doble Cámara 2,5 g/h	10,4	20.000 (*)	11,3

(*): Monto equivalente a 0.9 UF2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de ⁹⁹ y ¹⁰⁰

Tabla 8-8 Costos totales de inversión asociados al recambio de equipos de calefacción a leña en la V Región [UF]

Comuna	Costos Totales
Catemu	1.128
Llay Llay	2.257
Panquehue	564
Hijuelas	2.257
La Calera	3.385
La Cruz	2.257
Nogales	2.257
Quillota	5.642
Total	19.749

Fuente: Elaboración propia en base a recambio propuesto por el consultor (véase Tabla 8-1)

A continuación, se presentan los ahorros incurridos por la población (ver Tabla 8-10), permitidos gracias al recambio de equipos (resultados indicados por comuna, por hogar abarcado por la medida), calculados en base a los costos unitarios de la leña presentados en la Tabla 8-9 y el ahorro de consumo de leña presentado en la Tabla 8-5.

⁹⁸ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

⁹⁹ Ambiente Consultores, *Análisis Técnico-Económico de La Aplicación de Una Norma de Emisión Para Artefactos de Uso Residencial Que Combustionan Con Leña y Otros Combustibles de Biomasa*, 2007.

¹⁰⁰ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Tabla 8-9 Costos unitarios de la leña [CLP2012/kg]

Combustible	Costo unitario
Leña Seca	54,34
Leña Húmeda	36,85

Fuente: Elaboración propia en base a costos obtenidos de: GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013

Tabla 8-10 Ahorros incurridos por la población gracias al recambio de equipos [CLP2012]

Comuna	Total
Catemu	\$1.062.869
Llay Llay	\$2.127.753
Panquehue	\$531.588
Hijuelas	\$2.122.728
La Calera	\$3.180.580
La Cruz	\$2.127.433
Nogales	\$2.126.809
Quillota	\$5.288.766
Total	\$18.568.526

Fuente: Elaboración propia en base a GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013

Los ahorros totales corresponden a un monto de 18.5 millones CLP2012/año para un total de 1.750 hogares (asumiendo que cada hogar posee un solo artefacto), monto equivalente a unos 11.000 CLP2012/año por hogar abarcado por la medida.

8.1.2.2 Venta y utilización de leña seca

La medida considera el reemplazo de la leña actualmente utilizada, por leña seca (humedad menor o igual a 25%), debido a la prohibición de comercialización y utilización de leña húmeda en la zona de interés (véase Anexo 11.4.2 para mayores detalles sobre la presente medida).

En base a la distribución de la humedad de la leña que se comercializa y utiliza actualmente, se propone prohibir la venta y utilización de una parte de leña húmeda (que se vende y utiliza actualmente), que pasará a ser leña seca. Para ello, se integró al modelo un recambio de leña húmeda (a cambiar por leña seca) propuesto por el consultor, cuyo valor se basa en el consumo actual de la leña húmeda en cada comuna. En las comunas donde el consumo de leña húmeda es mayor en proporción, comparativamente con el consumo de leña seca, se proponen cantidades mayores de leña húmeda a recambiar por leña seca. Además, se privilegiaron las comunas donde las emisiones de partículas son las más altas.

Se debe mencionar que el recambio de leña propuesto no afecta la costo-eficiencia de la medida, la cual es relevante para su evaluación y posterior implementación. Dicho criterio es considerado suficiente para validar el recambio de leña húmeda a seca propuesto, detallado a continuación (Tabla 8-11).

Tabla 8-11 Recambio de leña húmeda por leña seca propuesto [ton/año]

Tipo de Leña	Cocina a leña	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea
Leña Seca	0	250	1.225	1.525	25
Leña Húmeda	0	-250	-1.225	-1.525	-25

Fuente: Elaboración propia en base a un supuesto del consultor y a lo establecido en: GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Sabiendo que el factor de emisión de un equipo¹⁰¹ (referenciados en la Sección 6.4.1) depende del contenido de humedad de la leña, al cambiar los porcentajes de leña húmeda/seca consumidas, las emisiones van a cambiar. La reducción de emisiones se produce porque los factores de emisión de la leña seca son menores a los de la leña húmeda¹⁰².

En lo referente a los cálculos realizados en torno a esta medida, se obtuvo el consumo de leña post-medida a partir del consumo de leña actual en la V Región y del recambio de leña húmeda por leña seca propuesto (Tabla 8-11). A continuación, se presentan los consumos de leña seca antes (Tabla 8-12) y post-medida (Tabla 8-13).

Tabla 8-12 Consumo de leña seca por artefacto y comuna, anterior a la implementación de la medida de venta y utilización de leña seca [ton/año]

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	71	159	181	12	423
Llay Llay	123	275	312	20	729
Panquehue	35	77	88	6	205
Hijuelas	91	203	231	15	539
La Calera	249	557	633	40	1.479
La Cruz	111	248	282	18	659
Nogales	106	237	269	17	628
Quillota	456	1.019	1.158	74	2.706
Total	1.241	2.774	3.153	201	7.369

Fuente: Elaboración propia en base al nivel de actividad de la leña base (ver Sección 6.4.1), y en base al recambio de leña propuesto en la Tabla 8-11.

¹⁰¹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹⁰² MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Tabla 8-13 Consumo de leña seca por artefacto y comuna, posterior a la implementación de la medida de venta y utilización de leña seca [ton/año]

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	71	209	281	12	573
Llay Llay	123	325	412	20	879
Panquehue	35	102	113	6	255
Hijuelas	91	303	331	15	739
La Calera	299	757	933	40	2.029
La Cruz	161	348	382	18	909
Nogales	106	337	369	17	828
Quillota	606	1.619	1.858	99	4.181
Total	1.491	3.999	4.678	226	10.394

Fuente: Elaboración propia en base al nivel de actividad de la leña base (ver Sección 6.4.1), y en base al recambio de leña propuesto en la Tabla 8-11.

Los consumos de leña presentados antes permiten calcular la reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de la medida. Esta se calcula en base a la diferencia de las emisiones asociadas al consumo anterior y posterior a la medida. La Tabla 8-14 muestra las emisiones evitadas gracias a la venta y utilización de leña seca.

Tabla 8-14 Emisiones evitadas gracias a la venta y utilización de leña seca [ton/año]

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx
Catemu	21	28	2	2	2	0
Llay Llay	21	28	2	2	2	0
Panquehue	7	8	1	1	1	0
Hijuelas	27	31	2	2	2	0
La Calera	81	89	6	6	6	-1
La Cruz	39	34	2	2	2	0
Nogales	27	31	2	2	2	0
Quillota	217	224	16	16	15	-3
Total	439	473	33	33	32	-7

Fuente: Elaboración propia en base a un supuesto del Consultor (véase Tabla 8-11)

La implementación de la venta y utilización de leña seca está asociada a costos de inversión y costos de operación (asociados a la compra de la leña).

En lo referente a la inversión, se considera la compra obligatoria de xilohigrómetros, artefactos necesarios para la medición de la humedad de la leña, por parte de los comerciantes (privados). Se considera que el costo es de 200.000 CLP por artefacto a comprar por comerciante (en base a cotizaciones de mercado¹⁰³), y que cada aparato tiene una vida útil de 3 años. Se consideran a unos 30 comerciantes de leña (supuesto hecho en base al caso de Temuco y Padre las Casas, con

¹⁰³ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

proporcionalidad en base al consumo de leña¹⁰⁴), quienes son los que realizan la compra, por lo que se genera un costo total de inversión de 5.907.121 CLP2012.

Se presentan en la tabla a continuación dichos costos de inversión [CLP2012] y el número de xilohigrómetros a comprar por comuna (ver Tabla 8-15).

Tabla 8-15 Costos de inversión asociados a la implementación de la venta y utilización de leña seca [CLP2012] y número de xilohigrómetros a comprar por comuna [Número de aparatos]

Comuna	Inversión [CLP2012]	Xilohigrómetros a comprar [Número de aparatos]
Catemu	338.697	2
Llay Llay	584.712	3
Panquehue	164.665	1
Hijuelas	432.033	2
La Calera	1.185.931	6
La Cruz	528.186	3
Nogales	503.690	3
Quillota	2.169.206	11
Total	5.907.121	30

Fuente: Elaboración propia a partir de CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y de GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Además, se considera un costo de operación para los usuarios (asumido por la población) debido al mayor precio de venta de la leña seca. Este costo proviene de la diferencia entre el costo de la leña húmeda y la leña seca¹⁰⁵ (véase detalles en Anexos, Sección 11.4.2). Adicionalmente se considera un ahorro en leña debido al reemplazo inicial de la leña húmeda por seca, asociada a un poder calorífico mayor. Los costos totales de operación se presentan en la Tabla 8-16.

¹⁰⁴ Para Temuco se estima un total de 200 comerciantes para un consumo de leña de 2 millones de m³, lo que equivale a 10 mil m³ por comerciantes. En base a este número se estima el requerido para la zona de interés. GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹⁰⁵GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Tabla 8-16 Costos de operación asociados a la venta y utilización de leña seca [CLP2012/año]

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	0	874.713	1.749.425	0	2.624.138
Llay Llay	0	874.713	1.749.425	0	2.624.138
Panquehue	0	437.356	437.356	0	874.713
Hijuelas	0	1.749.425	1.749.425	0	3.498.851
La Calera	874.713	3.498.851	5.248.276	0	9.621.839
La Cruz	874.713	1.749.425	1.749.425	0	4.373.563
Nogales	0	1.749.425	1.749.425	0	3.498.851
Quillota	2.624.138	10.496.552	12.245.977	437.356	25.804.023
Total	4.373.563	21.430.460	26.678.736	437.356	52.920.115

Fuente: Elaboración propia en base a costos obtenidos de: GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

8.1.2.3 Mejora aislación térmica viviendas

La medida consiste en mejorar la aislación térmica de las viviendas existentes, alcanzando un nivel de aislación aceptable según la norma vigente y la zona térmica (zonificación oficial según el clima), (véase Sección 11.4.3 para mayores detalles sobre la presente medida). Las provincias de la V Región abarcadas en este estudio se ubican en la zona térmica número 2 de Chile¹⁰⁶.

Para la implementación de la aislación térmica se considera a todas las viviendas (i.e. viviendas construidas antes del 2000 y entre los años 2000 y 2007) asociadas a un panel de normas a cumplir, menos a las nuevas viviendas (post-2007)¹⁰⁷. En esta línea, el consultor propone aislar un porcentaje inferior al 100% de las viviendas porque se considera que una parte de las viviendas existentes ya cumple con la norma que se busca alcanzar gracias a la medida, ya sea porque son viviendas nuevas, o porque los propietarios habrían realizado los trabajos de aislación necesarios por iniciativa propia.

Por lo anterior, el consultor propone aislar el 70% de la totalidad de las viviendas, en base al supuesto que un 30% de las viviendas cumplen actualmente con la norma vigente o por otros motivos no podrían aislarse¹⁰⁸. El número de viviendas a aislar, resultado del supuesto anterior se presenta en la Tabla 8-17. Se debe mencionar que este nivel de penetración no afecta la costo-eficiencia de la medida, la cual es relevante para su evaluación y posterior implementación.

¹⁰⁶ Vaspanel, 'Planos de Zonificación Térmica', 2015 <<http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/05/PLANO-ZONIFICACION-TERMICA.pdf>>.

¹⁰⁷ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹⁰⁸ Este nivel de penetración se determina en base a criterio experto del consultor.

Tabla 8-17 Número de viviendas a aislar en la V Región

Comuna	Número de hogares
Catemu	463
Llay Llay	799
Panquehue	225
Hijuelas	590
La Calera	1.620
La Cruz	722
Nogales	688
Quillota	2.963
Total	8.070

Fuente: Elaboración propia a partir del número de viviendas de la V Región que consumen leña disponible en el informe CDT¹⁰⁹, igual a 100.835, y desagregadas en la zona de interés según el total de viviendas por comuna, obtenido del Censo 2017. Se utilizó como supuesto que el 70% de las viviendas con consumo de leña son abarcadas por la medida.

La aislación de viviendas permite bajar la demanda de calor de las viviendas y así reducir el consumo de combustible necesario para la calefacción de los hogares gracias a más hermeticidad. Así, la reducción de emisiones se produce por la reducción del consumo de energía necesario para calefacción y dependerá de la tecnología de calefacción que utiliza la vivienda para suplir la demanda en calefacción.

Por este motivo, se considera la reducción de la demanda de calefacción equivalente en este caso a 20,2% que se aplica a todas las viviendas abarcadas por la medida de aislación (reducción de la demanda de calor estimada para la zona térmica 2 a la cual pertenecen las comunas de Valparaíso)¹¹⁰. Esta reducción se aplica al nivel de actividad de leña presentado en la Tabla 6-29.

La diferencia de emisiones se calcula a partir de la diferencia entre los consumos de combustibles post-medida (disponible en la Sección 11.4.3), y antes de la medida. Se presentan a continuación la reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de la medida (Tabla 8-18).

¹⁰⁹ CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015, Tabla 34

¹¹⁰ El factor de reducción de la demanda de calor de las viviendas utilizado es equivalente a 20,2% (se eligió el factor más conservador a fin de no sobreestimar la reducción de emisiones obtenida). Dicho factor proviene del estudio GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Tabla 8-18 Emisiones evitadas gracias a la aislación de viviendas [ton/año]

	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NH3	NOx	SO2
Gas Natural	0	0	0	0	0	0	1	0
GLP	1	0	0	0	0	0	5	0
Kerosene	0	0	0	0	0	0	0	1
Lena	972	453	53	53	50	0	11	0
Total	973	454	53	53	50	0	16	1

Fuente: Elaboración propia en base a CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y a un supuesto del Consultor (70% de las viviendas totales abarcadas por la medida)

Los costos de implementación de la medida están asociados a la inversión y al consumo de combustibles post-aislación. El costo de inversión (que incluye materiales, mano de obra y flete) está asociado al nivel de aislación que se quiere alcanzar¹¹¹.

Se detallan a continuación los valores fuentes utilizados para la determinación del costo unitario de inversión asociado a la medida, por vivienda, presentado también en la siguiente tabla. A fin de no subestimar dichos costos, se ocupó **un valor promedio de los costos unitarios de aislación** (presentados en las primeras filas de la tabla siguiente)¹¹² que dependen de la antigüedad de las viviendas, equivalente entonces a 196 UF/vivienda (Tabla 8-19).

Tabla 8-19 Costos unitarios de aislación de viviendas [UF/vivienda]

Categoría Viviendas	Aislación en Zona térmica 2
Construidas antes del 2000	246,7
Construidas entre 2000 y 2007	144,7
Valor Promedio	196

Fuente: GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Se detallan a continuación los costos totales asociados a la aislación de viviendas por comuna (Tabla 8-20).

¹¹¹ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹¹² GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Tabla 8-20 Costos totales asociados a la aislación de viviendas [UF/año]

Comuna	Viviendas a aislar [número de viviendas]	Total Aislación de vivienda
Catemu	463	90.553
Llay Llay	799	156.328
Panquehue	225	44.025
Hijuelas	590	115.508
La Calera	1.620	317.068
La Cruz	722	141.215
Nogales	688	134.665
Quillota	2.963	579.955
Total	8.070	1.579.316

Fuente: Elaboración propia a partir de CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y de costos obtenidos de GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Por otra parte, existen beneficios asociados a la operación y mantención que corresponden a los ahorros que se generan por menor consumo de calefacción producto de la disminución de la demanda de energía generada por la mejor aislación de la vivienda. Estos ahorros los percibe la población, dependen esencialmente en este caso del combustible y equipo que utilice la vivienda (Tabla 8-21).

Tabla 8-21 Ahorros a percibir por la población gracias a la aislación de las viviendas [CLP2012/año]

	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	-1.134.438	-2.535.122	-2.881.447	-183.744	-6.734.751
Llay Llay	-1.958.447	-4.376.529	-4.974.410	-317.209	-11.626.594
Panquehue	-551.533	-1.232.507	-1.400.881	-89.332	-3.274.253
Hijuelas	-1.447.061	-3.233.739	-3.675.502	-234.380	-8.590.682
La Calera	-3.972.178	-8.876.603	-10.089.242	-643.372	-23.581.395
La Cruz	-1.769.118	-3.953.437	-4.493.519	-286.543	-10.502.616
Nogales	-1.687.068	-3.770.080	-4.285.114	-273.254	-10.015.516
Quillota	-7.265.581	-16.236.349	-18.454.408	-1.176.803	-43.133.141
Total	-19.785.424	-44.214.366	-50.254.522	-3.204.636	-117.458.948

Fuente: Elaboración propia

8.1.2.4 Prohibición de salamandra y chimenea

La medida "prohibición de salamandra y chimenea" consiste en prohibir el uso de tecnologías del parque existente que no cumplan con la norma de emisión actual, en este caso, las salamandras y chimeneas. Estos equipos se prohíben, y se utiliza como supuesto que en su reemplazo entran equipos de mayor tecnología (véase La medida "prohibición de salamandra y chimenea" consiste en prohibir el uso de tecnologías del parque existente que no cumplan con la norma de emisión actual, en este caso, la salamandra y la chimenea. La salida del parque de los equipos se realiza

desde la tecnología más contaminante a la que contamina menos (véase Sección 11.4.4 para mayores detalles sobre la presente medida).

El equipo que entra al parque en vez de las tecnologías prohibidas será un artefacto a leña que cumple la norma, en este caso, un equipo Combustión lenta C/T, cuyo factor de emisión es menor a los factores de emisión de equipos salientes del parque¹¹³ (factores de emisión utilizados en Sección 6.4.1), y cuya eficiencia térmica (ver Tabla 8-4) es mayor.

La reducción de emisiones se produce al forzar el cambio de artefactos más contaminantes (salamandras y chimeneas) por otros equipos menos contaminantes (Combustión lenta C/T). Los nuevos artefactos tienen un factor de emisión menor a los equipos antiguos, generando menos emisiones.

Así, en el marco de esta medida, se integró al modelo **una estimación del total del número de equipos nuevos que se incorporarían producto de esta medida**, cuyo valor se basa en la cantidad de artefactos existentes en cada comuna¹¹⁴. En las comunas donde están localizados más artefactos pudiendo ser objeto de prohibición, se proponen números mayores de artefactos a prohibir. En la práctica, se utilizó el supuesto de que un 30% de los equipos abarcados por la medida se recambiarán (supuesto del consultor basado en experiencias previas¹¹⁵). Se debe tener en consideración que este supuesto no afecta la costo-eficiencia de la medida, por lo que su posterior evaluación comparativa es correcta.

Se presenta en la tabla Tabla 8-22 el número de equipos nuevos asociados a la prohibición de salamandras y chimeneas en la V Región.

¹¹³ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹¹⁴ CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

¹¹⁵ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Tabla 8-22 Cambio en el número de equipos por la medida de prohibición salamandra y chimenea

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea
Catemu	73	-68	-4
Llay Llay	126	-118	-8
Panquehue	35	-33	-2
Hijuelas	93	-87	-6
La Calera	255	-240	-15
La Cruz	113	-107	-7
Nogales	108	-102	-6
Quillota	466	-438	-28
Total	1.269	-1.193	-76

Fuente: Elaboración propia en base a propuesta del consultor, a partir de CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

De esta manera, la reducción de emisiones se explica por la diferencia en los factores de emisión (utilizados en Sección 6.4.1). También existe una reducción del consumo de leña por la diferencia en las eficiencias de combustión (véase Tabla 8-4). Siendo mayor las eficiencias de combustión de los equipos recambiados en el marco de la medida, bajo el supuesto de que el nivel de necesidad de calefacción de las viviendas a satisfacer es constante, se requiere de un menor consumo de leña para satisfacer esta necesidad de energía térmica.

Se presenta a continuación, el cambio del consumo de leña asociado a la implementación de la medida (ver Tabla 8-23), calculado a partir del nivel de actividad actual (obtenido a partir del inventario de emisiones disponible en la Sección 6.4.1) y de las eficiencias de combustión (ver Tabla 8-4).

Tabla 8-23 Cambio de consumo asociado a la implementación de la prohibición de las salamandras y chimeneas [ton/año]

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	86	-95	-6	-15
Llay Llay	149	-164	-10	-25
Panquehue	42	-46	-3	-7
Hijuelas	110	-121	-8	-19
La Calera	302	-332	-21	-52
La Cruz	134	-148	-9	-23
Nogales	128	-141	-9	-22
Quillota	552	-607	-39	-94
Total	1.504	-1.653	-105	-257

Fuente: Elaboración propia a partir del nivel de actividad obtenido gracias al inventario de emisiones (Sección 6.4.1) y en base al supuesto del consultor (porcentaje propuesto de equipos actuales abarcados por la medida, en este caso 30%).

Se presenta a continuación la reducción de emisiones obtenida gracias a la prohibición de los equipos antes citados (Tabla 8-24). Esta se calcula a partir de los factores de emisión para el sector residencial de leña (ver Sección 6.4.1), donde las emisiones del consumo en equipos de combustión lenta C/T son menores a las emisiones por el consumo evitado en salamandras.

Tabla 8-24 Emisiones evitadas gracias a la prohibición de equipos [ton/año]

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Catemu	17,1	12,6	0,7	0,7	0,8	0,4	0,0
Llay Llay	29,5	21,8	1,3	1,3	1,3	0,7	0,0
Panquehue	8,3	6,1	0,4	0,4	0,4	0,2	0,0
Hijuelas	21,8	16,1	1,0	1,0	1,0	0,5	0,0
La Calera	59,8	44,2	2,6	2,6	2,7	1,4	0,1
La Cruz	26,6	19,7	1,2	1,2	1,2	0,6	0,0
Nogales	25,4	18,8	1,1	1,1	1,1	0,6	0,0
Quillota	109,3	80,8	4,8	4,8	4,9	2,6	0,1
Total	297,7	220,1	13,0	13,0	13,4	7,0	0,3

Fuente: Elaboración propia en base a CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Existen costos de inversión y ahorros en costos de operación (generados por un menor consumo de combustible) asociados a la implementación de la medida.

Los costos de inversión corresponden a la compra de los equipos que cumplen la normativa, los cuales son asumidos por la población. El equipo que cumple la normativa tiene un precio de venta de 10,4 UF, y representa una inversión total equivalente a 11,3 UF con el valor de la chatarrización del equipo saliendo del parque incluido¹¹⁶ (véase detalles en la Tabla 8-7). Se presentan a

¹¹⁶ Ambiente Consultores, Análisis Técnico-Económico de La Aplicación de Una Norma de Emisión Para Artefactos de Uso Residencial Que Combustionan Con Leña y Otros Combustibles de Biomasa, 2007.

continuación los costos de inversión asociados a la implementación de la prohibición de salamandras y chimeneas en la V Región.

Tabla 8-25 Costos totales de inversión asociados a la prohibición de salamandras y chimeneas en la V Región [UF]

Comuna	Costos Totales
Catemu	821
Llay Llay	1.418
Panquehue	399
Hijuelas	1.048
La Calera	2.876
La Cruz	1.281
Nogales	1.221
Quillota	5.260
Total	14.324

Fuente: Elaboración propia en base a CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Además, el usuario incurre en un ahorro en combustible gracias a un consumo menor de combustible (leña). La Tabla 8-26 presenta los ahorros que la implementación de la medida permitirá para todos los hogares que cambiarán su equipo tras la prohibición de las chimeneas y salamandras (los valores se expresan por hogar abarcado por la medida, según comuna).

Tabla 8-26 Ahorros a percibir por la población gracias a la prohibición de la salamandra y de la chimenea [CLP2012/año]

Comuna	Total
Catemu	\$815.686
Llay Llay	\$1.408.166
Panquehue	\$396.564
Hijuelas	\$1.040.468
La Calera	\$2.856.083
La Cruz	\$1.272.034
Nogales	\$1.213.039
Quillota	\$5.224.111
Total	\$14.226.150

Fuente: Elaboración propia en base a recambio propuesto por el consultor

Los ahorros totales corresponden a un monto de 14,2 millones CLP2012/año para un total de 1.269 hogares (asumiendo que cada hogar posee un solo artefacto), monto equivalente a unos 11.000 CLP2012/año por hogar abarcado por la medida.

8.1.2.5 Barredora de MP

La medida barredora de MP (o aspiradora) consiste en la compra de barredoras de polvo para su circulación por los caminos pavimentados de cada ciudad. Las barredoras de MP funcionan a partir de sistemas de vacío de aire de circuito cerrado utilizando un chorro de aire generado por un soplador, donde un separador de polvo centrífugo retiene y recolecta el MP para su eliminación adecuada, sin uso de agua durante el proceso¹¹⁷. Esto evita la acumulación y levantamiento de polvo resuspendido por tráfico vehicular en las ciudades, reduciendo las emisiones de MP10 principalmente.

De acuerdo a la EPA¹¹⁸, las barredoras tienen una eficiencia de 50,5% para MP10 y 25% para MP2,5, bajo una frecuencia de al menos 2 veces por semana. Si se considera implementar una barredora para cada comuna, se podrían reducir las emisiones por polvo resuspendido asignadas a cada ciudad Tabla 8-27.

Tabla 8-27 Reducción de emisiones por la medida de Barredora de MP [ton/año]

Comuna	Largo Calles Ciudad (km)	Emisiones polvo Ciudad		Reducción Emisiones	
		MP10	MP2,5	MP10	MP2,5
Catemu	26	13,40	3,24	6,77	0,81
Llay Llay	46	7,04	1,70	3,56	0,43
Panquehue	12	9,71	2,35	4,91	0,59
Hijuelas	24	13,09	3,17	6,61	0,79
La Calera	101	51,06	12,35	25,79	3,09
La Cruz	62	33,75	8,17	17,05	2,04
Nogales	65	16,31	3,95	8,24	0,99
Quillota	139	56,56	13,68	28,57	3,42
Total	476	200,94	48,61	101,47	12,15

Fuente: Elaboración propia. Largo de calles obtenido de Mapas Censales del INE, para las zonas urbanas.

De la evaluación del programa de limpieza de calles de la Región Metropolitana, se obtiene un costo real de operación de maquinaria para aspirado de calles de 7.387 CLP/km (para el 2004)¹¹⁹.

El costo de inversión de una barredora corresponde a una cotización realizada para un modelo Brock SL 200 2K, estimado en 142 millones de CLP al 2018. Las barredoras se estiman con una vida útil de 8 años¹²⁰.

¹¹⁷ US-EPA, 'Control Strategy Tool (CoST) - "At a Glance" Control Measure Document', 1.1 (2016), 1–12.

¹¹⁸ US-EPA, 'Control Strategy Tool (CoST) - "At a Glance" Control Measure Document', 1.1 (2016), 1–12.

¹¹⁹ Ministerio de Hacienda, 'Síntesis Ejecutiva: Programa de Aplicación Limpieza de Calles', 2005.

¹²⁰ US-EPA, 'Control Strategy Tool (CoST) - "At a Glance" Control Measure Document', 1.1 (2016), 1–12.

8.1.2.6 Prohibición de la biomasa en calderas industriales

La medida “Prohibición de la biomasa en calderas industriales” consiste en una prohibición del uso de biomasa (leña) en las calderas industriales, y en un reemplazo de este combustible por gas natural.

El cambio de biomasa por gas natural está asociado a una reducción de emisiones por diferencias en los factores de emisión¹²¹. Se debe calcular el cambio de consumo asociado a la implementación del cambio de combustible, en base la densidad y poder calorífico de cada combustible¹²². Con los cambios de consumo y factores de emisiones es posible calcular la reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de esta medida.

Se presenta en la tabla siguiente (Tabla 8-28) el delta-consumo asociado a la implementación del cambio de combustible, desglosado por fuente de emisión de interés.

Tabla 8-28 Delta consumo asociado a la implementación del cambio de combustible [ton/año]

	BIOMASA COMBUSTIBLE	GAS NATURAL	Total
VIVEROS HIJUELAS SA	1.464.450	-871	1.463.579
CONSERVAS CENTAURO PLANTA N3	0	0	0
ALGAS MARINAS LA CALERA	1.902.820	-1.131	1.901.689
PLANTA ALIMENTOS Y GERENCIA	0	0	0
Sopraval	27.377.508	-16.279	27.361.229
Total	30.744.778	-18.281	30.726.497

Fuente: Elaboración propia a partir de información declarada por titulares a través del DS 38 del Minsal.

La Tabla 8-29 muestra la reducción de emisiones (emisiones evitadas).

Tabla 8-29 Emisiones evitadas gracias al cambio de combustible [ton/año]

	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	CN	NOx	SO2	CO2	CH4
VIVEROS HIJUELAS SA	6	0	3	3	3	1	5	0	2.399	1
CONSERVAS CENTAURO PLANTA N3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALGAS MARINAS LA CALERA	7	0	4	4	4	2	6	0	3.117	1
PLANTA ALIMENTOS Y GERENCIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sopraval	103	3	62	62	53	23	84	4	44.852	12

Fuente: Elaboración propia

Los costos asociados a la implementación de la medida corresponden a la compra de gas natural cuyo costo unitario considerado es equivalente a 438,7 CLP2018/kg¹²³. Se presentan a

¹²¹ En la Sección **Error! Reference source not found.** se presenta la fuente de los factores de emisión utilizados para estas instalaciones industriales. Estos factores provienen de: MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017.

¹²² Se asumen que el consumo energético es constante. Se utilizan los parámetros de densidad y poder calorífico propuestos en la Tabla 6-5 y 6-6 de: MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017.

¹²³ Tarifado GN Industrial de MetroGas

continuación los costos incurridos por la compra de gas natural tras el cambio de combustible (Tabla 8-30).

Tabla 8-30 Costos incurridos por la compra de gas natural tras cambio de combustible [UF/año]

	Hijuelas	La Calera	Total
VIVEROS HIJUELAS SA	14	0	14
CONSERVAS CENTAURO PLANTA N3	0	0	0
ALGAS MARINAS LA CALERA	0	18	18
PLANTA ALIMENTOS Y GERENCIA	0	0	0
Sopraval	0	263	263
Total	14	281	295

Fuente: Elaboración propia a partir del Tarifado GN Industrial de MetroGas

8.1.2.7 Precipitador electrostático Fundición Chagres

Se propone la instalación de un segundo precipitador electrostático a la chimenea de la planta de ácido de la fundición Chagres. Esto reduciría las emisiones de material particulado de los convertidores Pierce-Smith y del horno de fusión.

Con la instalación de un precipitador electrostático adicional la eficiencia de abatimiento aumentaría de 98% a 99,96% para MP10, y de 95% a 99,75% para MP2.5. Lo anterior genera reducciones importantes de emisiones (ver Tabla 8-31).

Tabla 8-31 Reducción de emisiones por Precipitador electrostático en Fundición Chagres [ton/año]

Proceso	MP10	MP2,5
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 4	39	31
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 3	38	30
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 2	39	30
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 1	35	28
HORNO DE FUSION FLASH	2.704	2.547
Total	2.855	2.665

Fuente: Elaboración propia

Para estimar los costos se utilizan los propuestos en el estudio de medidas de reducción para la región del Bio Bio¹²⁴. En este se estima un costo de inversión entre 21.000 y 70.000 USD por m³/s, y costos de operación entre 6.400 y 74.000 USD por m³/s al 2016¹²⁵. Se consideró un valor del USD para el 2016 de 677 CLP¹²⁶.

¹²⁴ Centro Mario Molina, 'ESTUDIO DE PROPUESTA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP2,5 PARA LA ZONA SATURADA DE LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO', 2016. Anexo 1: Sistemas de Control de MP.

¹²⁵ Se utiliza el valor medio entre ambos rangos como costos.

¹²⁶ Promedio anual de valores observados: http://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2016.htm

De acuerdo a lo declarado mensualmente por la fundición Chagres en el DS28/2013 del MMA, la chimenea de la planta de ácido tiene un caudal promedio de 43 m³/s.

8.1.2.8 Gestión de caminos en proyectos mineros

El transporte constante de camiones en las faenas de extracción de material genera emisiones de material particulado por la resuspensión de partículas presentes en los caminos. La medida de gestión de caminos se evalúa considerando la aplicación de bischofita en dilución sobre estos caminos. La bischofita previene la resuspensión de partículas al atraer y retener la humedad, generando una capa superior acuosa sobre el asfalto ¹²⁷. Esto permite la reducción de las emisiones de MP en un 85% ¹²⁸. Existen otras alternativas similares para lograr reducción de emisiones de polvo resuspendido por tránsito en caminos, como la humectación y compactación.

La aplicación de bischofita se considera para las operaciones de la mina El Soldado, la Cantera Ñilhue y la mina UVA. La reducción de emisiones de la medida propuesta para cada fuente emisora se presenta en la Tabla 8-32, donde se considera la eficiencia de supresión de polvo actual.

Tabla 8-32 Reducción de emisiones por gestión de caminos mineros [ton/año]

Fuente emisora	Largo Caminos (km) (a)	Eficiencia Actual	Emisiones polvo resuspendido		Reducción Emisiones ^(b)	
			MP10	MP2,5	MP10	MP2,5
Mina El Soldado	1,84	68%	19,66	1,96	10,50	1,05
Cantera Ñilhue	2,00	75%	9,35	0,93	3,74	0,37
Mina UVA	0,75	0%	14,81	1,48	12,59	1,26
Total	4,59	-	43,82	4,37	26,83	2,68

a. Según lo declarado en la RCA de cada proyecto. Se considera un ancho de camino de 20 metros.

b. Las emisiones reducidas corresponden a la diferencia entre las emisiones actuales presentadas en la tabla y las emisiones que habría si se aplica un 85% de eficiencia de reducción a las emisiones que habían antes de aplicar las medidas de reducción actuales (emisiones sin ninguna medida de abatimiento). Las emisiones originales se calculan a partir de: emisiones actuales = emisiones sin abatimiento x (1-eficiencia).

Fuente: Elaboración propia

Para estimar los costos de implementación de esta medida se debe considerar el costo de la bischofita, el agua para su dilución, la maquinaria para preparación y dosificación en el asfalto y la mano de obra (ejecutores y supervisión). Se llega a un costo de \$6.682 CLP2010/m² de aplicación ¹²⁹. Cada dos años se debe reaplicar bischofita nuevamente para mantener la eficiencia de remoción.

¹²⁷ María Loreto Araya Díaz and Jorge Alvial Pantoja, 'Análisis Comparativo Para Ejecución de Estabilización de Suelos, Entre Procesos Tradicionales y El Estabilizador de Suelos Soiltac' (Universidad Austral de Chile, 2010).

¹²⁸ AMBIOSIS, *Propuesta y Análisis de Medidas de Reducción de Emisiones En La Zona Industrial de Ventanas*, 2009.

¹²⁹ María Loreto Araya Díaz and Jorge Alvial Pantoja, 'Análisis Comparativo Para Ejecución de Estabilización de Suelos, Entre Procesos Tradicionales y El Estabilizador de Suelos Soiltac' (Universidad Austral de Chile, 2010).

8.1.2.9 Barrera corta viento en extracción de áridos

Durante la extracción de áridos existen emisiones de MP10 asociadas al harneo. Se propone la medida de instalación de una barrera cortaviento, consistente en una malla de polietileno del tipo "malla sombra" (80% cobertura) dispuesta en postes distanciados cada tres metros, con una altura no menor a 2 metros por sobre la operación. Esta barrera rodea el perímetro de la zona en donde se realiza el harneo, lo cual disminuye la velocidad y turbulencia del viento, y evita la volatilización de material particulado.

Según la Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas del Gobierno Vasco esta medida permite una reducción del 70% de las emisiones de la extracción de áridos¹³⁰. La Tabla 8-33 presenta la estimación de reducción de emisiones producto de la instalación de barrera en cada una de las 5 zonas de extracción de áridos identificadas en el inventario de emisiones.

Tabla 8-33 Reducción de emisiones por barrera cortaviento en extracción de áridos

Áridos	Perímetro (metros)	Emisiones Extracción de Áridos		Reducción Emisiones	
		MP10	MP2,5	MP10	MP2,5
Puente las tinajas	1.024	15,46	0,05	10,82	0,03
La Sombra	1.070	19,70	0,07	13,79	0,05
Áridos Aconcagua	5.479	110,82	0,34	77,58	0,23
Tobalongo	1.614	13,34	0,04	9,34	0,03
Túnel la calavera	1.271	13,74	0,04	9,62	0,03
Total	10.458	173,06	0,53	121,14	0,37

Fuente: Elaboración propia. Perímetro de cada sitio de extracción de áridos se estimó utilizando Google Earth.

Para estimar los costos de instalación de una barrera cortaviento se utilizó el Decreto 109, en el cual se establecen los costos, que fija los valores de las actividades que se bonificarán en el marco del Sistema de Incentivo para Sustentabilidad Agroambiental de los suelos agropecuarios¹³¹. Este documento contiene una medida de barrera cortaviento que coincide con las características requeridas según la Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas del Gobierno Vasco¹³².

¹³⁰ Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, 'Guía Para La Prevención de Emisiones Difusas de Partículas', 2012.

¹³¹ Ministerio de Agricultura, 'Decreto 109/2018: Establece Tabla de Costos Para El Año 2018, Que Fija Los Valores de Las Actividades Que Se Bonificarán En El Marco Del Sistema de Incentivo Para Sustentabilidad Agroambiental de Los Suelos Agropecuarios', 2018, 7–8.

¹³² Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, 'Guía Para La Prevención de Emisiones Difusas de Partículas', 2012.

Al buscar las características de la malla que se costea para la barrera se encuentra que tiene una vida útil de 4 años, debido a la deterioración por la exposición al sol. El costo unitario corresponde a 2.486 CLP2017/metro¹³³.

8.1.2.10 Prohibición quemas

La medida consiste en prohibir las quemas agrícolas y forestales en las comunas de la V Región (véase Sección 11.4.10 para mayores detalles sobre la presente medida).

La medida considera la prohibición de emisiones en las comunas de interés, por lo que se obtiene una reducción de emisiones en comparación con la línea base correspondiente a las quemas que actualmente se producen. Las emisiones post-medida se obtienen mediante la aplicación de un factor de reducción al nivel de actividad actual (conocido gracias al inventario de emisiones, véase Sección 11.4.10).

Este factor corresponde al porcentaje de superficies que ya no se podrán quemar tras la implementación de la medida, es equivalente a un 70% de los terrenos agrícolas y a un 90% de las superficies forestales, supuesto del consultor tomando en cuenta que las quemas son necesarias, en menor medida, para regenerar los bosques y de la vegetación¹³⁴. La costo-eficiencia de la medida no se ve afectada por estos porcentajes, por lo que su evaluación comparativa a otras medidas es correcta.

A continuación, la Tabla 8-34 presenta las emisiones evitadas gracias a la prohibición de quemas.

Tabla 8-34 Emisiones evitadas gracias a la prohibición de quemas [ton/año]

	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NH3	CN	NOx	SO2	CO2	CH4	N2O
Catemu	8,4	0,7	1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,3	0,0	118,2	7,2	0,2
Llay Llay	9,4	0,8	1,2	1,2	1,1	0,1	0,1	0,3	0,0	136,3	8,3	0,2
Panquehue	9,1	0,8	1,1	1,1	1,1	0,1	0,1	0,3	0,0	131,0	8,0	0,2
Hijuelas	9,6	0,8	1,2	1,2	1,1	0,2	0,1	0,4	0,0	136,0	8,3	0,2
La Calera	1,7	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	24,6	1,5	0,0
La Cruz	5,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,1	0,1	0,2	0,0	82,3	5,0	0,1
Nogales	8,3	0,7	1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,3	0,0	120,0	7,3	0,2
Quillota	13,9	1,2	1,7	1,7	1,6	0,2	0,2	0,5	0,1	195,8	11,9	0,3
Total	66,2	5,6	8,1	8,1	7,7	1,0	0,9	2,4	0,3	944,1	57,3	1,7

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los costos asociados a la implementación de la presente medida, sabiendo que en la situación actual existen costos de “operación” (e.g. fiscalización y gestión post-quemas)

¹³³ MINAGRI, Decreto N°4/2017. Establece Tabla de Costos Para El Año 2017, Que Fija Los Valores de Las Actividades Que Se Bonificarán En El Marco Del Sistema de Incentivo Para Sustentabilidad Agroambiental de Los Suelos Agropecuarios, 2017.

¹³⁴ Nadia Ouadah and others, ‘Impact Du Feu Sur La Stratégie de Régénération d’espèces Végétales Forestières Méditerranéennes’, 71 (2016), 356–66.

asociados a las quemas, esta medida permitiría una reducción de estos costos de “operación” en lo referente a las superficies que no se quemarán (asumiendo que se cumplirá la restricción y que los terrenos abarcados por ésta estarán asociados a un costo menor de fiscalización) (ver Tabla 8-35). Se estima un ahorro de \$18.278 CLP2015¹³⁵ por hectárea.

Tabla 8-35 Ahorro de costos asociado a la prohibición de quemas en un porcentaje de las superficies agrícolas y forestales [CLP2015/año]

Quema	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Agrícola	501.295	578.139	555.811	576.865	104.394	349.166	508.857	830.531	4.005.059
Forestal	17.259	1.757	5.578	16.704	2.435	1.464	5.255	28.045	78.495
Total	518.553	579.896	561.390	593.569	106.829	350.630	514.112	858.576	4.083.554

Fuente: Elaboración propia a partir de ¹³⁶ y ¹³⁷

8.1.3 Resumen Costo Eficiencia Medidas evaluadas

Para pasar de valores monetarios en CLP en cada año a valores en UF, se utilizaron los valores presentados en la Tabla 8-36.

¹³⁵ Marcelo Mauricio Villena, Carlos Chávez, and SCL Econometrics, *Análisis General de Impacto Económico y Social Del Rediseño Del Plan Operacional Para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica Por Material Particulado Respirable (PM10) En La Región Metropolitana. Estudio Realizado Para CONAMA RM.* (SCL Econometrics, 2007).

¹³⁶ GreenlabUC, *Desarrollo de Modelo Genérico Para Evaluación de Planes de Prevención y de Descontaminación Ambiental Para Aire Estudio Solicitado Por El Ministerio Del Medio Ambiente*, 2013.

¹³⁷ Marcelo Mauricio Villena, Carlos Chávez, and SCL Econometrics, *Análisis General de Impacto Económico y Social Del Rediseño Del Plan Operacional Para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica Por Material Particulado Respirable (PM10) En La Región Metropolitana. Estudio Realizado Para CONAMA RM.* (SCL Econometrics, 2007).

Tabla 8-36 Valor de UF por año [CLP]

Año	UF Observado
2004	\$17.030
2005	\$17.526
2006	\$18.162
2007	\$18.789
2008	\$20.429
2009	\$21.007
2010	\$21.172
2011	\$21.846
2012	\$22.599
2013	\$22.981
2014	\$23.961
2015	\$25.022
2016	\$26.022
2017	\$26.572
2018	\$27.166

Fuente: http://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2018.htm

La Tabla 8-37 resumen los costos asociados a cada medida, separados por inversión anualizada¹³⁸ y costos de operación anuales.

Tabla 8-37 Costos anualizados por medida [UF/año]

Medida	Inversión anualizada	Costos anuales	Total
Leña - Recambio Equipos	1.722	-822	900
Leña - Lena Seca	98	2.342	2.439
Leña - Aislación Viviendas	123.544	-5.198	118.347
Leña - Prohibición Salamandra y Chimenea	1.145	-630	619
Móviles – Barredora MP	6.722	21.238	27.960
Cambio combustible - Biomasa a GN Calderas	0	295	295
Precipitador Electroestático - Chagres	3.999	45.170	49.170
Gestión Caminos - El Soldado	6.335	0	6.335
Gestión Caminos - Cantera Ñilhue	6.886	0	6.886
Gestión Caminos - Mina UVA	2.582	0	2.582
Áridos - Barrera Cortaviento	2.259	0	2.259
Quemas Agrícolas - Prohibición Quemas	0	163	163

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de medidas

Para evaluar la eficiencia de cada medida, es necesario comparar su costo con su efecto en la concentración de MP10 y MP2.5. Para esto se utiliza la reducción de emisiones estimada para cada medida en conjunto con los FEC (ver Sección 7.4) para obtener el efecto en concentración.

¹³⁸ La inversión asociada a cada medida se considera con un costo anualizado con una tasa de descuento del 6% y la vida útil de cada medida

Los FEC, en conjunto la matriz emisor-receptor (ver Tabla 7-15) permiten pasar de emisiones a concentración. La Tabla 8-38 y Tabla 8-39 presentan la reducción en concentración estimada para cada medida, para el MP10 y MP2.5, respectivamente. Por lo general, las medidas con mayor reducción de emisiones, como las aplicadas a grandes fuentes, o más cercanas a los receptores, como las medidas del sector leña, tienen un mayor efecto en la concentración ambiental.

Tabla 8-38 Reducción de Concentración de MP10 por medida [ug/m³]

Medida	Reducción Emisiones	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Leña - Recambio Equipos	17,63	0,11	0,12	0,02	0,08	0,12	0,11	0,10	0,14	0,79
Leña - Lena Seca	33,29	0,12	0,15	0,03	0,11	0,25	0,26	0,15	0,34	1,40
Leña - Aislación Viviendas	52,83	0,26	0,31	0,06	0,21	0,38	0,36	0,26	0,48	2,31
Leña - Prohibición Salamandra y Chimenea	13,04	0,06	0,08	0,01	0,05	0,09	0,09	0,06	0,12	0,57
Móviles – Barredora MP	101,47	0,36	0,21	0,15	0,76	2,10	1,42	0,17	1,38	6,54
Cambio combustible - Biomasa a GN Calderas	69,48	0,01	0,00	0,00	0,08	1,08	0,37	0,83	0,16	2,53
Precipitador Electroestatico - Chagres	2.855,15	6,16	1,61	4,14	3,28	0,00	0,00	0,00	0,00	15,20
Gestión Caminos - El Soldado	10,50	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,00	0,02	0,00	0,18
Gestión Caminos - Cantera Ñilhue	3,74	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Gestión Caminos - Mina UVA	12,59	0,02	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
Áridos - Barrera Cortaviento	121,14	0,06	0,14	0,02	0,02	1,42	0,15	0,03	0,32	2,16
Quemas Agrícolas - Prohibición Quemas	8,11	0,01	0,02	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	0,01	0,12

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de medidas y uso de FEC (ver Sección 7.4)

Tabla 8-39 Reducción de Concentración de MP2.5 por medida [ug/m³]

Medida	Reducción Emisiones	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Leña - Recambio Equipos	18,19	0,11	0,13	0,02	0,08	0,13	0,11	0,10	0,14	0,82
Leña - Lena Seca	31,85	0,12	0,14	0,02	0,11	0,24	0,25	0,14	0,33	1,35
Leña - Aislación Viviendas	50,09	0,25	0,29	0,05	0,20	0,36	0,34	0,25	0,46	2,20
Leña - Prohibición Salamandra y Chimenea	13,44	0,07	0,08	0,01	0,05	0,10	0,09	0,07	0,12	0,59
Móviles – Barredora MP	12,15	0,04	0,03	0,02	0,09	0,26	0,18	0,02	0,17	0,81
Cambio combustible - Biomasa a GN Calderas	59,96	0,01	0,00	0,00	0,07	0,95	0,32	0,79	0,14	2,28
Precipitador Electroestatico - Chagres	2.664,62	5,78	1,52	3,89	3,03	0,00	0,00	0,00	0,00	14,2
Gestión Caminos - El Soldado	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Gestión Caminos - Cantera Ñilhue	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Gestión Caminos - Mina UVA	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Áridos - Barrera Cortaviento	1,26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Quemas Agrícolas - Prohibición Quemas	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de medidas y uso de FEC (ver Sección 7.4)

Si se considera el costo por unidad de concentración reducido, es posible obtener una curva de costo abatimiento marginal (ver Figura 8-1 y Figura 8-2). Esta curva presenta de manera ordenada, de menor a mayor costo eficiencia, las medidas disponibles para la reducción de emisiones. La figura también muestra (en el eje X) el potencial de reducción de concentración de cada medida¹³⁹. Por temas de diferencia de orden de magnitud, el eje vertical se presenta en escala logarítmica.

Esta curva permite jerarquizar las medidas según su costo eficiencia, permitiendo priorizar las medidas a incluir en un instrumento de gestión ambiental en la zona.

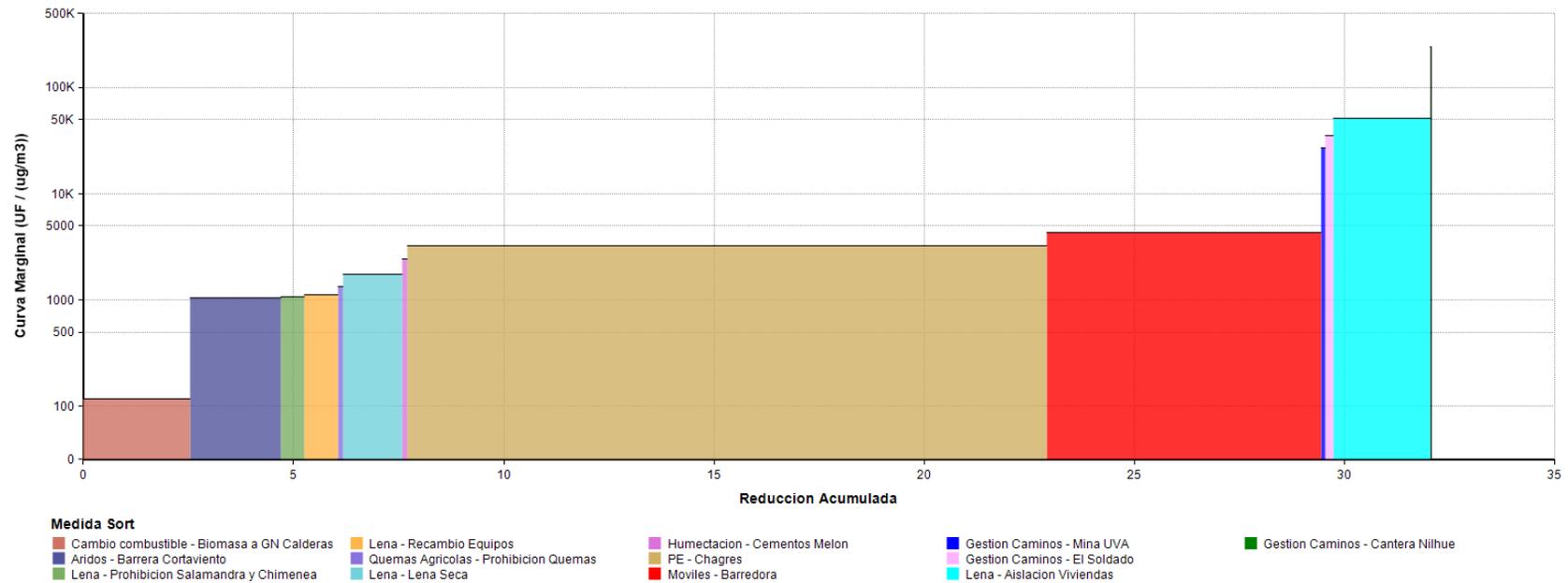
En particular de las curvas se observa lo siguiente:

- Existen medidas convenientes a aplicarse en el sector residencial, en particular la prohibición de salamandras y chimeneas, recambio de equipos y el uso de leña seca.
- Las medidas de recambio de combustible para calderas a biomasa y precipitador electrostático para la fundición Chagres permiten reducciones importantes en la concentración¹⁴⁰.

¹³⁹ Se sumó para cada medida la reducción total sobre todas las comunas.

¹⁴⁰ Ancho en el eje X de la medida indica la reducción de concentración estimada.

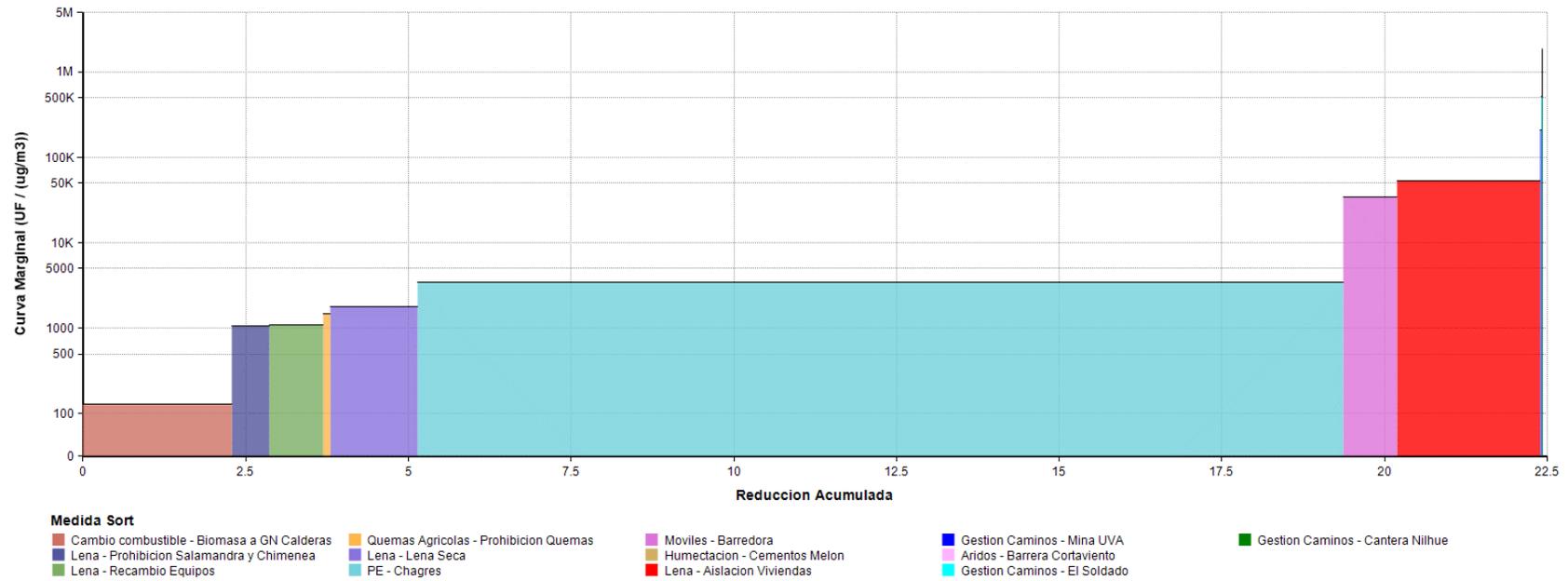
Figura 8-1 Curva de costo abatimiento marginal para MP10[UF/(ug/m³)]



El eje vertical esta presentado en escala logarítmica de 10.

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de medidas

Figura 8-2 Curva de costo abatimiento marginal para MP2.5[UF/(ug/m³)]



El eje vertical esta presentado en escala logarítmica de 10.

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de medidas

8.1.4 Costos de fiscalización

Los costos de fiscalización tienen una gran dependencia sobre el tipo, características específicas y cantidad de medidas de reducción de emisiones que se decida finalmente incluir en el instrumento de gestión ambiental. Por este motivo, se considera que una estimación detallada de los costos de fiscalización no sería de utilidad mientras no se conozca el detalle de tales medidas. Sin embargo, sí es de utilidad conocer su orden de magnitud, por lo que a continuación se presenta una estimación de estos.

Para realizar esta estimación, se utilizó el valor unitario de fiscalización para el programa de PPDA del año 2018¹⁴¹. Este costo hace referencia al costo unitario de actividades de fiscalización, específicamente para planes de prevención y/o descontaminación, y son los costos más actualizados disponibles.

La Tabla 8-40 presenta el resumen del presupuesto y número de actividades de fiscalización a realizar para cada entidad fiscalizadora, de acuerdo al programa PPDA del 2018 ¹⁴². Se observa un costo unitario por actividad de fiscalización entre los 200 mil a 875 mil CLP.

Tabla 8-40 Resumen presupuesto actividades de fiscalización 2018 para PPDA

Entidad Fiscalizadora	Presupuesto 2018 [CLP]	N° Actividades	Costo Unitario [CLP/act]
SMA	439.023.047	502	874.548
Salud	191.245.500	941	203.236
SAG	2.010.251	9	223.361

Fuente: Elaboración propia a partir de SMA, Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018

En particular, la SMA tiene programadas 60 fiscalizaciones al año para los PDA más recientes¹⁴³¹⁴⁴. Con respecto a Salud, a los PDA más recientes se les realiza aproximadamente 25

¹⁴¹ SMA, Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018, 2017, pp. 1–11.

¹⁴² SMA, Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018.

¹⁴³ Talca y Maule, Chillán y Chillán Viejo, Valdivia

¹⁴⁴ SMA, Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018.

fiscalizaciones por año ¹⁴⁵. Mientras que las 9 actividades del SAG están comprometidas al mismo PDA^{146 147}.

Para la evaluación de los costos sociales de fiscalización de un instrumento de gestión ambiental a aplicar en la zona, se considera que anualmente se requieren 60 fiscalizaciones de la SMA, 25 de Salud y 9 del SAG. Esto generaría un costo aproximado de 60 millones de CLP al año. Este costo se debe incorporar a los costos del instrumento en su totalidad, independiente de las medidas aplicadas.

A modo de referencia, esta estimación se puede comparar con el presupuesto de costos de fiscalización asociado al PDA de Curicó, realizado por la SMA en 2016. En la Tabla 8-41 se presentan los valores correspondientes a la implementación de todas las medidas del PDA Curicó, sin considerar las medidas asociadas al uso de leña, proyectados para cinco años. Es posible observar que el orden de magnitud de los costos presupuestados está en el orden de magnitud de la estimación realizada, con una desviación cercana al 15%.

Tabla 8-41 Costos de fiscalización anuales proyectados para cinco años para el PDA de Curicó

2017	2018	2019	2020	2021
\$ 86.600.000	\$ 69.850.000	\$ 69.100.000	\$ 72.100.000	\$ 74.600.000

Fuente: Elaboración propia a partir de ¹⁴⁸

8.2 Estrategias para la gestión de calidad del aire

A continuación, se dan lineamientos generales para la gestión de la calidad del aire en el mediano y largo plazo. Si bien es fundamental la incorporación de medidas de reducción de emisiones a las fuentes actuales, también se deben generar instrumentos que regulen la entrada de nuevas fuentes emisoras.

8.2.1 Instrumento de Compensación de Emisiones

La compensación de emisiones, si bien no es una medida de reducción de emisiones per se, corresponde a un instrumento de gestión que tiene por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar y contribuye a la descontaminación atmosférica para recuperar los niveles de calidad del aire mediante consideraciones establecidas en los Planes de Prevención y/o Descontaminación Ambiental o en otro instrumento de gestión ambiental.

¹⁴⁵ SMA, Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018

¹⁴⁶ Plan de Descontaminación para el área circundante a la fundición de Caletones de la división El Teniente de Codelco Chile.

¹⁴⁷SMA, Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018

¹⁴⁸ SMA, 'Anexo 1: Costos Unitarios Para La Fiscalización y Sanción de Planes de Descontaminación Urbanos', 2016.

La Tabla 8-42 resume como ha sido considerado el instrumento de compensación de emisiones en los Planes de Descontaminación ya publicados en Chile.

Tabla 8-42 Descripción de Instrumentos de Compensación de Emisiones en diferentes PDA

Zona	Fuentes Consideradas	Limite	Consideración								
Región Metropolitana	Grandes Establecimientos Existentes	Establecimientos que superan uno o más de las siguientes emisiones <table border="1" data-bbox="613 499 927 579"> <tr> <td>MP (ton/año)</td> <td>NOx (ton/año)</td> <td>SO2 (t/año)</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>40</td> <td>10</td> </tr> </table>	MP (ton/año)	NOx (ton/año)	SO2 (t/año)	2,5	40	10	Reducción o compensación del 30% de sus emisiones.		
	MP (ton/año)	NOx (ton/año)	SO2 (t/año)								
2,5	40	10									
	Proyectos y actividades que ingresen al SEIA	Proyectos que en cualquiera de sus etapas generen un aumento sobre la situación base, en valores iguales o superiores a los que se presentan en la siguiente tabla: <table border="1" data-bbox="509 688 1024 768"> <tr> <td>MP10 (ton/año)</td> <td>MP2,5 (ton/año)</td> <td>NOx (ton/año)</td> <td>SO2 (t/año)</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>2,0</td> <td>8</td> <td>10</td> </tr> </table>	MP10 (ton/año)	MP2,5 (ton/año)	NOx (ton/año)	SO2 (t/año)	2,5	2,0	8	10	Compensación de emisiones totales
MP10 (ton/año)	MP2,5 (ton/año)	NOx (ton/año)	SO2 (t/año)								
2,5	2,0	8	10								
Huasco	Proyectos o actividades que se sometan al SEIA	Proyectos que generen un aumento de emisiones de material particulado superior a 5 t/a	Compensar sus emisiones de material particulado en un 100%								
Valle Central de la región de Ohiggins (2013)	Proyectos o actividades que se sometan al SEIA	Proyectos o actividades nuevas y sus modificaciones, en cualquiera de sus etapas, que tengan asociadas una emisión total anual que implique un aumento sobre la situación base, superior a los valores que se presentan en la siguiente tabla (Unidades en ton/año) <table border="1" data-bbox="574 1031 964 1110"> <tr> <td>MP10 (ton/año)</td> <td>SO2 (t/año)</td> <td>NOx (t/año)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>30</td> <td>15</td> </tr> </table>	MP10 (ton/año)	SO2 (t/año)	NOx (t/año)	5	30	15	Compensar sus emisiones en un 120%		
MP10 (ton/año)	SO2 (t/año)	NOx (t/año)									
5	30	15									
Chillán y Chillán Viejo (2016)	Proyectos o actividades que se sometan al SEIA	Proyectos que directa o indirectamente generen emisiones, respecto de su situación base, iguales o superiores a 1 ton/año de MP.	Compensar sus emisiones en un 120%								
Valdivia	Proyectos o actividades que se sometan al SEIA	Proyectos que directa o indirectamente generen emisiones respecto de su situación base, iguales o superiores a 1 ton/año de material particulado, y/o sus fracciones.	Compensar sus emisiones en un 120%								
Osorno	Proyectos o actividades que se sometan al SEIA	Proyectos o actividades que directa o indirectamente generen emisiones respecto de su situación base, iguales o superiores a 1 ton/año de material particulado.	Compensar sus emisiones en un 120%								
Talca y Maule	Proyectos o actividades, que se sometan al SEIA	Proyectos o actividades que directa o indirectamente generen emisiones iguales o superiores a 1 ton/año de material particulado, respecto de su situación base.	Compensar sus emisiones en un 120%								
Temuco y Padre las Casas (2015)	Proyectos o actividades que se sometan al SEIA	Proyectos que durante su fase de operación, generen emisiones de material particulado iguales o superiores a 0,5 ton/año, respecto a su situación base.	Compensar sus emisiones en un 120 %								
Tocopilla	Aquellos proyectos o actividades que se someten al SEIA	Proyectos que generen aumento de emisiones de material particulado provenientes de procesos de combustión, respecto a su situación base, respecto de su situación base.	Compensar este aumento en un 100% o , cumplir con un límite de concentración en chimenea de 50 mg/m ³ N, normalizado a 25°C y 1 atm y corregido por O ₂ , de acuerdo para el combustible, siempre que no signifiquen emisiones superiores al 1% de la meta global de emisiones del plan.								
Temuco y Padre las Casas (2010)	Aquellos proyectos o actividades que se someten al SEIA	Proyectos que directa o indirectamente generen emisiones, respecto de su situación base, iguales o superiores a 1 ton/año de MP10, o de 0,5 ton/año de MP10 tratándose de edificios que consulten calderas de calefacción grupal.	Compensar sus emisiones en un 120%								

Zona	Fuentes Consideradas	Limite	Consideración						
Potreriillos, división El Salvador (CODELCO)	Fuentes emisoras de anhídrico sulfuroso y material particulado al interior de la zona saturada	Emisión anual máxima establecida en el cronograma de reducción para el año 2000. <table border="1" data-bbox="565 285 971 369"> <thead> <tr> <th>Contaminante</th> <th>Anhídrico sulfuroso</th> <th>MP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Límite (ton/año)</td> <td>100.000</td> <td>5.500</td> </tr> </tbody> </table>	Contaminante	Anhídrico sulfuroso	MP	Límite (ton/año)	100.000	5.500	Compensar al menos un 120 % de sus emisiones.
Contaminante	Anhídrico sulfuroso	MP							
Límite (ton/año)	100.000	5.500							

Fuente: Elaboración propia a partir de PDA revisados

8.2.2 Buenas prácticas para el control de polvo resuspendido

Del análisis del inventario de emisiones (ver Sección 6.8) se identifica aportes importantes de polvo fugitivo en faenas mineras y extracción de áridos (ver Sección 6.8.6). Si bien se propone y evalúa la implementación de una medida de reducción de emisiones para la disminución de las emisiones fugitivas de MP10 y MP 2.5, se considera relevante considerar la dificultad de la cuantificación y control de estas emisiones. Muchas de las medidas que permitirán la disminución de estas emisiones no son cuantificables ya que consisten más bien en buenas prácticas en el ejercicio de las actividades asociadas a dichas emisiones.

Por este motivo en la presente sección se plantean buenas prácticas para la prevención de las emisiones de polvo resuspendido en faenas mineras, extracción de áridos y transferencias de material.

La guía para la prevención de emisiones difusas del Gobierno Vasco ¹⁴⁹ recopila métodos y técnicas primarias y secundarias¹⁵⁰ para prevenir las emisiones de polvo debidas a la manipulación de sólidos pulverulentos a granel. Esto se complementa con la Guía, con el mismo fin, desarrollada por la SEREMI de Medio Ambiente de la región de Valparaíso y el MMA ¹⁵¹, ambas fuentes se resumen a continuación:

Tabla 8-43 Buenas prácticas para la prevención de las emisiones de polvo resuspendido en faenas mineras

Etapa	Clasificación	Tipo de medida	Medida
Almacenamiento	Primarias	Organizativas	Planificación, inspección y mantenimiento de los lugares de almacenamiento
			Reducción de las superficies expuestas al viento
			Control e inspección
		Constructivas	Silos y tolvas
			Hangares, tejados, bóvedas, cubiertas auto-instalables, domos

¹⁴⁹ (2012)

¹⁵⁰ Los métodos primarios tienen por objeto impedir la formación de polvo y los secundarios buscan limitar la dispersión del polvo cuando no se haya podido impedir su formación Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial..

¹⁵¹ Ministerio del Medio Ambiente and SEREMI del Medio Ambiente Región de Valparaíso, *Guía de Buenas Prácticas En Almacenamiento, Transporte y Manipulación de Graneles Sólidos En Instalaciones Industriales*, 2016.

Etapa	Clasificación	Tipo de medida	Medida	
		Técnicas	Montículos, barreras, pantallas naturales o artificiales	
			Protección contra el viento	
			Cubierta de almacenamiento abierto	
			Humidificación del almacenamiento abierto	
			Sistemas de ventilación/extracción	
			Uso de encostrantes, aglomerantes o similares	
	Secundarias		Aspersión de agua, cortinas de agua y aspersión de agua a presión	
			Extracción de polvo de hangares y silos de almacenamiento	
	Manipulación	Primarias	Organizativas	Reducir la altura de caída cuando se carga y descarga el material
				Cerrar totalmente la cuchara o las garras tras haber recogido el material
				Dejar la cuchara en las tolvas el tiempo suficiente después de la descarga
				Detener el funcionamiento de la cuchara cuando sopla viento fuerte
				Hacer funcionar la cinta transportadora a la velocidad adecuada
				Evitar cargar la cinta hasta los bordes
Elegir la posición correcta durante la descarga a un camión				
Reducir las distancias de transporte				
Ajustar la velocidad de los vehículos				
Utilizar carreteras de firme duro				
Reducir las superficies expuestas al viento				
Implementación de sistemas de carga/descarga de tolvas				
Control e inspección				
Secundarias				
		Utilizar cintas transportadoras cerradas: tubulares, helicoidales		
		Utilizar cintas transportadoras sin poleas de apoyo, minimizar la velocidad de bajada		
		Minimizar la altura de caída libre: tolvas con caídas en cascada		
		Utilizar barreras contra la dispersión del polvo en pozos de descarga y tolvas		
		Chasis de vehículos con extremidades redondeadas		
		Instalar pantallas para cintas transportadoras abiertas		
		Implementar sistemas de captación de polvo		
		Envolver o cubrir las fuentes de emisión		
		Colocar coberturas, fundas o tapones en los tubos de llenado		
		Instalar sistemas de filtrado para cintas transportadoras neumáticas		
		Pozos de descarga con equipos de aspiración, cubierta y barreras corta viento		
Técnicas de aspersión de agua/cortinas de agua y de aspersión de agua a presión				
Limpiar las cintas transportadoras				
Equipar los camiones con aletas mecánicas/hidráulicas				
Limpiar las carreteras				
Limpiar los neumáticos de los vehículos				

Fuente: ¹⁵²

El cumplimiento de estas buenas prácticas, así como el control e inspección de su cumplimiento (señalética, capacitaciones, etc.) permitirá la disminución de las emisiones fugitivas de material particulado en la zona de interés.

8.3 Estimación de beneficios

En la presente sección se realiza una estimación de los beneficios asociados a la reducción de la concentración de material particulado para cada medida evaluada.

De acuerdo a la guía metodológica para la elaboración de AGIES¹⁵³ del MMA¹⁵⁴, la estimación de beneficios considera los siguientes pasos:

1. Identificación de Impactos
2. Cuantificación de Impactos
3. Valorización

8.3.1 Identificación de Impactos

Si bien existen diversos impactos asociados a salud, como mortalidad y morbilidad, agricultura, cambio climático o visibilidad; en este informe se evaluarán únicamente los casos evitados de mortalidad prematura por exposición a MP2.5. Esto debido a que en términos de beneficios son los más importantes, y cuya metodología y parámetros son confiables y validados internacionalmente.

8.3.2 Cuantificación de impactos

Para la cuantificación de impactos se utilizan las CRF¹⁵⁵, obtenidas de literatura internacional, en conjunto a los cambios de concentración de MP2.5 producto de cada medida, la población afectada y las tasas de incidencia base.

La siguiente ecuación permite estimar la cuantificación de impactos:

Ecuación 3 Cuantificación de Impactos

$$\sum_{c=1}^C \Delta Efectos_{c,e} = \sum_{c=1}^C (e^{CRF_e * \Delta C_c} - 1) * Pob_c * Tasa Incidencia_{c,e}$$

¹⁵² Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial; Ministerio del Medio Ambiente and SEREMI del Medio Ambiente Región de Valparaíso.

¹⁵³ Análisis General del Impacto Económico y Social

¹⁵⁴ MMA, *Guía Metodológica. Para La Elaboración de Un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) Para Instrumentos de Gestión de Calidad Del Aire*, sec. 11.

¹⁵⁵ Función de Concentración-Respuesta, por sus siglas en inglés *Concentration Response Function*

Donde:

$\Delta Efectos_{c,e}$: Cambio en el total de efectos “e” en la localidad “c”

CRF_e : Función de concentración respuesta del efecto “e”

ΔC_c : Cambio en la concentración del contaminante de interés en la localidad “c”

Pob_c : Población total afectada en la localidad “c”

$Tasa\ Incidencia_{c,e}$: Tasa de incidencia base del efecto “e” en la localidad “c”

La población a nivel de comunal encuentra disponible en el INE. La Tabla 8-44 presenta las tasas de mortalidad base para la V Región, para el 2016. Se utilizaron datos regionales para tener una mayor validez estadística de las tasas de mortalidad de la población. Los casos de mortalidad se dividen en causas de enfermedad y externas, dado que la reducción de concentración únicamente tiene efecto sobre las enfermedades.

Tabla 8-44 Tasas de mortalidad base para la V Región, 2016 [casos/1,000 hab]

Grupo Etario	Todas (Enfermedad)	Externas	Total
0-1	6,23	0,14	6,36
1-4	0,22	0,09	0,31
5-12	0,11	0,02	0,12
13-17	0,13	0,12	0,26
18-29	0,28	0,38	0,66
30-44	0,77	0,42	1,18
45-59	4,29	0,39	4,68
60-74	16,03	0,58	16,61
75+	64,50	1,77	66,27

Fuente: Elaboración propia en base a información de DEIS (mortalidad y nacimientos) e INE (población)

El cambio de concentración se obtiene de lo estimado para cada medida.

Los CRF a utilizar para los casos de mortalidad por MP2.5 son los obtenidos de los estudios de Lepeule et al.¹⁵⁶ y Krewski et al.¹⁵⁷ (ver Tabla 8-45), los cuales corresponden a los utilizados por la EPA en sus evaluaciones más recientes. Se realizan escenarios de evaluación con ambas CRF, considerando que la CRF de Krewski et al. (2009) implica un enfoque de evaluación más conservador¹⁵⁸.

¹⁵⁶ Johanna Lepeule and others, ‘Chronic Exposure to Fine Particles and Mortality: An Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study from 1974 to 2009’, *Environmental Health Perspectives*, 120.7 (2012), 965–70 <<https://doi.org/10.1289/ehp.1104660>>.

¹⁵⁷ Daniel Krewski and others, ‘Extended Follow-up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality.’, *Health Effects Institute*, 2009 <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19627030>>.

¹⁵⁸ El estudio de Krewski et al. (2009) corresponde a la actualización del estudio de Pope et al. (2002), de donde proviene el CRF utilizado actualmente por el MMA.

Tabla 8-45 CRF utilizados para estimar mortalidad prematura por todas las causas por exposición a MP2.5

Grupo Etario	Métrica	Beta	Sigma Beta	RR por 10 ug/m ³	I.C. 95%	Fuente
25+	Media 24h	0,0131	0,00335	1,140	[1,070; 1,220]	(Lepeule et al., 2012)
30+	Media 24h	0,0058	0,00096	1,060	[1,024; 1,097]	(Krewski et al., 2009)

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes citadas

La Tabla 8-46 presenta los casos de mortalidad evitados por medida. Las medidas más relevantes serían el precipitador electroestático en Chagres, el cambio de biomasa en calderas muy emisoras, la aislación térmica y la leña seca.

Tabla 8-46 Casos de mortalidad evitados por medida según CRF [muertes]

Medida	Lepeule, 2012	Krewski, 2009
Leña - Recambio Equipos	2,35	1,05
Leña - Lena Seca	4,45	1,98
Leña - Aislación Viviendas	6,73	3,00
Leña - Prohibición Salamandra y Chimenea	1,81	0,80
Móviles – Barredora MP	2,78	1,24
Cambio combustible - Biomasa a GN Calderas	6,71	2,99
Precipitador Electroestatico - Chagres	14,74	6,65
Gestión Caminos - El Soldado	0,04	0,02
Gestión Caminos - Cantera Ñilhue	0,01	0,00
Gestión Caminos - Mina UVA	0,02	0,01
Áridos - Barrera Cortaviento	0,03	0,01
Quemas Agrícolas - Prohibición Quemas	0,36	0,16

Fuente: Elaboración propia

8.3.3 Valorización

Para valorizar los casos de mortalidad se emplea el valor de la vida estadística utilizado por el MMA en sus AGIES más recientes, correspondiente a 16.765 UF2018. Este valor se multiplica por cada caso de mortalidad evitado.

La siguiente tabla presenta los beneficios estimados para cada medida, según CRF utilizada. Los resultados son similares a los presentados en las curvas de costo abatimiento marginal (ver Figura 8-1 y Figura 8-2), donde las medidas con mayores beneficios son las más costo efectivas, como el cambio de combustible en calderas a biomasa, el precipitador electroestático para Chagres, la prohibición de salamandras y la leña seca.

Tabla 8-47 Beneficios estimados por medida [UF]

Medida	Lepeule 2012				Krewski 2009			
	Costo	Beneficio	Beneficio neto	Ratio Beneficio neto	Costo	Beneficio	Beneficio neto	Ratio Beneficio neto
Leña - Recambio Equipos	900	39.456	38.555	43,83	900	17.554	16.654	19,50
Leña - Lena Seca	2.439	74.626	72.187	30,59	2.439	33.219	30.779	13,62
Leña - Aislación Viviendas	157.413	112.797	-44.616	0,72	157.413	50.231	-107.182	0,32
Leña - Prohibición Salamandra y Chimenea	619	30.308	29.689	48,94	619	13.483	12.864	21,77
Móviles - Barredora	27.960	46.640	18.680	1,67	27.960	20.756	-7.205	0,74
Cambio combustible - Biomasa a GN Calderas	295	112.488	112.193	381,05	295	50.158	49.862	169,91
Precipitador Electroestatico - Chagres	50.434	247.116	196.682	4,90	50.434	111.503	61.069	2,21
Gestión Caminos - El Soldado	6.335	626	-5.709	0,10	6.335	278	-6.057	0,04
Gestión Caminos - Cantera Ñilhue	6.886	92	-6.793	0,01	6.886	41	-6.845	0,01
Gestión Caminos - Mina UVA	2.582	311	-2.271	0,12	2.582	138	-2.444	0,05
Áridos - Barrera Cortaviento	2.259	447	-1.812	0,20	2.259	199	-2.060	0,09
Quemas Agrícolas - Prohibición Quemas	163	6.019	5.856	36,88	163	2.677	2.514	16,40

Fuente: Elaboración propia

8.4 Priorización de medidas y cronograma de acción propuesto

Tomando en cuenta los resultados de la presente sección, respecto a la curva de costo de abatimiento marginal (ver Figura 8-1 y Figura 8-2) y el impacto en la reducción de emisiones, tanto para MP10 (ver Tabla 8-38) como MP2.5 (ver Tabla 8-39), el ratio Beneficio Neto (ver Tabla 8-47) como también considerando factibilidad de implementación de diferentes regulaciones, se pueden rescatar los siguientes puntos:

- Considerando las medidas aplicables al sector industrial y considerando su costo marginal relativo a las otras, las medidas Cambio de Combustible – Biomasa a GN Calderas y PE Chagres obtienen una reducción acumulada de emisiones considerable, y buen nivel relativo de costo marginal y ratio Beneficio Neto, lo que justifica una priorización en la implementación de regulaciones asociadas a este tipo de fuentes.
- Por su parte, las medidas aplicables al sector residencial asociada a la Prohibición de Salamandras y Chimenea, Leña Seca y Recambio de Equipos si bien cuentan con un impacto menor en reducción de emisiones comparada con la reducción de las medidas del sector industrial recién mencionadas, presentan buenos niveles de costos marginales y ratio beneficio neto, por lo que también justifica una priorización en la implementación de regulaciones asociadas a este tipo de fuentes.
- Por último, si bien la reducción de emisiones asociada a la medida Prohibición de Quemadas Agrícolas no presenta un alto impacto en la reducción de emisiones, si presenta un buen nivel en los indicadores de costo marginal y ratio beneficio neto. Esto, sumado a que esta medida ya ha sido implementada en otras áreas del territorio nacional, adelanta que no debiese existir mayor complejidad para su implementación por lo que también justifica una priorización en la implementación de regulación a esta medida.
- Cada una de las medidas que fueron listadas en los puntos anteriores ya han sido implementadas en Planes de Descontaminación de las ciudades del centro-sur de Chile por lo que existe aprendizaje que puede ser utilizado para facilitar la implementación de estas regulaciones a estas fuentes.

En línea con lo establecido en los Planes de Descontaminación que ya se han implementado en el centro-sur de Chile justificados por el estado de saturación de MP10, los cuales indican que el plazo para salir de la condición de saturación sea de 10 años, pero también considerando como último antecedente que el recientemente aprobado Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví estableció un plazo de 5 años para salir de la condición de saturación, se propone que sea este último el plazo para dejar la condición de saturación para esta zona.

Tomando como año base el año 2020, se propone el cronograma de acción presentado en la siguiente tabla.

Tabla 8-48 Propuesta de cronograma de acción para las nuevas regulaciones asociadas al Instrumento de Gestión Ambiental posible de implementar

Sector	Medida	Cronograma
Residencial	Leña Seca	Una vez iniciada la vigencia del instrumento de gestión ambiental y transcurridos seis meses , toda la leña que sea comercializada en la zona saturada debe cumplir la especificación de “leña seca”.
	Prohibición de Salamandras y Chimenea	Una vez iniciado la vigencia del instrumento de gestión ambiental se prohíbe en el área de la zona saturada utilizar salamandras y chimeneas de hogar abierto.
	Recambio de equipos	Una vez iniciada la vigencia del instrumento de gestión ambiental se deberá ejecutar un programa de recambio voluntario de artefactos existentes que combustionen leña o derivados de la madera en la zona saturada. Este programa debiese ejecutarse durante los 3 años que tenga vigencia el instrumento de gestión ambiental.
Quemas Agrícolas	Prohibición de Quemas Agrícolas	Una vez iniciada la vigencia del instrumento de gestión ambiental y transcurridos doce meses , se debe prohibir el uso del fuego para la quema de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal en la zona saturada en el periodo comprendido entre el 15 de abril al 15 de septiembre , para el primer año de vigencia de esta medida, y entre el 1 de abril al 15 de septiembre , a contar del segundo año de vigencia de la misma.
Industrial	Cambio de Combustible – Biomasa a GN Calderas	El plazo para dar cumplimiento a la exigencia de cambio de combustible u establecer un límite de emisión debe ser de veinticuatro meses contados desde la vigencia del instrumento de gestión ambiental para las fuentes existentes, y para las fuentes nuevas desde la fecha de entrada en vigencia del mismo.
	PE Chagres	

Fuente: Elaboración propia en base a lo establecido en otros planes de descontaminación para PM10 de la zona del centro-sur de Chile.

9. Conclusiones

En el presente informe se levantaron y analizaron antecedentes técnicos relevantes para la gestión de la calidad del aire en la zona interior de Valparaíso. En particular, las comunas de interés son: Nogales, La Calera, La Cruz, Quillota, Hijuelas, Catemu, Llay Llay y Panquehue.

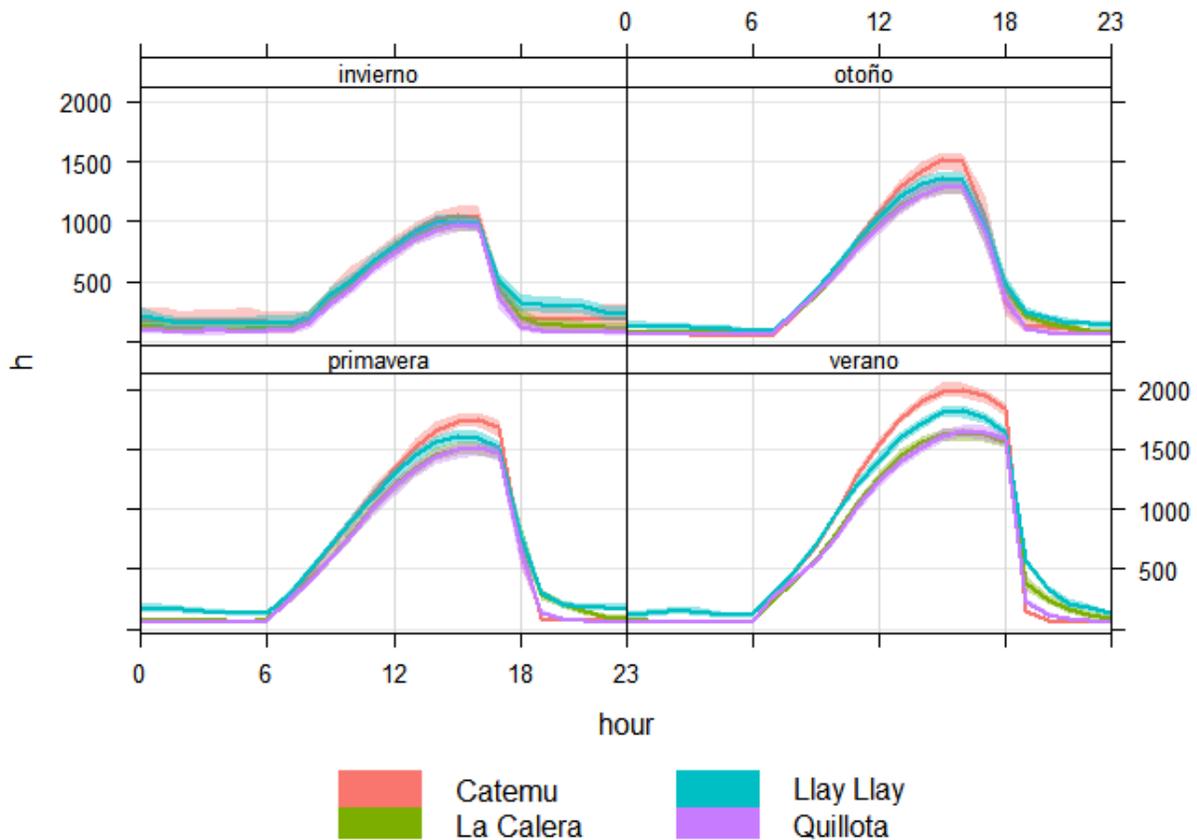
Del análisis de la calidad del aire, de datos del 2015 al 2017, se desprenden los siguientes puntos:

- Las estaciones Catemu y La Calera registran un promedio trianual de concentración de MP10 superior al valor de la norma, establecido en 50 ug/m³. La estación Lo Campo, de la red Chagres, presenta condición de saturación por MP10.
- Las concentraciones observadas de los contaminantes de interés, MP10, SO₂, NO_x y CO, tienen una fuerte relación con la actividad industrial y urbana cercana a las estaciones de medición.
- Para ciertas estaciones es posible identificar fuentes aportantes a la concentración según la dirección y velocidad del viento, considerando las condiciones topográficas de la zona.
- Se observa para todas las estaciones que las concentraciones de los contaminantes de interés aumentan en los meses de invierno y disminuyen los días de fin de semana.
- Las concentraciones de contaminantes siguen ciclos diarios marcados por:
 - Actividad de fuentes móviles, con dos *peaks* de concentración, en la mañana y tarde
 - Actividad antropogénica, con un *peak* durante el día

Con respecto al análisis de trayectorias de viento, hay una alta variabilidad de las direcciones desde las cuales llegan masas de aire a Quillota. La mayor frecuencia de masas de aire que llegan a Quillota llega desde el oeste (zonas de Quillota – La Calera y Concón – Quintero), incluso desde el Gran Valparaíso en algunos casos. La segunda mayor frecuencia de masas de aire provienen desde el norte de Quillota. En menor proporción llegan masas de aire desde el sur, suroeste, este y sureste de Quillota.

Al analizar la altura de la capa de mezcla, se observan que en los meses fríos del año se tiene un menor volumen de dispersión de contaminantes (ver Figura 9-1), lo que favorecería el aumento de la concentración. Estas condiciones meteorológicas son determinantes para la posible generación de episodios críticos de calidad del aire en la zona.

Figura 9-1 Perfil promedio diario de la altura de mezcla por estación climática [metros]



Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos modelados con WRF

Las principales actividades comerciales de la zona, las cuales contribuyen a las emisiones, son diversas:

- Producción agrícola (fruticultura, agroindustria, entre otros)
- Producción industrial (cemento, electricidad, entre otros)
- Minería
- Productos minerales
- Construcción
- Transporte
- Comercio

. Adicionalmente se identifican posibles emisiones por:

- Fuentes móviles
- Consumo de combustible industrial
- Consumo de leña residencial

- Incendios forestales
- Quemas agrícolas
- Fertilizantes y pesticidas en actividad agrícola

Cada una de estas potenciales fuentes emisoras fue caracterizada para estimar sus emisiones de material particulado y sus precursores. Adicionalmente, cada fuente fue georreferenciada para asignar espacialmente sus emisiones para la correcta aplicación del modelo de dispersión.

La Tabla 9-1 presenta los resultados principales del inventario de emisiones para el año 2017. Se observa lo siguiente:

- Las mayores emisiones de MP10 y MP2.5 se asocian a la fuente hornos, principalmente por la fundición Chagres. Esta fundición también contribuye enormemente a las emisiones de SO₂.
- Existen emisiones importantes de MP10, MP2.5 y NO_x en fuentes puntuales de combustión, como calderas, grupos electrógenos y termoeléctricas.
- Otras fuentes emisoras importantes de MP10 corresponden a:
 - Polvo resuspendido por fuentes móviles
 - Extracción de áridos
 - Procesos de grandes fuentes, como extracción y manejo de material
 - Calefactores residenciales
- La calefacción residencial genera emisiones importantes de MP2.5, las cuales pueden generar un impacto importante en la concentración porque:
 - Son emitidas directamente en las zonas urbanas, es decir, en los receptores.
 - Se concentran en los meses fríos del año, los cuales tienen una menor altura de mezcla y presentan peores condiciones de ventilación.
- Las emisiones de NO_x son principalmente por tubo de escape de fuentes móviles, termoeléctricas y grupos electrógenos.

Tabla 9-1 Inventario de emisiones 2017 zona interior Valparaíso [ton/año]

Tipo	Subtipo	Sector	Fuente	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO	COV	
Estacionaria	Puntual	Industria	Caldera	89	74	140	237	124	4	
			GE	8	8	112	7	24	9	
			Horno	3.226	3.031	762	9.128	893	11	
			Proceso	184	30	285	109	1	-	
			Termoeléctrica	86	86	1.477	12	-	-	
		CPR	Caldera	0	0	0	0	0	0	
			GE	6	6	92	6	20	8	
	Areal	Industria	Caldera	0	0	2	0	1	0	
			Aplicación de Fertilizante	-	-	86	-	-	-	
			Aplicación de Pesticida	-	-	-	-	-	321	
			Quema Agrícola	12	11	3	0	94	8	
		CPR	Relleno Sanitario	29	5	0	-	0	31	
			Calefactor	262	248	81	5	4.818	2.246	
			Incendios	Incendio Forestal	339	288	110	34	3.296	-
				Incendio Urbano	2	2	1	-	25	-
Fugitiva	Fugitiva	Industria	Áridos	173	1	-	-	-	-	
			Construcción edificios	4	-	-	-	-	-	
			Preparación de terreno	11	-	-	-	-	-	
	Transporte	Calles	1.117	270	-	-	-	-		
		Desgaste de frenos y neumáticos	25	13	-	-	-	-		
Móvil	En ruta	Transporte	Vehículos	21	21	934	2	1.942	-	
			Moto	-	-	43	0	407	-	
			Bus	36	35	808	1	230	-	
			Camión Liviano-Medio	10	9	366	0	82	-	
			Camión Pesado	39	38	1.095	1	218	-	
	Fuera de Ruta	Industria	Maquinaria	5	5	50	0	22	-	
Total				5.684	4.181	6.447	9.542	12.197	2.638	

Fuente: Elaboración propia

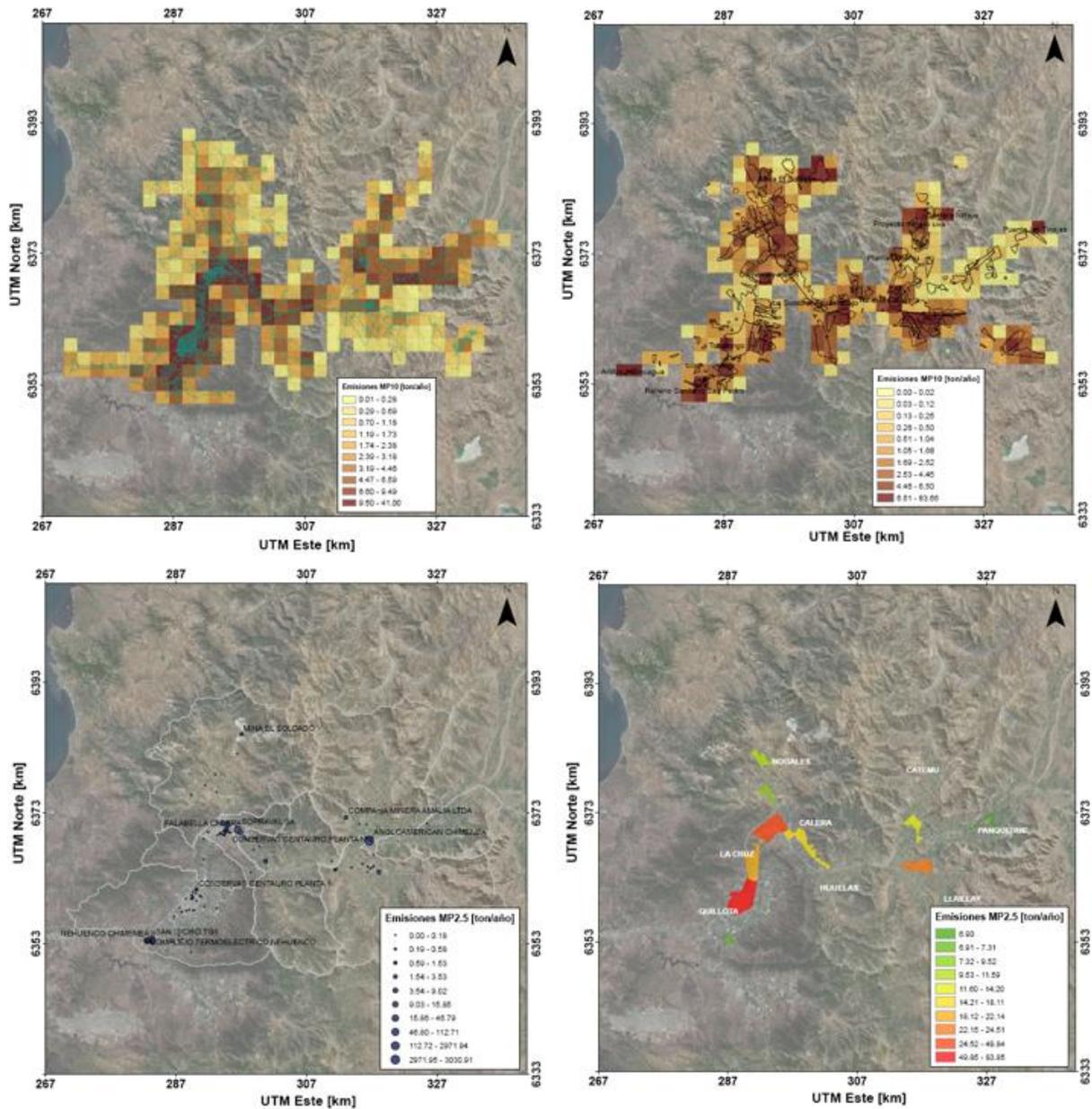
La Figura 9-2 presenta la georreferenciación del inventario de emisiones:

- **Fuentes puntuales DS138:** Emisiones puntuales por combustión, georreferenciadas como puntos con sus coordenadas UTM declaradas.
- **Calefacción residencial:** Emisiones por calefacción en ciudades. Asignadas al polígono de área correspondiente de cada ciudad.
- **Fuentes móviles:** Emisiones por combustión y levantamiento de polvo en calles. Son asignadas al polígono de calles, y posteriormente discretizadas en una grilla de 2km x 2km

para su modelación. Se asignaron las emisiones a cada grilla según la proporción de largo de cada polígono de la línea superpuesta.

- **Otras fuentes areales:** Emisiones restantes, por procesos de grandes fuentes, fugitivas o quemas agrícolas. Son asignadas a sus polígonos de área correspondientes, y posteriormente discretizadas en una grilla de 2km x 2km para su modelación. Se asignaron las emisiones a cada grilla según la proporción de superficie de cada polígono superpuesto.

Figura 9-2 Inventario de emisiones georreferenciado



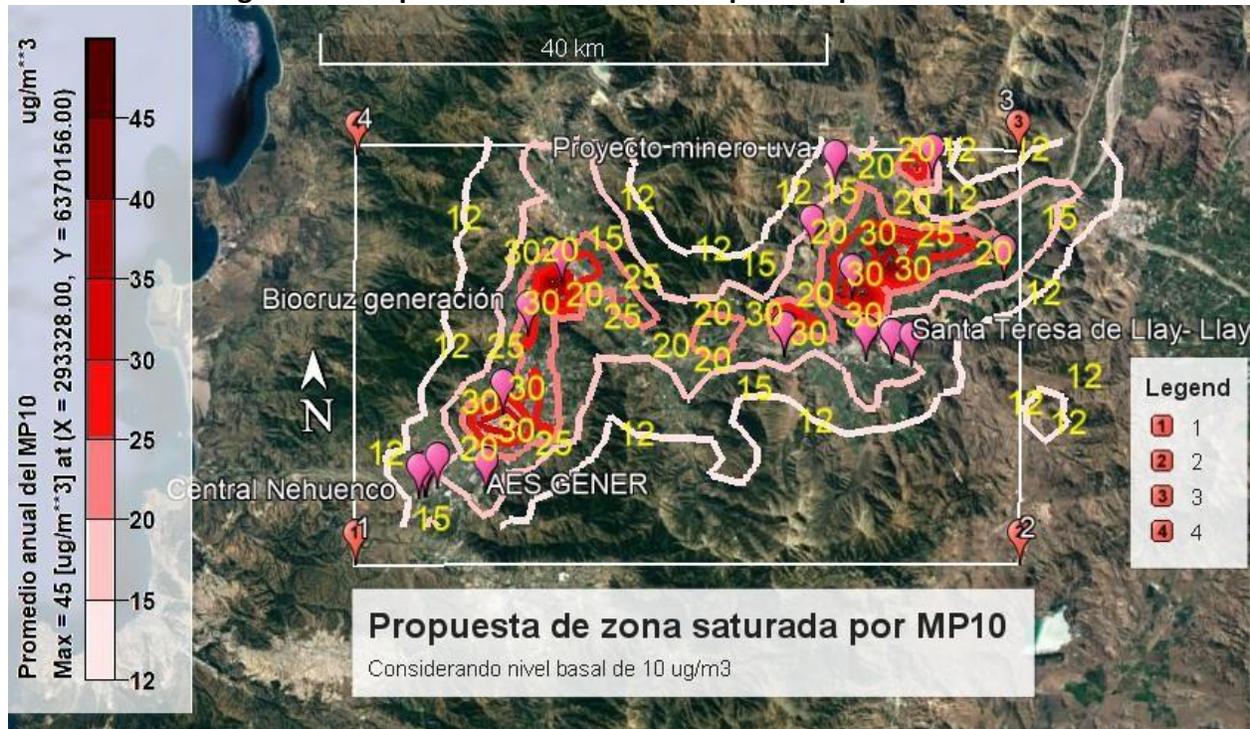
Cuadro superior izquierdo: Fuentes puntuales
 Cuadro superior derecho: Fuentes por calefacción residencial
 Cuadro inferior izquierdo: Fuentes móviles
 Cuadro inferior derecho: Fuentes areales

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones se utilizaron como insumo principal para el modelo de dispersión CALPUFF. Se utilizó una modelación meteorológica del modelo WRF. La modelación de dispersión permitió obtener curvas de nivel de MP10 y MP2.5, y estimar la concentración en diversos centros urbanos identificados como receptores. De acuerdo a los resultados, la zona presenta altos niveles de

MP10 y MP2.5, por lo que se hace necesario determinar un polígono de área saturada (ver Figura 9-3).

Figura 9-3 Propuesta de zona saturada para Valparaíso interior



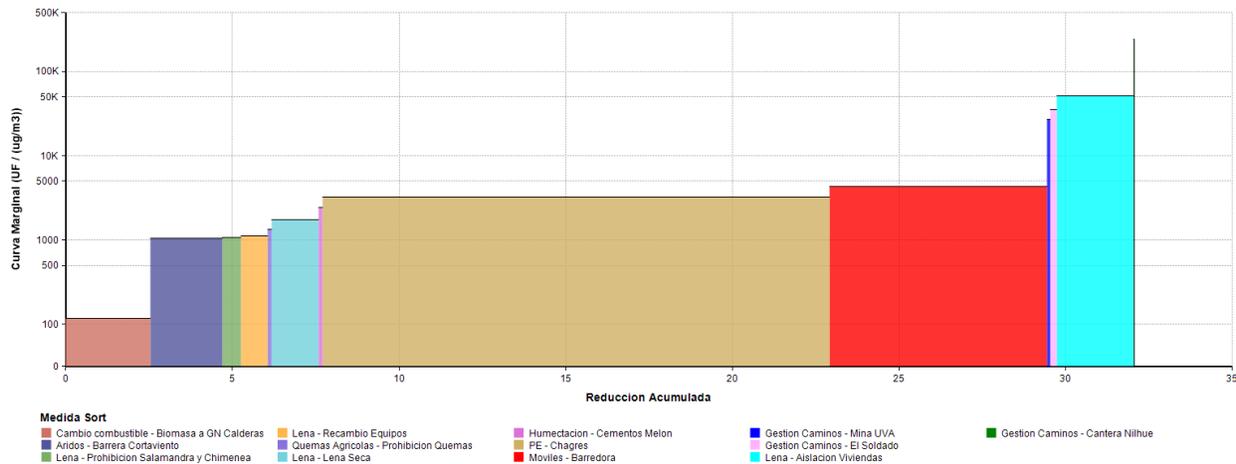
Fuente: Elaboración propia

La concentración modelada y las emisiones estimadas permiten el cálculo de un factor de aproximación lineal entre ambas, denominado Factor de Emisión Concentración, o FEC. El FEC permite estimar el impacto en la concentración ambiental de emisiones de MP10 y MP2.5, según el tipo de fuente emisora y su ubicación geográfica. Se desarrollan FEC para el MP10 y MP2.5, los cuales se presentan en la Tabla 7-16 y Tabla 7-17, respectivamente.

Para la reducción de emisiones y mejora de la calidad del aire en la zona de interés se evaluaron diversas medidas. Estas se jerarquizaron en función de su costo eficiencia para disminuir la concentración ambiental de MP10 y MP2.5. Para cada medida se obtuvo el total de toneladas reducidas (ver Tabla 8-38 y Tabla 8-39), el efecto de estas en la concentración ambiental, los costos anualizados (ver Tabla 8-37), los casos de mortalidad prematura evitados y la valorización de estos (ver Tabla 8-47).

Lo anterior se resume en una curva de costo de abatimiento marginal (ver Figura 9-4), la cual permite jerarquizar cuales medidas incluir en un instrumento de gestión ambiental en la zona.

Figura 9-4 Curva de costo abatimiento marginal para MP10 [UF/(ug/m³)]



El eje vertical esta presentado en escala logarítmica de 10.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la evaluación de las medidas aplicables a la zona se propone seguir los siguientes lineamientos:

- Considerando las medidas aplicables al sector industrial y considerando su costo marginal relativo a las otras, las medidas Cambio de Combustible – Biomasa a GN Calderas y PE Chagres obtienen una reducción acumulada de emisiones considerable, y buen nivel relativo de costo marginal y ratio Beneficio Neto, lo que justifica una priorización en la implementación de regulaciones asociadas a este tipo de fuentes.
- Por su parte, las medidas aplicables al sector residencial asociada a la Prohibición de Salamandras y Chimeneas, Leña Seca y Recambio de Equipos si bien cuentan con un impacto menor en reducción de emisiones comparada con la reducción de las medidas del sector industrial recién mencionadas, presentan buenos niveles de costos marginales y ratio beneficio neto, por lo que también justifica una priorización en la implementación de regulaciones asociadas a este tipo de fuentes.
- Por último, si bien la reducción de emisiones asociada a la medida Prohibición de Quemas Agrícolas no presenta un alto impacto en la reducción de emisiones, si presenta un buen nivel en los indicadores de costo marginal y ratio beneficio neto. Esto, sumado a que esta medida ya ha sido implementada en otras áreas del territorio nacional, adelanta que no debiese existir mayor complejidad para su implementación por lo que también justifica una priorización en la implementación de regulación a esta medida.
- Cada una de las medidas que fueron listadas en los puntos anteriores ya han sido implementadas en Planes de Descontaminación de las ciudades del centro-sur de Chile por lo que existe aprendizaje que puede ser utilizado para facilitar la implementación de estas regulaciones a estas fuentes.

En línea con lo establecido en los Planes de Descontaminación que ya se han implementado en el centro-sur de Chile justificados por el estado de saturación de MP10, los cuales indican que el plazo para salir de la condición de saturación sea de 10 años, pero también considerando como último antecedente que el recientemente aprobado Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví estableció un plazo de 5 años para salir de la condición de saturación, se propone que sea este último el plazo para dejar la condición de saturación para esta zona.

Tomando como año base el año 2020, se propone el cronograma de acción presentado en la siguiente tabla.

Tabla 9-2 Propuesta de cronograma de acción para las nuevas regulaciones asociadas al Instrumento de Gestión Ambiental posible de implementar

Sector	Medida	Cronograma
Residencial	Leña Seca	Una vez iniciada la vigencia del instrumento de gestión ambiental y transcurridos seis meses , toda la leña que sea comercializada en la zona saturada debe cumplir la especificación de "leña seca".
	Prohibición de Salamandras y Chimenea	Una vez iniciado la vigencia del instrumento de gestión ambiental se prohíbe en el área de la zona saturada utilizar salamandras y chimeneas de hogar abierto.
	Recambio de equipos	Una vez iniciada la vigencia del instrumento de gestión ambiental se deberá ejecutar un programa de recambio voluntario de artefactos existentes que combustionen leña o derivados de la madera en la zona saturada. Este programa debiese ejecutarse durante los 3 años que tenga vigencia el instrumento de gestión ambiental.
Quemas Agrícolas	Prohibición de Quemas Agrícolas	Una vez iniciada la vigencia del instrumento de gestión ambiental y transcurridos doce meses , se debe prohibir el uso del fuego para la quema de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal en la zona saturada en el periodo comprendido entre el 15 de abril al 15 de septiembre , para el primer año de vigencia de esta medida, y entre el 1 de abril al 15 de septiembre , a contar del segundo año de vigencia de la misma.
Industrial	Cambio de Combustible – Biomasa a GN Calderas	El plazo para dar cumplimiento a la exigencia de cambio de combustible u establecer un límite de emisión debe ser de veinticuatro meses contados desde la vigencia del instrumento de gestión ambiental para las fuentes existentes, y para las fuentes nuevas desde la fecha de entrada en vigencia del mismo.
	PE Chagres	

Fuente: Elaboración propia en base a lo establecido en otros planes de descontaminación para PM10 de la zona del centro-sur de Chile.

10. Bibliografía

- Ambiente Consultores, *Análisis Técnico-Económico de La Aplicación de Una Norma de Emisión Para Artefactos de Uso Residencial Que Combustionan Con Leña y Otros Combustibles de Biomasa*, 2007
- AMBIOSIS, *Propuesta y Análisis de Medidas de Reducción de Emisiones En La Zona Industrial de Ventanas*, 2009
- Ambiosis, SMHI, Apertum IT AB, Geasur, and Universidad de Playa Ancha, *Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica-Región de Valparaíso, Construcción de Un Inventario de Emisiones Regional*, 2011
- Araya Díaz, María Loreto, and Jorge Alvial Pantoja, 'Análisis Comparativo Para Ejecución de Estabilización de Suelos, Entre Procesos Tradicionales y El Estabilizador de Suelos Soiltac' (Universidad Austral de Chile, 2010)
- BCN, 'Reportes Estadísticos Comunes: Catemu', 2015
<<https://reportescomunales.bcn.cl/2011/index.php/Catemu>>
- , 'Reportes Estadísticos Comunes: La Calera', 2015
<<http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Calera>>
- CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', *Para El Ministerio de Energía*, 2015
- Centro Mario Molina, 'ESTUDIO DE PROPUESTA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP2,5 PARA LA ZONA SATURADA DE LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO', 2016
- Centro Nacional del Medio Ambiente, *Actualización Del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas* (Santiago: CENMA, 2010)
- CONAF, 'Resumen_Quemas_1981-2017', 2017
- E.H. Pechan & Associates, Inc., *Air Control Net*, ed. by Inc. E.H. Pechan & Associates (Springfield, VA: US Government, 2006)
- EMEP-EEA, '5.A Biological Treatment of Waste - Solid Waste Disposal on Land', 2016
- EMEP/EEA, 'Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - 1.A.4 Small Combustion', 2016, 1–182
- EPA, 'Important Information Concerning the Menu of Control Measures', 2013, 11–12
- Ferreira, Lorena, Marcelo Seluchi, and Celeste Saulo, 'Climatología Sinóptica De La Baja Del Noreste Argentino: Campos Medios De Enero y Julio', 2004
- Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental, 'Guía Para La Prevención de Emisiones Difusas de Partículas', 2012
- GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013
- , *Desarrollo de Modelo Genérico Para Evaluación de Planes de Prevención y de Descontaminación Ambiental Para Aire Estudio Solicitado Por El Ministerio Del Medio Ambiente*, 2013
- Hedberg, Emma, Lars Gidhagen, and Christer Johansson, 'Source Contributions to PM10 and Arsenic Concentrations in Central Chile Using Positive Matrix Factorization', 39 (2005), 549–

- 61 <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.11.001>>
- Hopke, Philip K, 'A Guide to Positive Matrix Factorization' (Clarkson University, 2000)
- IIASA, 'Policy Scenarios for the Revision of the Thematic Strategy on Air Pollution', *Laxenburg, International Institute for Applied Systems Analysis*, 2013
- INE, 'Censo de Población y Vivienda 2017', 2017
- , 'Parque Vehicular V Región', *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*, 2015, 1–11 <<http://www.beta.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>>
- , 'VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal', *Instituto Nacional de Estadísticas*, 2007, 1–222
- Krewski, Daniel, Michael Jerrett, Richard T Burnett, Renjun Ma, Edward Hughes, Yuanli Shi, and others, 'Extended Follow-up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality.', *Health Effects Institute*, 2009 <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19627030>>
- Lepeule, Johanna, Francine Laden, Douglas Dockery, and Joel Schwartz, 'Chronic Exposure to Fine Particles and Mortality: An Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study from 1974 to 2009', *Environmental Health Perspectives*, 120 (2012), 965–70 <<https://doi.org/10.1289/ehp.1104660>>
- Ministerio de Agricultura, 'Decreto 109/2018: Establece Tabla de Costos Para El Año 2018, Que Fija Los Valores de Las Actividades Que Se Bonificarán En El Marco Del Sistema de Incentivo Para Sustentabilidad Agroambiental de Los Suelos Agropecuarios', 2018, 7–8
- Ministerio de Hacienda, 'Síntesis Ejecutiva: Programa de Aplicación Limpieza de Calles', 2005
- Ministerio del Medio Ambiente, and SEREMI del Medio Ambiente Región de Valparaíso, *Guía de Buenas Practicas En Almacenamiento, Transporte y Manipulación de Graneles Sólidos En Instalaciones Industriales*, 2016
- MMA, *Guía Metodológica. Para La Elaboración de Un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) Para Instrumentos de Gestión de Calidad Del Aire*, 2013
- , 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Region de Valparaíso Período Año 2017', 2017, p. 53 <<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/07/informe-2015-V4-Valparaiso.pdf>>
- , 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017
- Municipalidad de Quillota, 'Plan de Desarrollo Comunal', 2010 <https://www.quillota.cl/web/transparencia/wp-content/uploads/pladeco_completo/c_Capitulo_1_informe_final.pdf>
- Municipalidad Llay Llay, 'Plan De Desarrollo Comunal De Llay - Llay 2014-2018', 2014, p. 58 <http://www.municipalidadllayllay.cl/media/PLAN-DE-DESARROLLO-LLAYLAY-Final_593eb8325ea3f.pdf>
- ODEPA, 'Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de La Cadena de Comercialización de Fertilizantes En Chile. Informe Final', 2010
- Pascualetti, Angelo, 'Origen y Análisis de Tormentas Eléctricas Estivales En El Cajón Del Río Bueno', 2008
- SAG, 'Informe de Venta de Plaguicidas de Uso Agrícola En Chile. Año 2012', 2012
- Schmitz, Rainer, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo',

2008

SICAM, 'Actualización Del Inventario de Emisiones Atmosférica de Temuco y PLC. Fuentes de Área : Combustión Residencial de CAPITULO I', 2015

SMA, 'Anexo 1: Costos Unitarios Para La Fiscalización y Sanción de Planes de Descontaminación Urbanos', 2016

———, *Resolución Exenta 1531. Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización Ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Para El Año 2018*, 2017, pp. 1–11

US-EPA, 'Control Strategy Tool (CoST) - "At a Glance" Control Measure Document', 1 (2016), 1–12

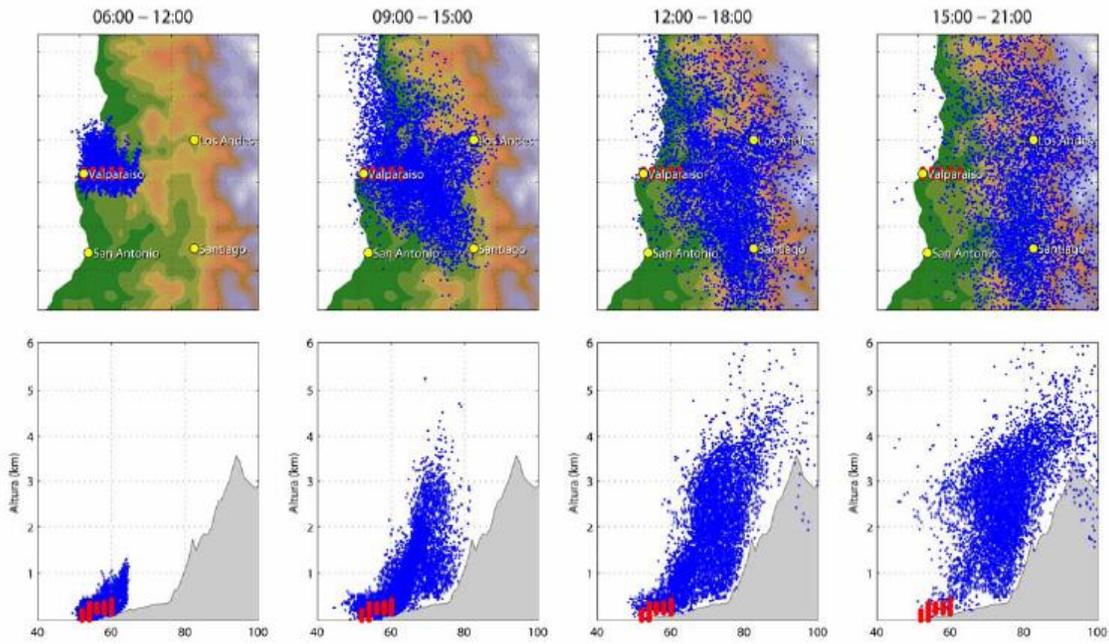
Villena, Marcelo Mauricio, Carlos Chávez, and SCL Econometrics, *Análisis General de Impacto Económico y Social Del Rediseño Del Plan Operacional Para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica Por Material Particulado Respirable (PM10) En La Región Metropolitana. Estudio Realizado Para CONAMA RM.* (SCL Econometrics, 2007)

11. Anexos

11.1 Revisión Antecedentes

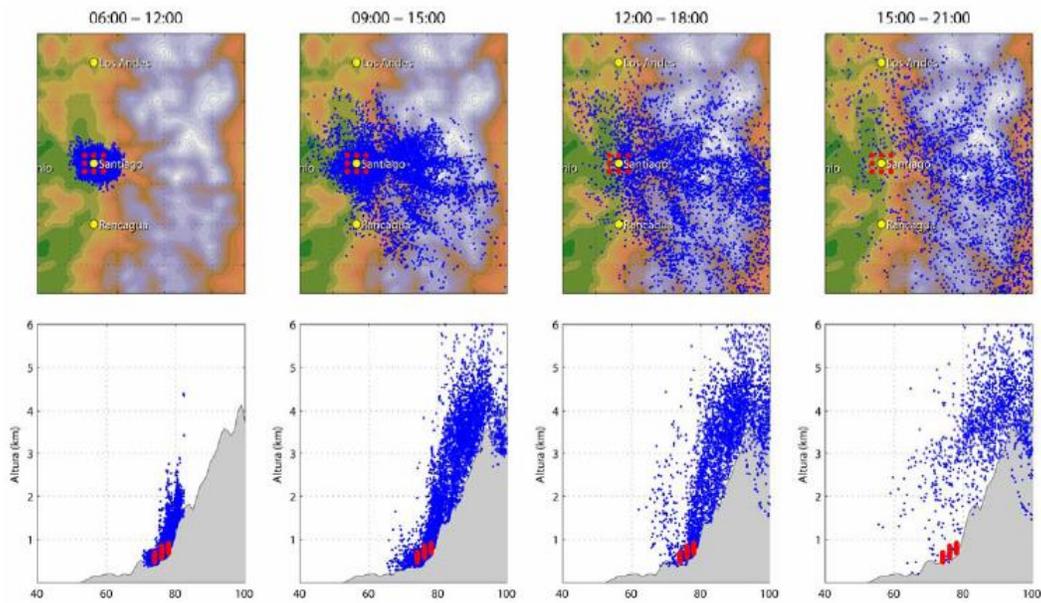
11.1.1 Implementación de un Modelo Fotoquímico de alta resolución para la Macrozona Central del País – UNTEC, 2008

Figura 11-1 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde el área del Gran Valparaíso y la parte baja del valle Aconcagua



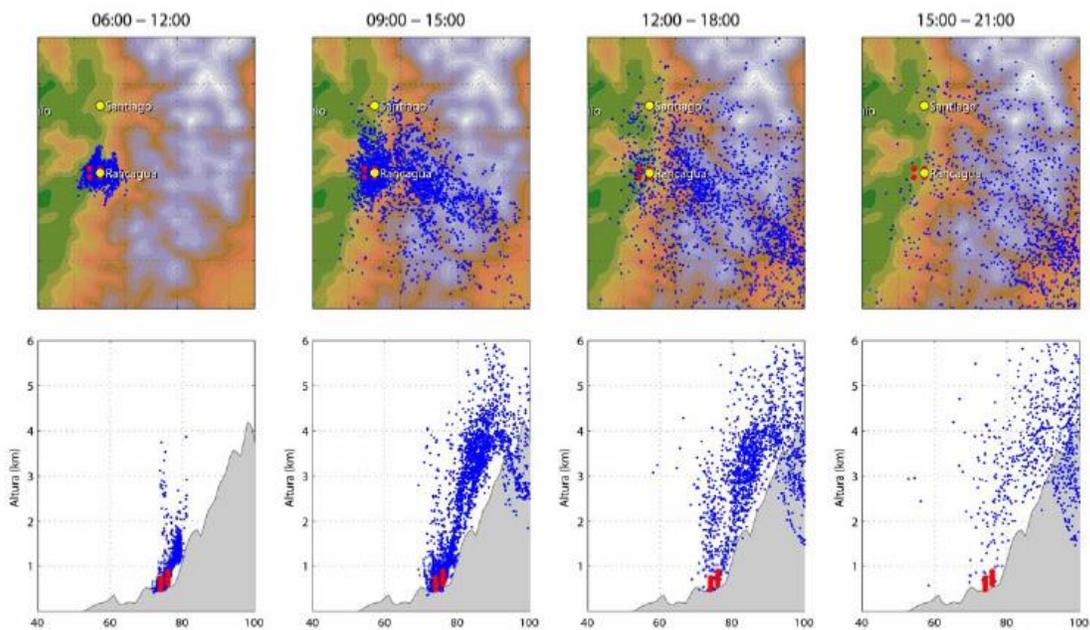
Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Figura 11-2 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde Santiago



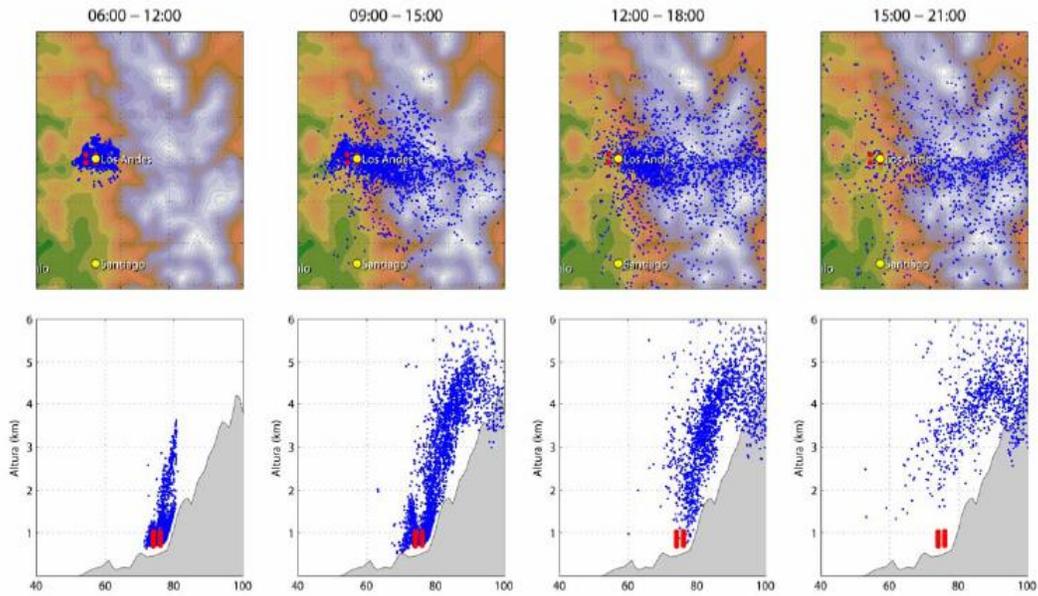
Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Figura 11-3 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde Rancagua



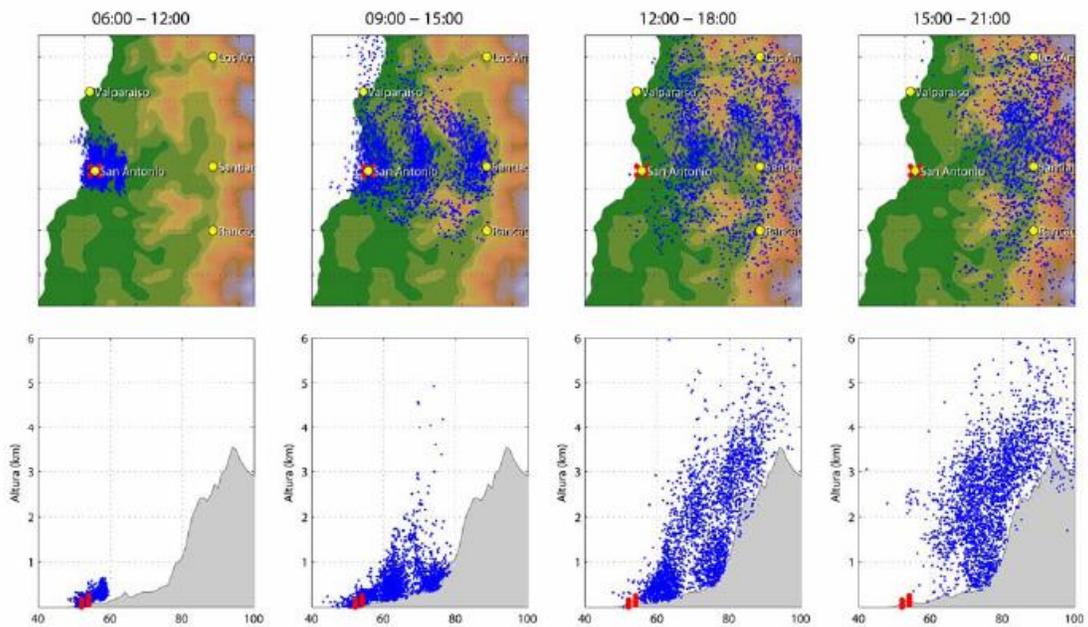
Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Figura 11-4 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde Los Andes



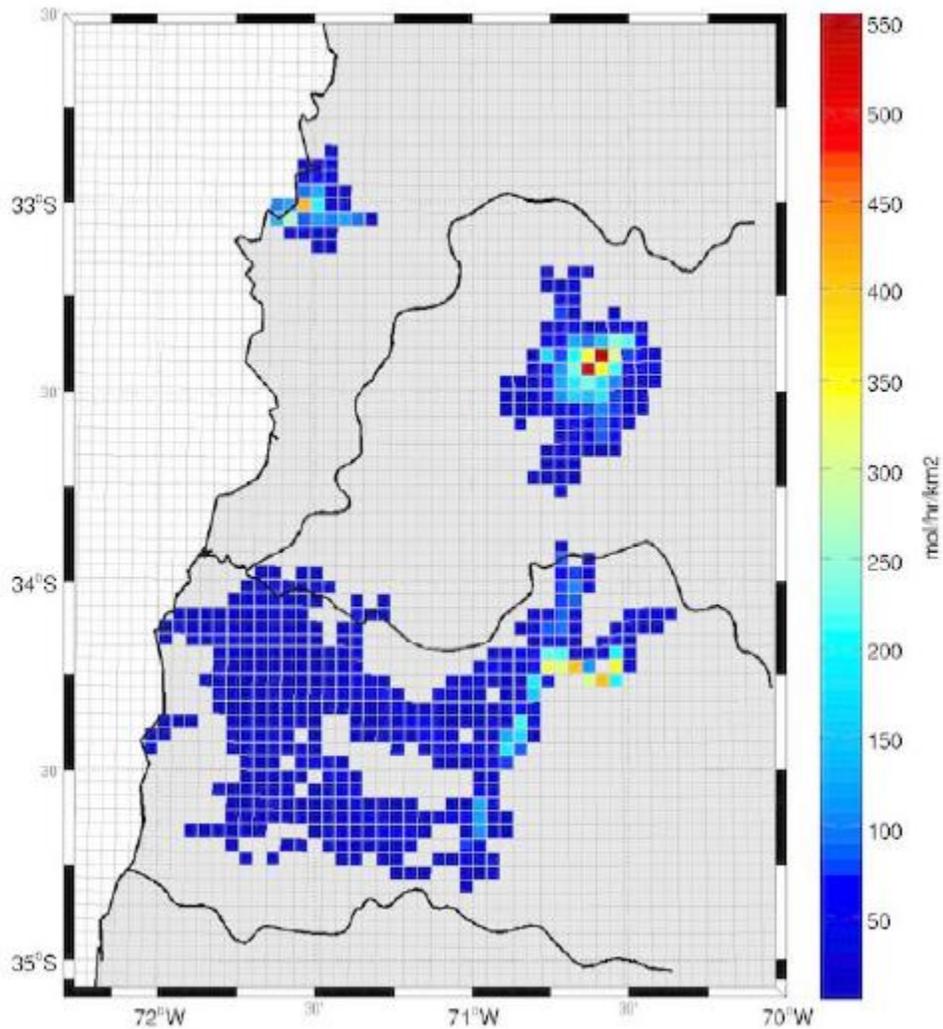
Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Figura 11-5 Evolución temporal de trayectorias partiendo desde San Antonio



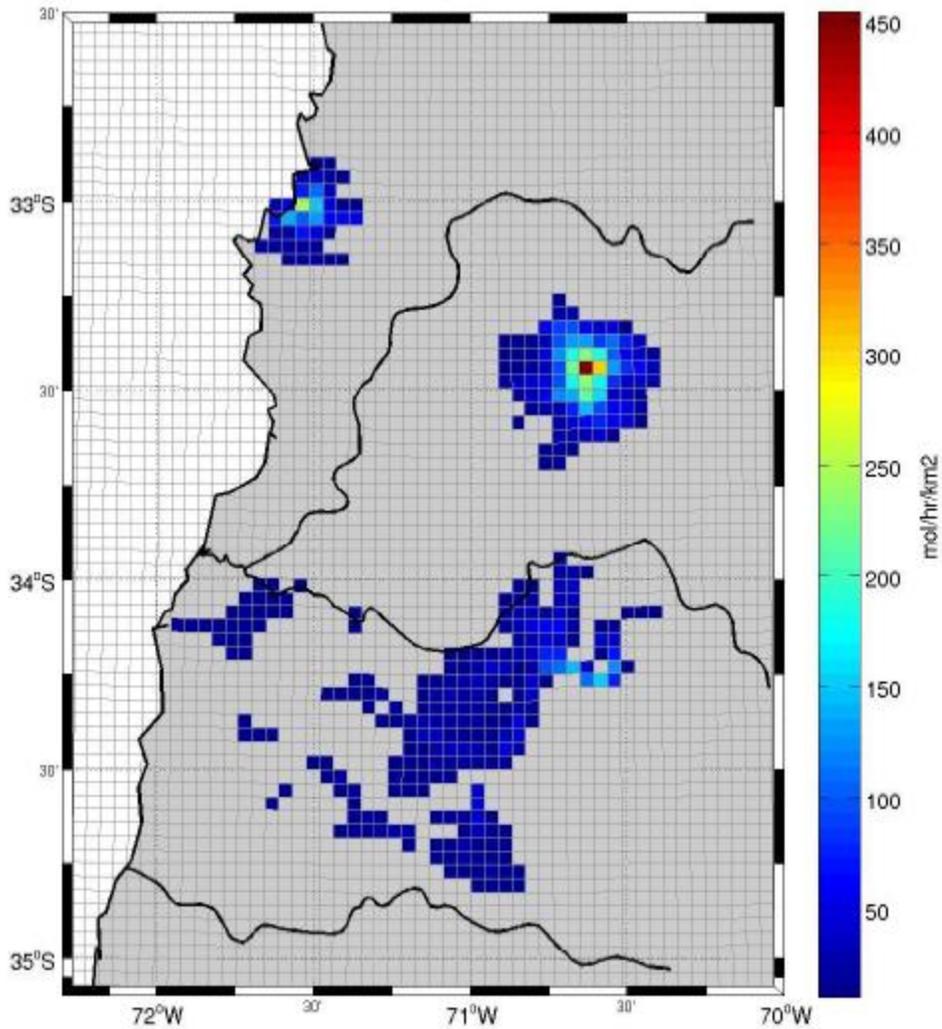
Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Figura 11-6 Promedio diario de las emisiones de NO_x (fuentes móviles y areales) en los inventarios de emisiones modificados



Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

Figura 11-7 Promedio diario de las emisiones de COV_s (fuentes móviles y areales) en los inventarios de emisiones modificados



Fuente: Rainer Schmitz, Mark Falvey, and Marín Jacques, 'Implementación de Un Modelo Fotoquímico de Alta Resolución Para La Macrozona Central Del País Informe Final Resumen Ejecutivo', 2008

11.2 Estructura Inventario

Tabla 11-1 Estructura Inventario Emisiones por subsector

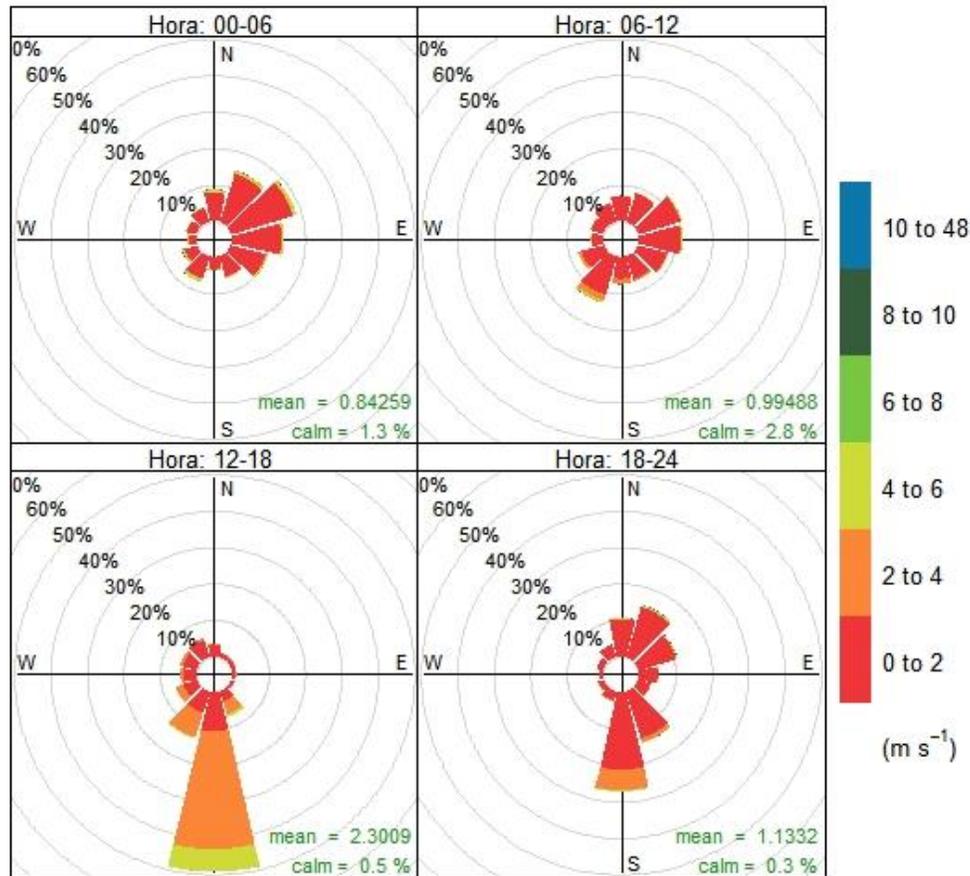
Tipo	Subtipo	Sector	Subsector	Fuente			
Estacionaria	Puntual	CPR	Comercial	Grupo Electrónico Horno			
		Industria	Agrícola	Caldera Grupo Electrónico			
			Ind. Alimentaria y agropecuaria	Caldera Grupo Electrónico			
				Ind. Productos minerales	Caldera Grupo Electrónico Horno Proceso		
			Industrial		Caldera Grupo Electrónico Horno		
					Minería	Proceso	
				Salud	Caldera Grupo Electrónico		
			Sanitario	Grupo Electrónico			
			Termoeléctricas	Caldera Grupo Electrónico Termoeléctrica			
				Vidrio	Proceso		
			Areal	CPR	Residencial	Calefactor	
		Incendios		Incendios	Incendio Forestal Incendio Urbano		
					Industria	Agrícola	Aplicación de Fertilizante Aplicación de Pesticida Quema Agrícola
	Fugitiva	Industria		Agrícola			Preparación de terreno
				Construcción			Construcción edificios
			Ind. Productos minerales	Áridos			
	Transporte	Transporte carga	Transporte	Levantamiento de Polvo Desgaste de frenos y neumáticos			
				Transporte pasajeros	Levantamiento de Polvo Desgaste de frenos y neumáticos		
		En ruta	Transporte		Transporte carga	Camión Liviano-Medio Camión Pesado	
Transporte pasajeros				Bus Moto Vehículos			
Fuera de Ruta	Industria	Agrícola	Maquinaria				
		Construcción	Maquinaria				

Fuente: Elaboración propia

11.3 Análisis de concentración de Material Particulado y Dióxido de Azufre por dirección y velocidad del viento para las demás estaciones

11.3.1 Red Fundición Chagres, estación Santa Margarita

Figura 11-8 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Santa Margarita, Periodo 2015-2017



Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

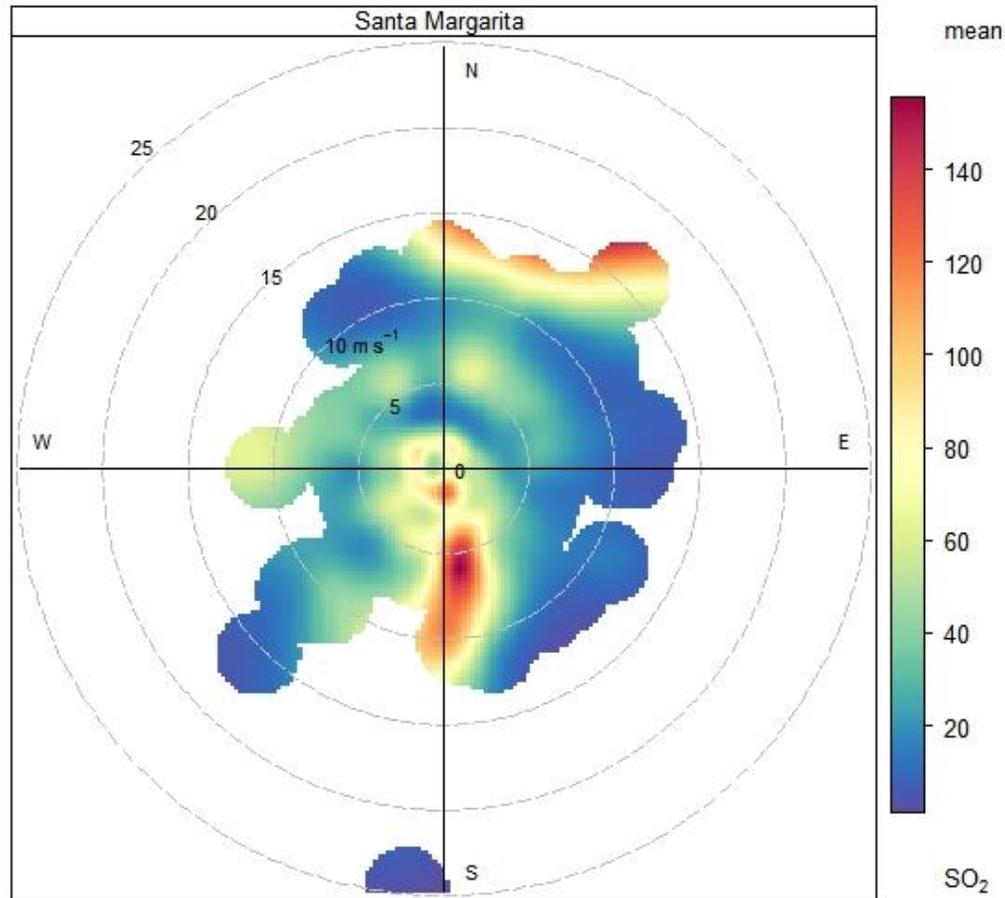
Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la Figura 11-8 se puede observar que durante la segunda mitad del día el viento proviene principalmente desde el sur, y alcanza mayores velocidades durante la tarde, entre las 12:00 y 18:00 horas, alcanzando entre 4 a 6 m/s. Durante la madrugada el viento proviene principalmente desde el noreste, con velocidades bajas.

En la estación no hay mediciones de MP10, por lo tanto sólo fue posible realizar un análisis de concentración para el SO₂. En la Figura 11-9 se puede observar que las mayores concentraciones

de SO₂ se presentan cuando el viento proviene desde el sur, alcanzando un máximo de 150 ug/m³ con velocidades promedio entre 5 y 10 m/s y desde el noreste, donde se alcanza una concentración máxima aproximada de 140 ug/m³ a velocidades entre 15 y 20 m/s. Para el viento proveniente desde el noroeste y suroeste, con velocidades de viento entre 5 y 20 m/s, se presentan concentraciones heterogéneas, entre 20 y 80 ug/m³.

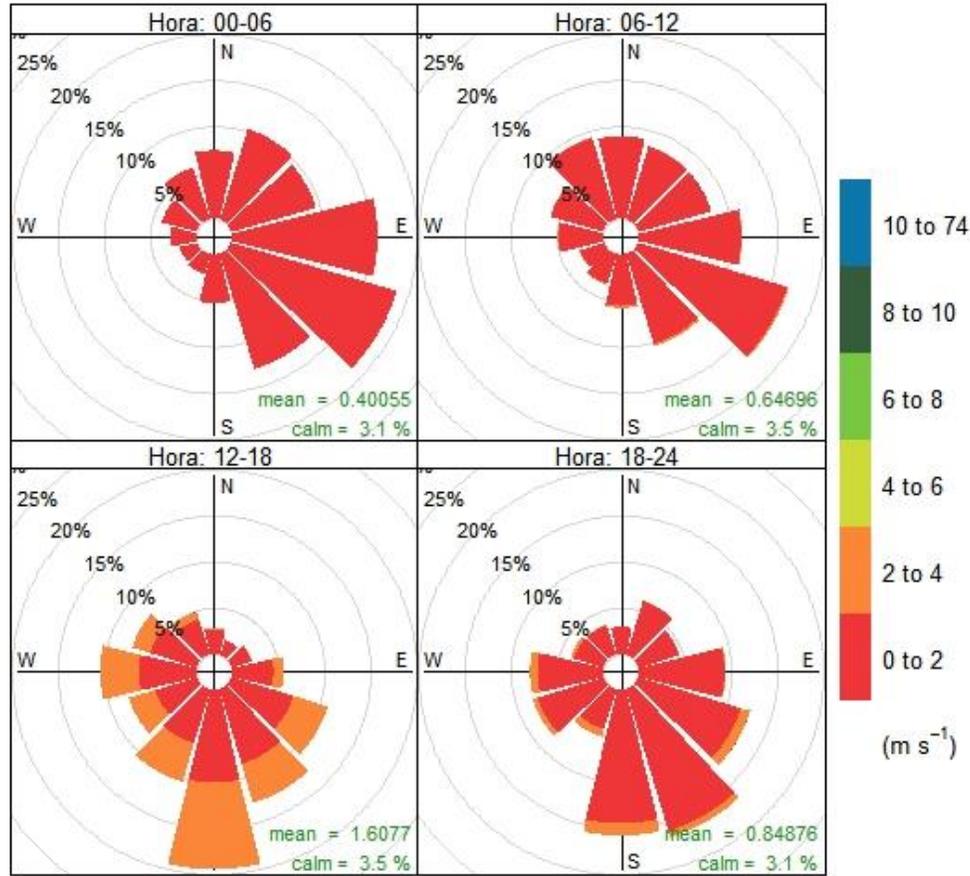
Figura 11-9 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Santa Margarita, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

11.3.2 Red Fundición Chagres, estación Catemu

Figura 11-10 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Catemu, Periodo 2015-2017.



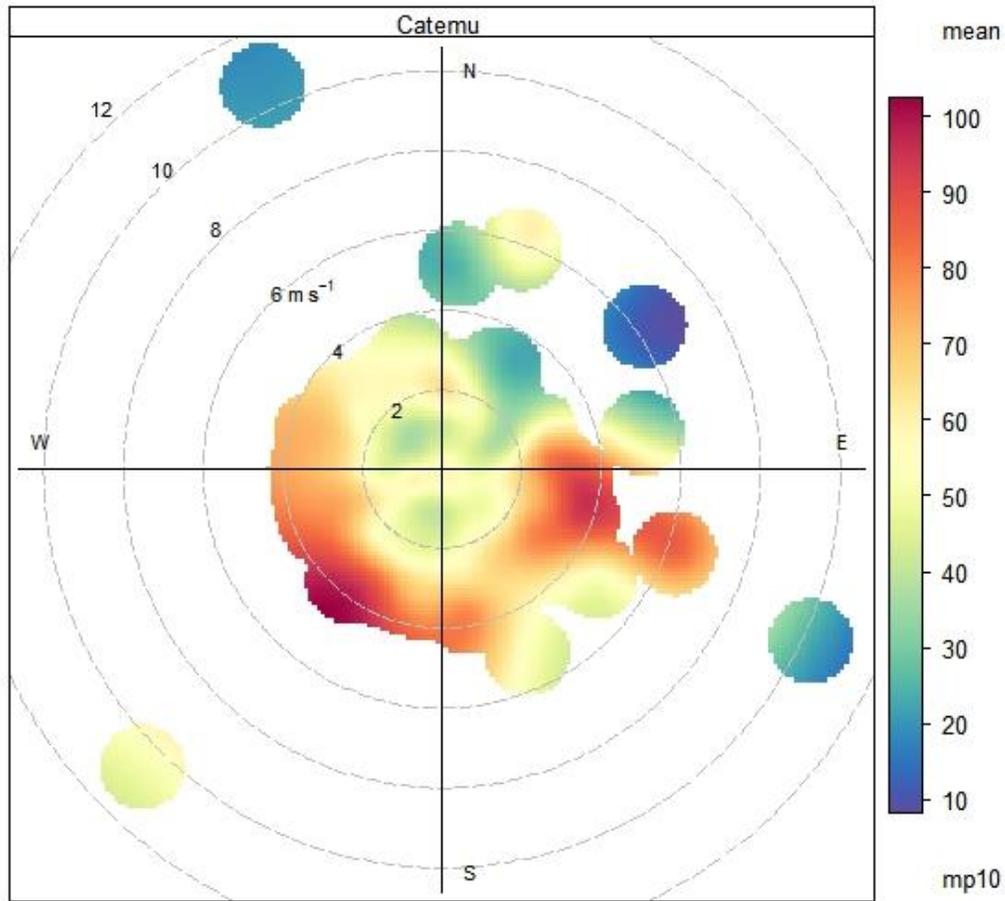
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la estación Catemu se puede ver que durante la madrugada el viento proviene principalmente desde el este y sureste, con velocidades bajas entre 0 y 2 m/s. Durante el día, el viento viene predominantemente desde el sur, alcanzando mayores velocidades que alcanzan hasta los 4 m/s.

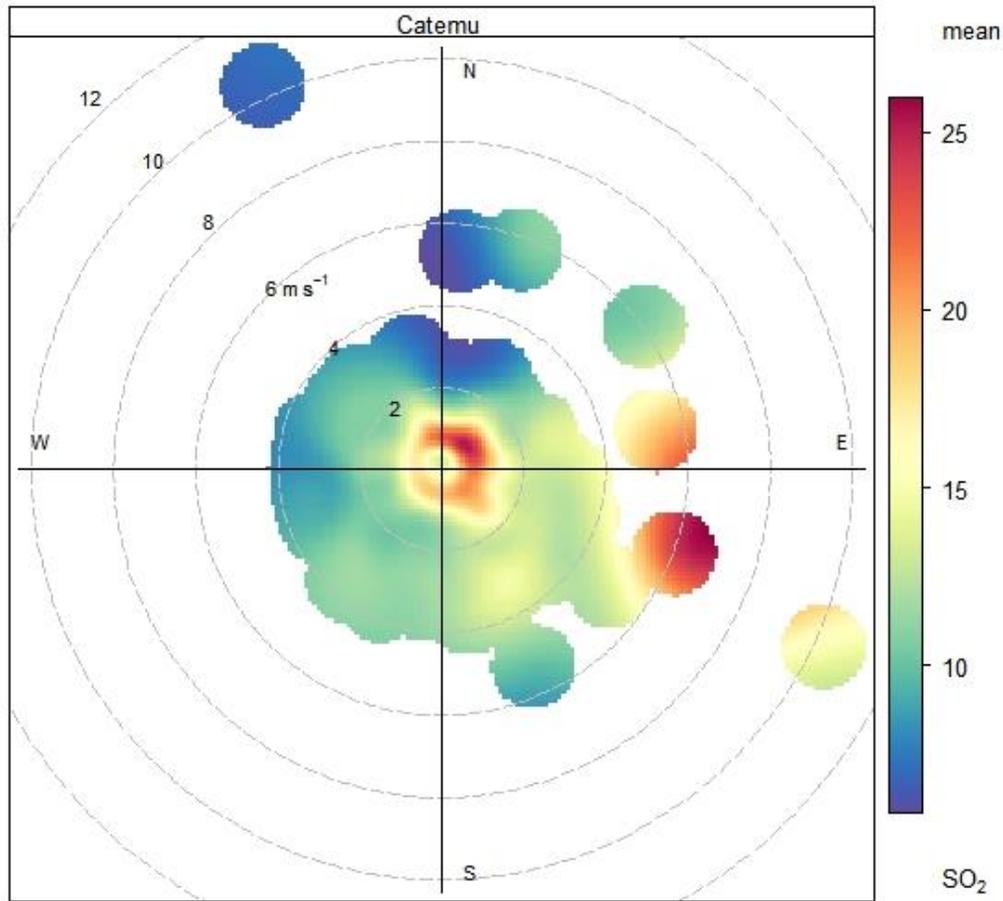
Figura 11-11 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Catemu, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 11-11 se presenta la distribución de MP10. Las mayores concentraciones provienen desde el este y el suroeste. Para los vientos provenientes del este, con una velocidad entre 2 y 6 m/s se alcanza una concentración máxima de MP10 de 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los vientos provenientes del suroeste alcanzan una concentración aproximada de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para velocidades de 4 m/s aproximadamente. En cuanto a los vientos provenientes del norte, las concentraciones de MP10 son relativamente homogéneas para velocidades hasta 4 m/s, alcanzando valores entre 30 y 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 11-12 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Catemu, Periodo 2015-2017.

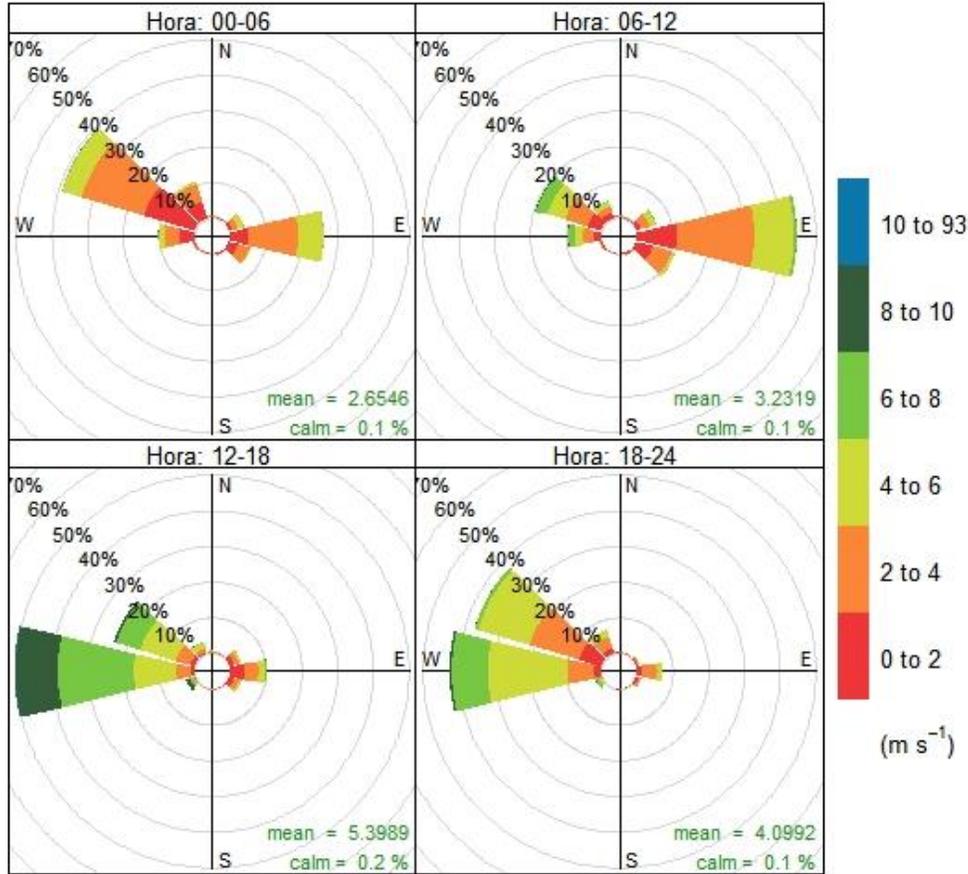


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la Figura 11-12 se observa que para velocidades del viento entre 2 y 4 m/s, en todas las direcciones, las concentraciones de SO₂ son relativamente homogéneas, alcanzando valores entre 10 y 15 ug/m³. Para velocidades menores del viento, se alcanza una concentración mayor de dióxido de azufre, alcanzando valores de hasta 25 ug/m³. Por último, se distingue una alta concentración de contaminante, alcanzando los 25 ug/m³, para viento en dirección noroeste con velocidad aproximada de 6 m/s.

11.3.3 Red Fundición Chagres, estación Romeral

Figura 11-13 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Romeral, Periodo 2015-2017



Frequency of counts by wind direction (%)

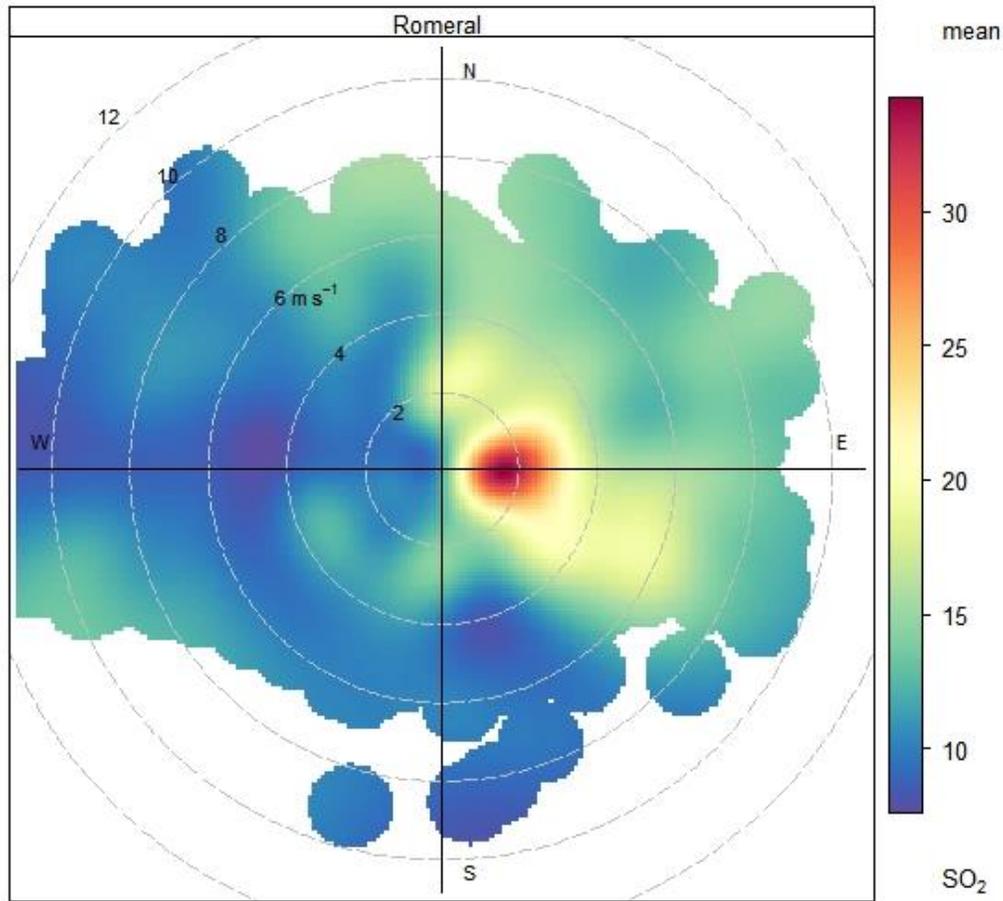
La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la figura anterior se concluye que durante el segundo cuartil del día, entre las 06:00 y las 12:00 horas, el viento predomina desde el este, alcanzando velocidades máximas entre 6 y 8 m/s. En cambio, el resto del día el viento predominante proviene desde el este, alcanzando las mayores velocidades durante la tarde, entre las 12:00 y las 18:00 horas, con máximos entre 8 y 10 m/s.

Esta estación tampoco presenta datos para MP10, por lo que sólo se analiza la distribución de dióxido de azufre. En la Figura 11-14 se puede observar que los vientos desde el oeste tienen concentraciones bajas, entre 10 y 15 ug/m³ para vientos entre 0 y 12 m/s. Por otra parte, los vientos provenientes del este se asocian a mayores concentraciones del contaminante, presentando un máximo aproximado de 35 ug/m³ para velocidades del viento de 2 m/s.

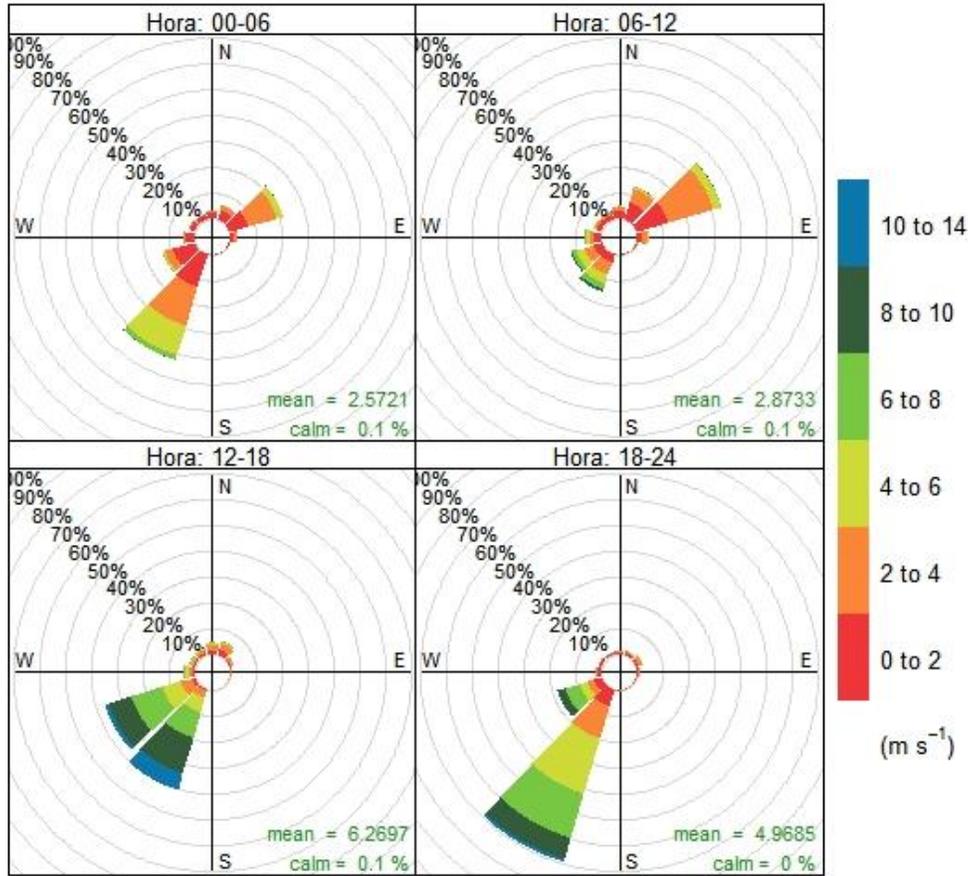
Figura 11-14 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Romeral, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

11.3.4 Red Fundición Chagres, estación Meteorológica

Figura 11-15 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Meteorológica, Periodo 2015-2017



Frequency of counts by wind direction (%)

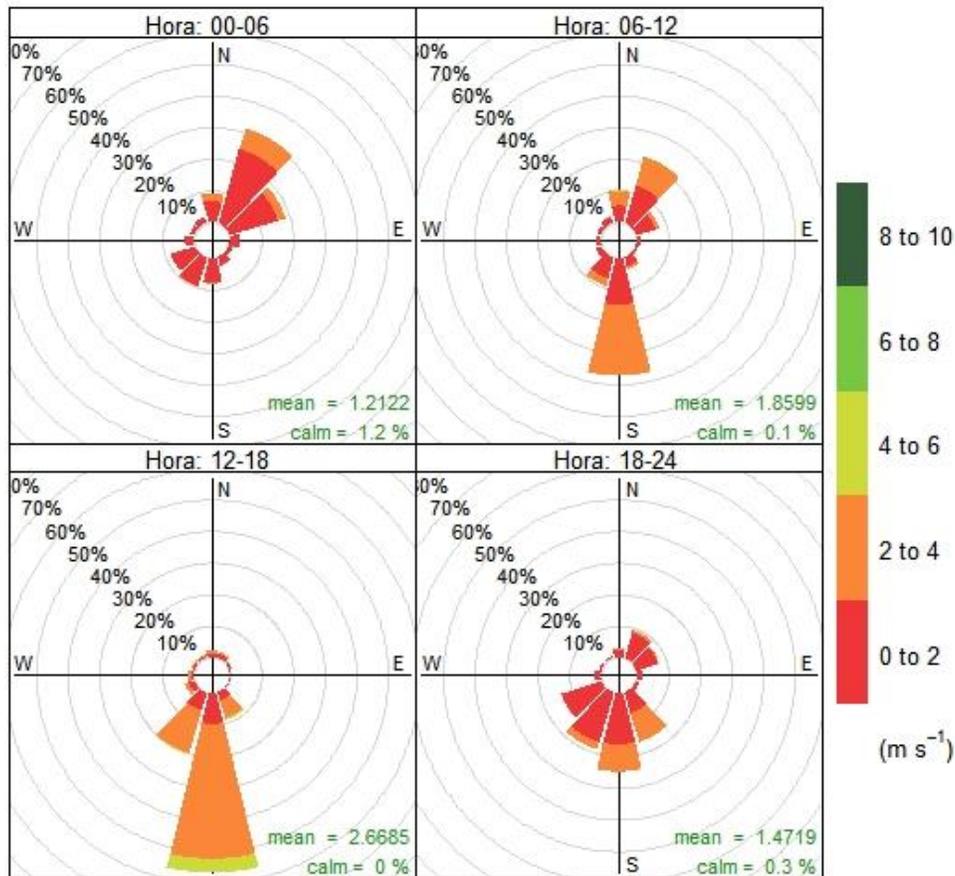
La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

La estación meteorológica de la red de Fundición Chagres, al igual que la estación Romeral previamente analizada, presenta una distribución de vientos similar para los cuartiles uno, tres y cuatro. En estos los vientos provienen principalmente desde el surponiente, y nuevamente las mayores velocidades se presentan durante la tarde, entre las 12:00 y las 18:00 horas, alcanzando entre 10 y 14 m/s. Durante la mañana, entre las 6:00 y 12:00 horas, el viento se dirige en sentido contrario, con velocidades máximas entre 4 y 6 m/s. En esta estación no hubo mediciones de MP10 o SO2.

11.3.5 Red Cementos Melón, estación la Cruz

Figura 11-16 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación La Cruz, Periodo 2015-2017



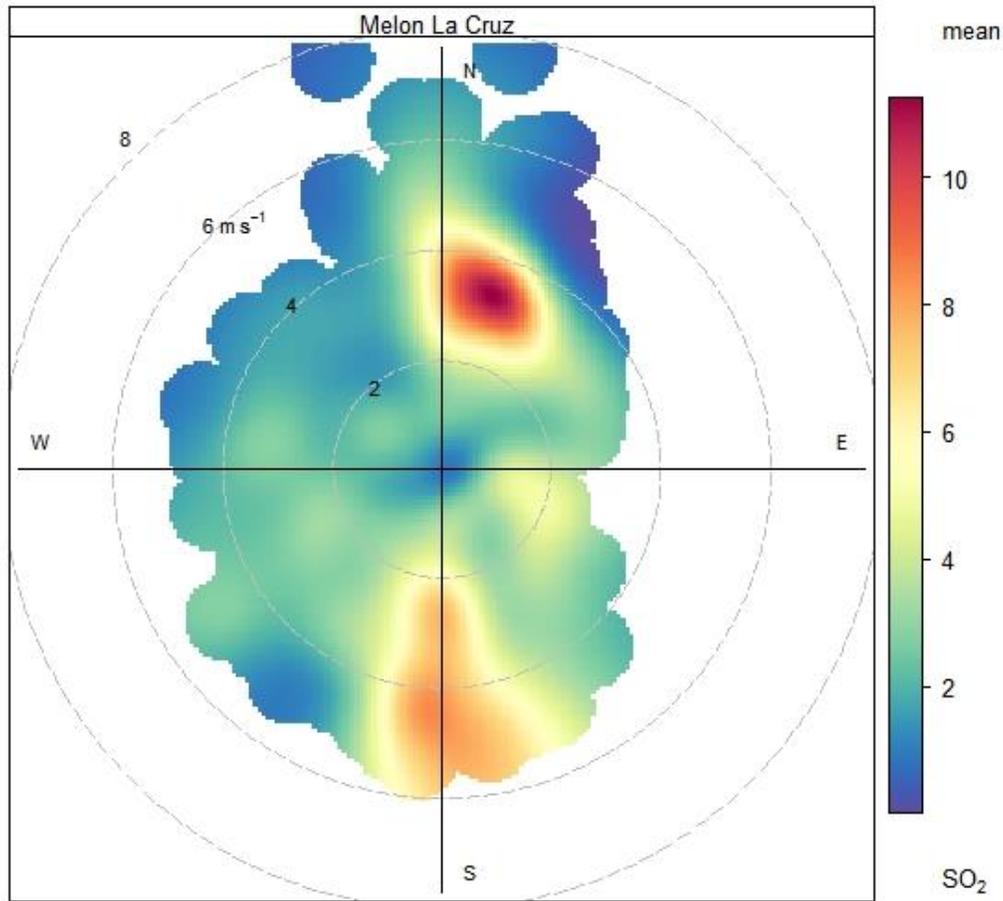
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Estación La Cruz de la red de Cementos Melón los vientos provienen la mayor parte del día desde el sur, alcanzando las mayores velocidades durante la tarde, las que llegan a un máximo de 4 a 6 m/s. Durante la madrugada los vientos soplan principalmente desde el noreste a bajas velocidades.

Figura 11-17 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Melón La Cruz, Periodo 2015-2017.

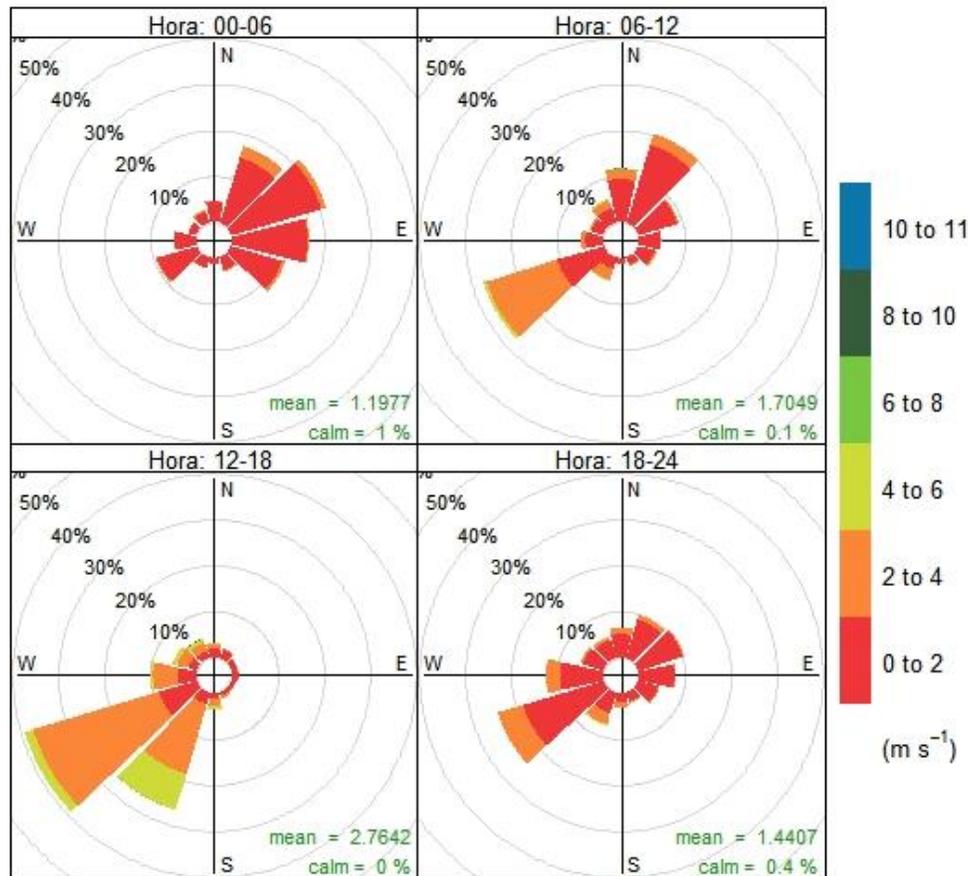


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Respecto a las concentraciones de dióxido de azufre, se puede observar que en general estas son bajas, entre 0 y 4 ug/m³. Sin embargo, se presentan mayores concentraciones en los vientos provenientes del sur, alcanzando hasta 8 ug/m³ para vientos entre 4 y 6 m/s y en los vientos provenientes desde el noreste, alcanzando hasta 12 ug/m³ para vientos entre 2 y 4 m/s. Esto se corresponde con las direcciones predominantes de los vientos explicadas en la Figura 11-17

11.3.6 Red Cementos Melón, estación Rural

Figura 11-18 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Rural, Periodo 2015-2017



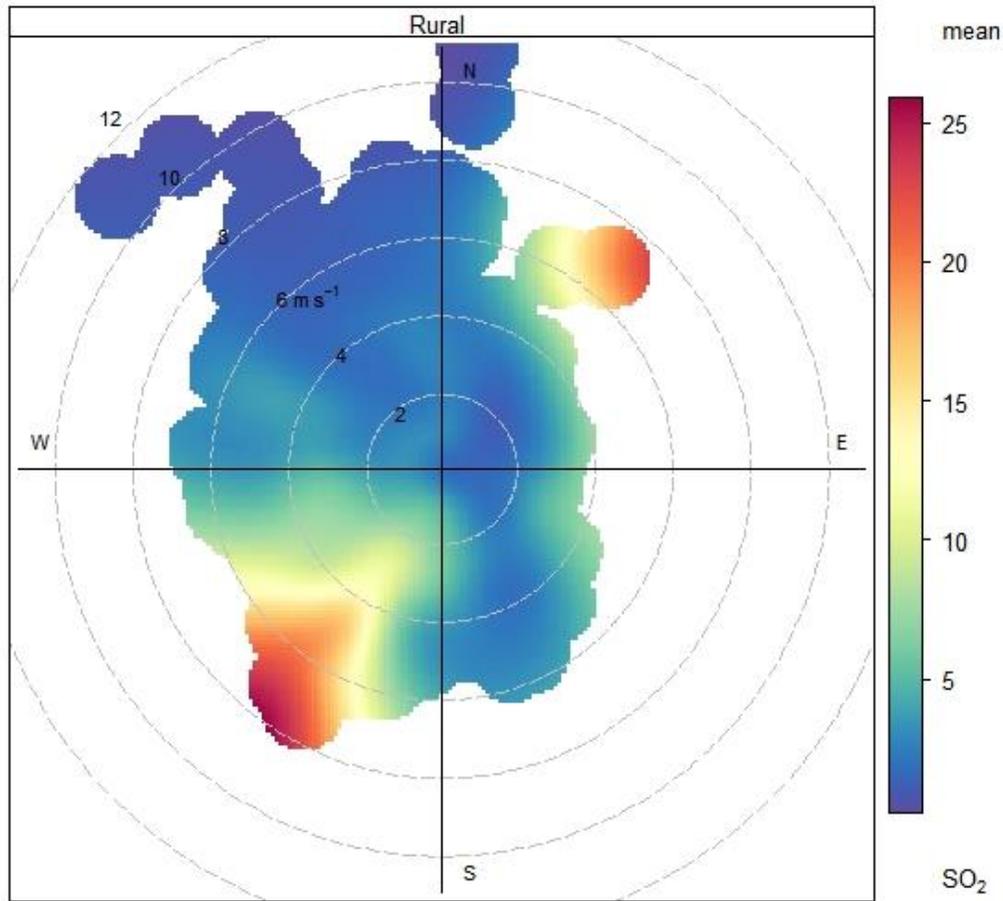
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 11-18 se puede ver que desde las 00:00 hasta las 6:00 horas el viento proviene principalmente desde el noreste. Luego, en el siguiente cuartil, el viento cambia de dirección entre noreste y suroeste. Desde las 12:00 a las 24:00 horas se mantiene principalmente desde el suroeste, alcanzando las mayores velocidades en la tarde entre 4 y 6 m/s.

Figura 11-19 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Rural, Periodo 2015-2017.

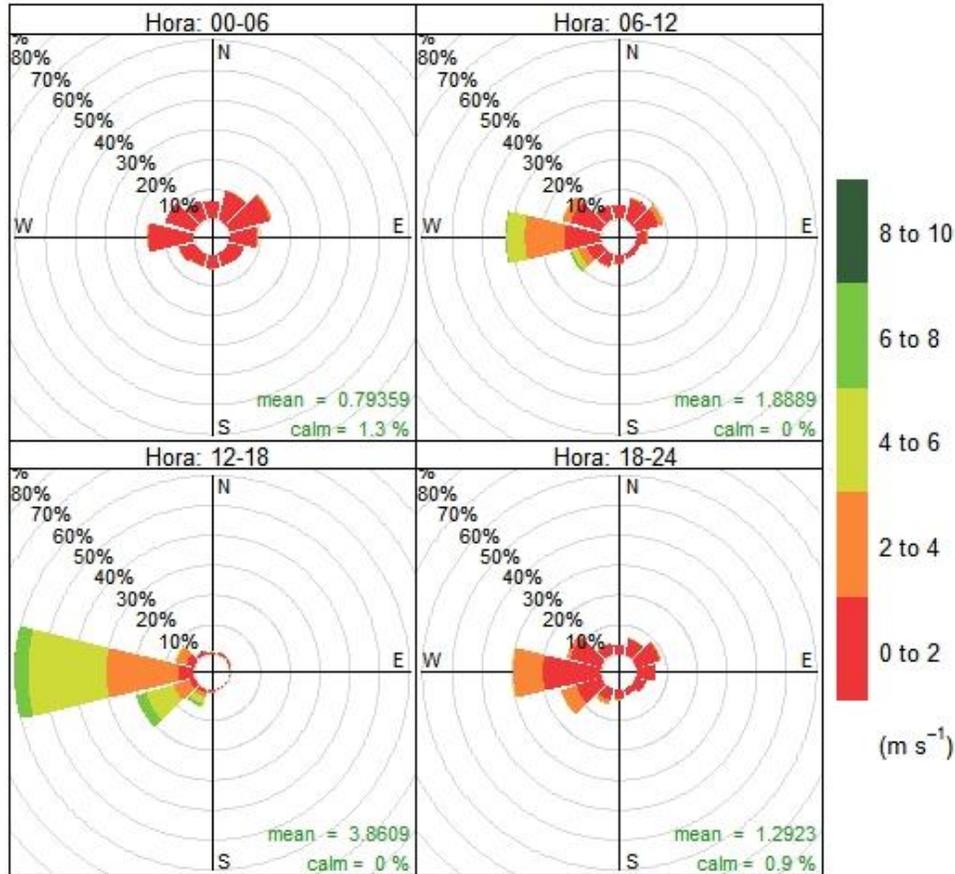


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 11-19 se observa que las mayores concentraciones de SO₂ provienen de vientos desde el suroeste con velocidades entre 4 y 8 m/s, alcanzando concentraciones de hasta 25 ug/m³, y desde vientos provenientes del noreste, con velocidades entre 6 y 8 m/s.

11.3.7 Red San Isidro, estación Nehuenco

Figura 11-20 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Nehuenco, Periodo 2015-2017



Frequency of counts by wind direction (%)

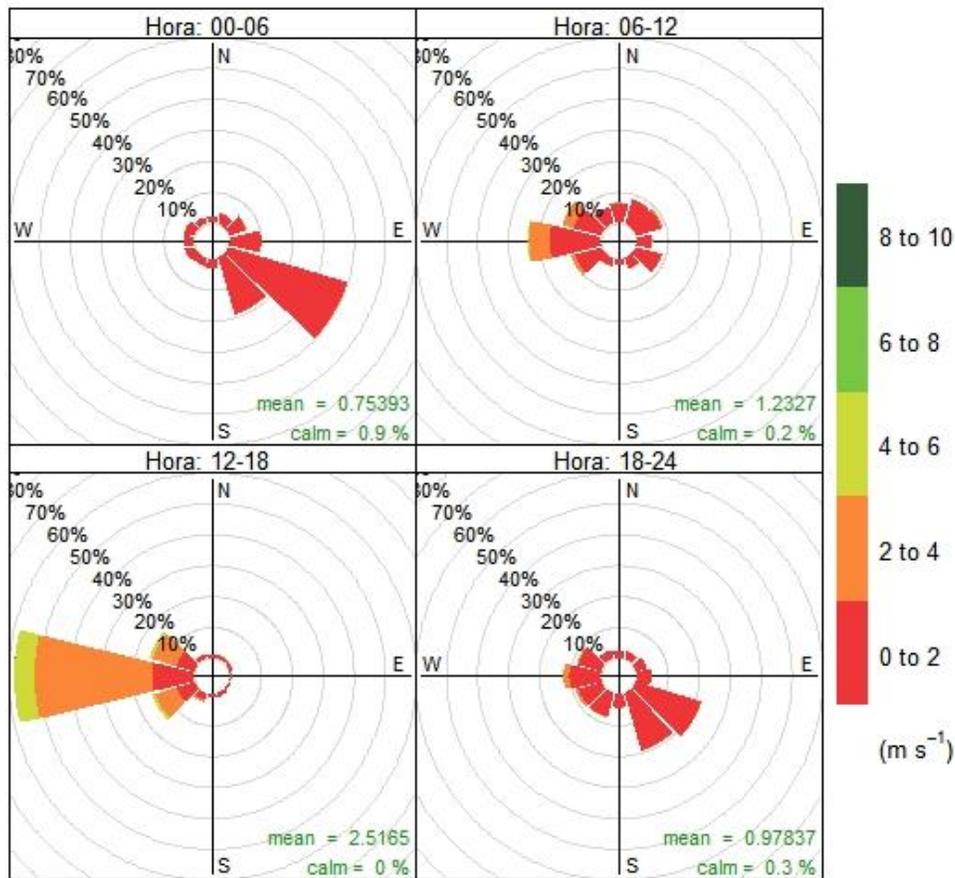
La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la estación de Nehuenco se observa que durante la tarde, entre las 12:00 y las 18:00 horas, el viento notoriamente proviene desde el oeste, alcanzando velocidades máximas entre 6 y 8 m/s. El resto del día, las direcciones del viento son erráticas, predominando levemente el viento desde el este. Para esta estación tampoco se presentan mediciones de MP10 y SO₂, por lo que no hay análisis de distribución de estos.

11.3.8 Red San Isidro, estación San Pedro

Figura 11-21 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación San Pedro, Periodo 2015-2017



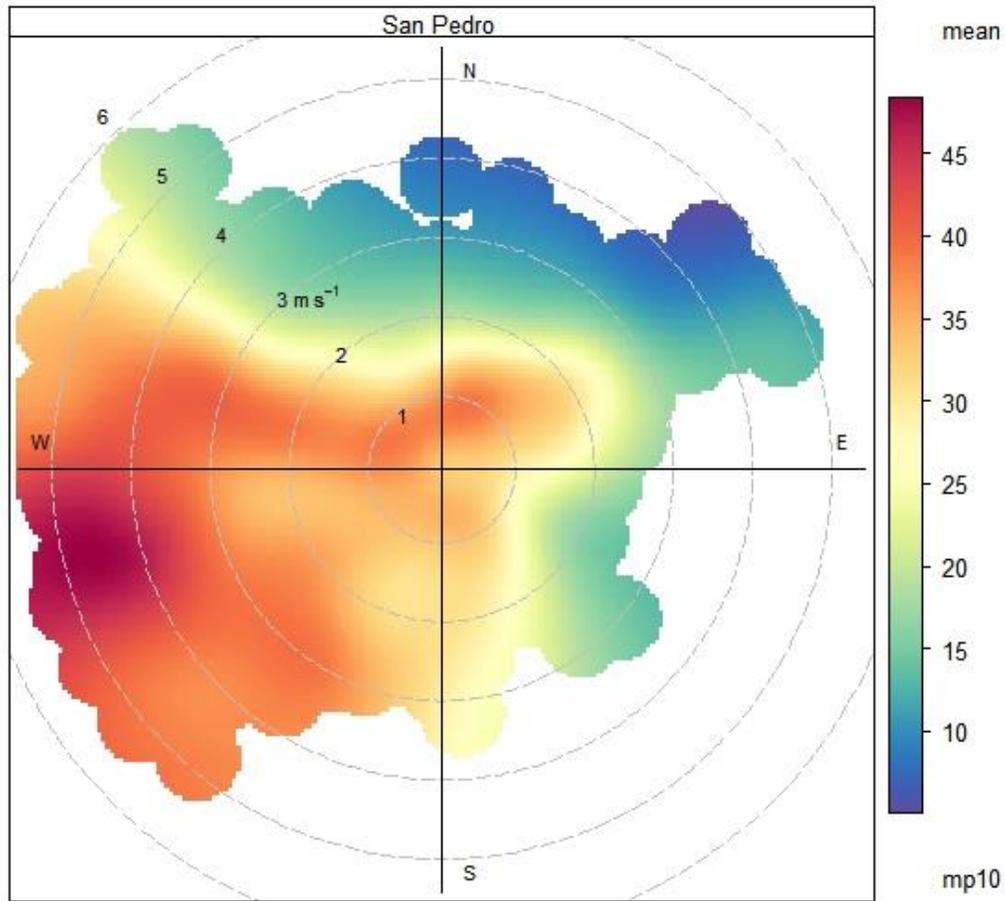
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la figura anterior se concluye que desde las 18:00 hasta las 6:00 horas, el viento proviene principalmente desde el sureste, a bajas velocidades. Durante el segundo cuartil del día el viento no tiene una dirección definida, pero predomina el viento en dirección este. Por último, durante la tarde se aprecia claramente que el viento va en dirección este, alcanzando mayores velocidades con máximos entre 4 y 6 m/s.

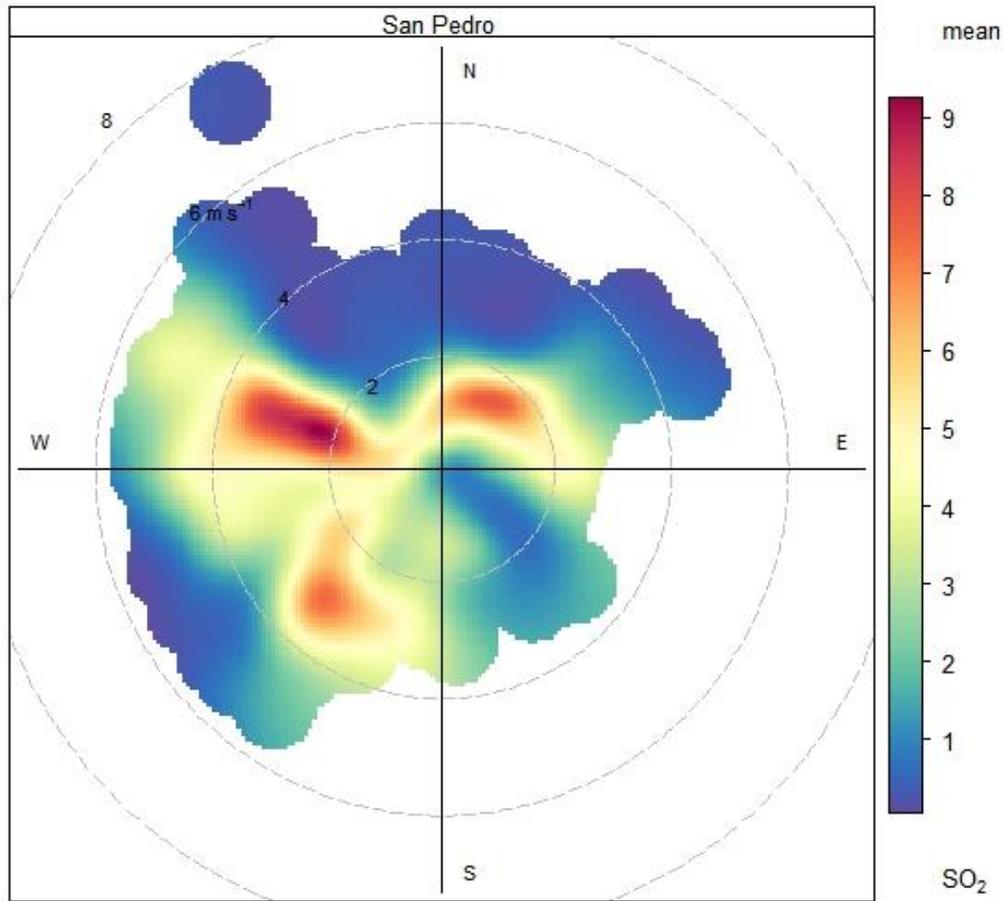
Figura 11-22 Concentración MP10 [ug/m3] según dirección y velocidad del viento estación San Pedro, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En cuanto a la distribución de material particulado, se aprecia que las mayores concentraciones provienen desde el oeste, con vientos entre 0 y 6 m/s, y se alcanza un máximo de aproximadamente 50 ug/m3. Desde el noreste provienen concentraciones de hasta 40 ug/m3 con vientos entre 0 y 2 m/s.

Figura 11-23 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación San Pedro, Periodo 2015-2017.

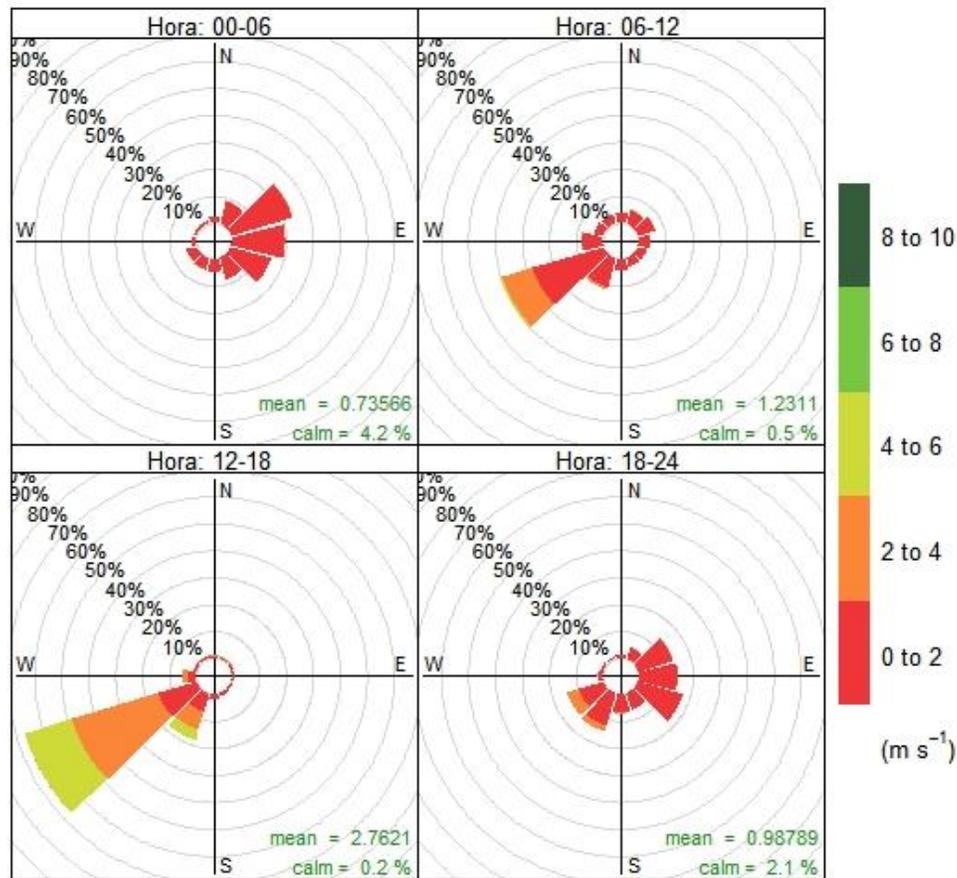


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

La figura de distribución de SO₂ indica que las mayores concentraciones, de hasta 10 ug/m³, provienen desde el noroeste, con vientos entre 2 y 4 m/s. Concentraciones un poco menores, entre 6 y 8 ug/m³, provienen desde el noreste y el suroeste, con velocidades de los vientos entre 0 y 4 m/s.

11.3.9 Red San Isidro, estación La Palma

Figura 11-24 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación La Palma, Periodo 2015-2017



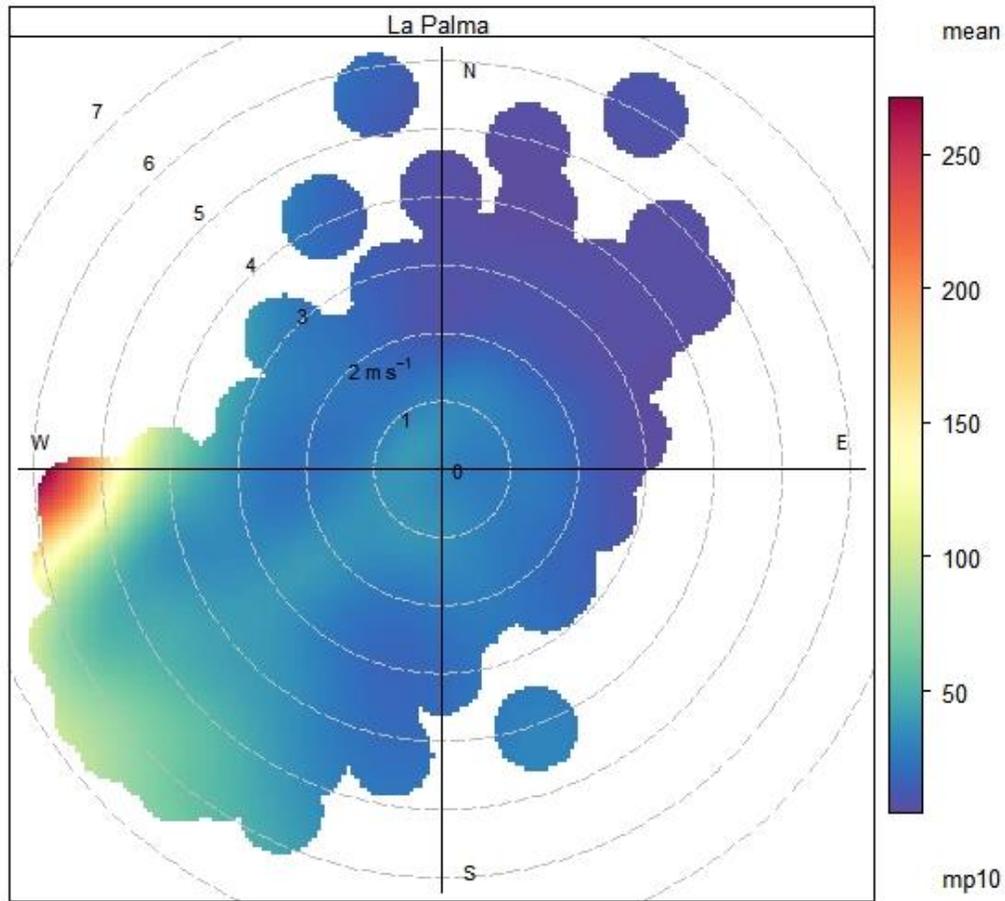
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la estación de La Palma, predominan los vientos en dirección noreste desde las 6:00 hasta las 18:00 horas, alcanzando mayores velocidades durante la tarde. Durante la noche y la madrugada, el viento viene principalmente desde el este, con bajas velocidades.

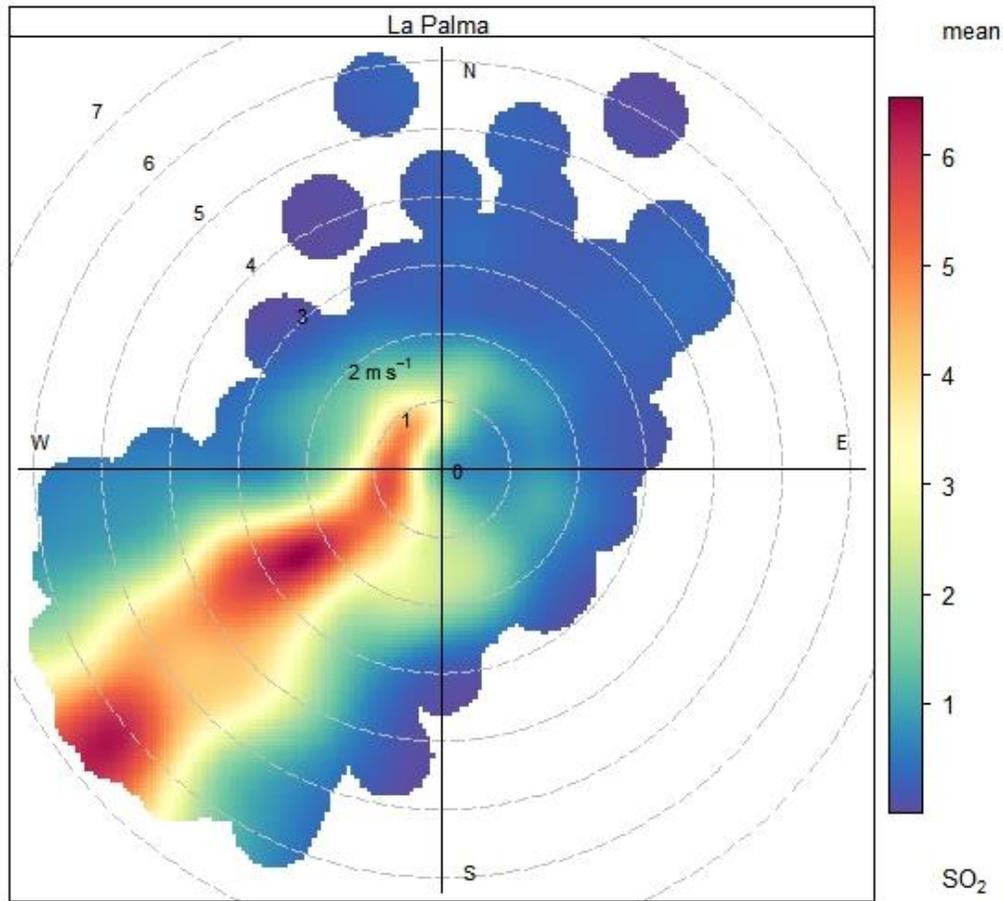
Figura 11-25 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación La Palma, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

La distribución de MP10 muestra que las concentraciones son en general bajas, aumentando en las provenientes desde el suroeste hasta aproximadamente $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto se corresponde con los vientos predominantes en la tarde explicados en la figura anterior.

Figura 11-26 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación La Palma, Periodo 2015-2017.

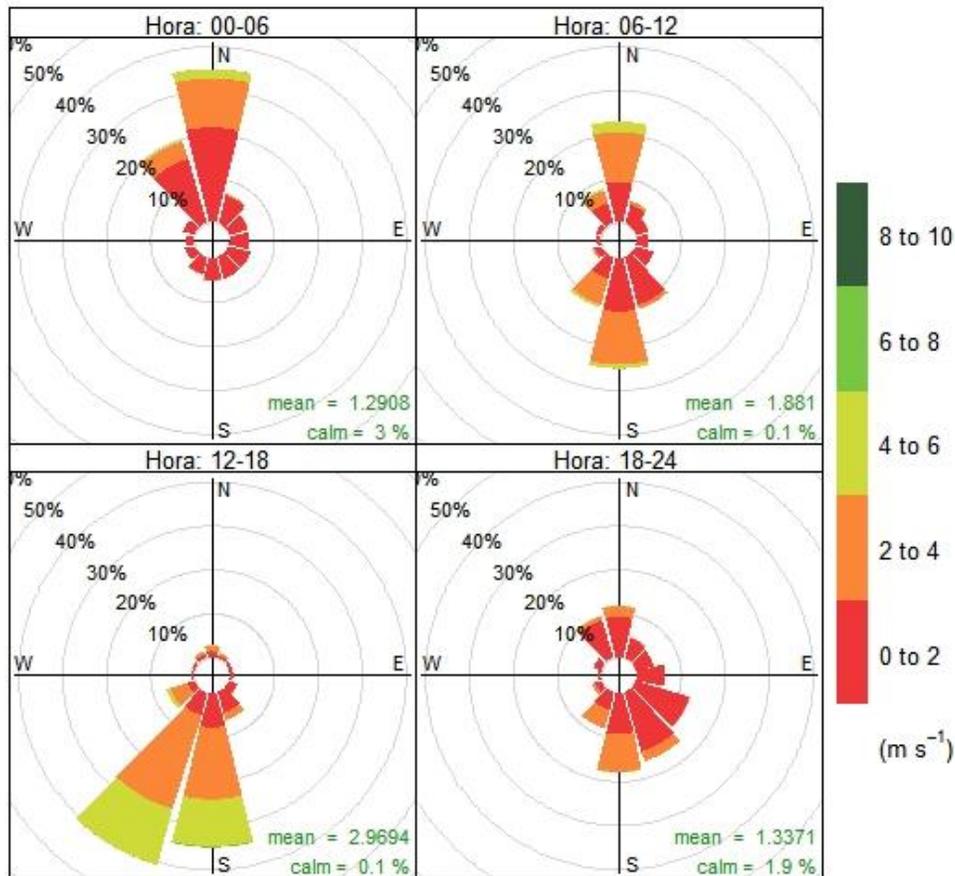


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

Las mayores concentraciones de SO₂, igual como sucede con el MP10, provienen desde el suroeste, alcanzando hasta 7 ug/m³ para vientos entre 0 y 7 m/s.

11.3.10 Red San Isidro, estación La Cruz

Figura 11-27 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación La Cruz, Periodo 2015-2017



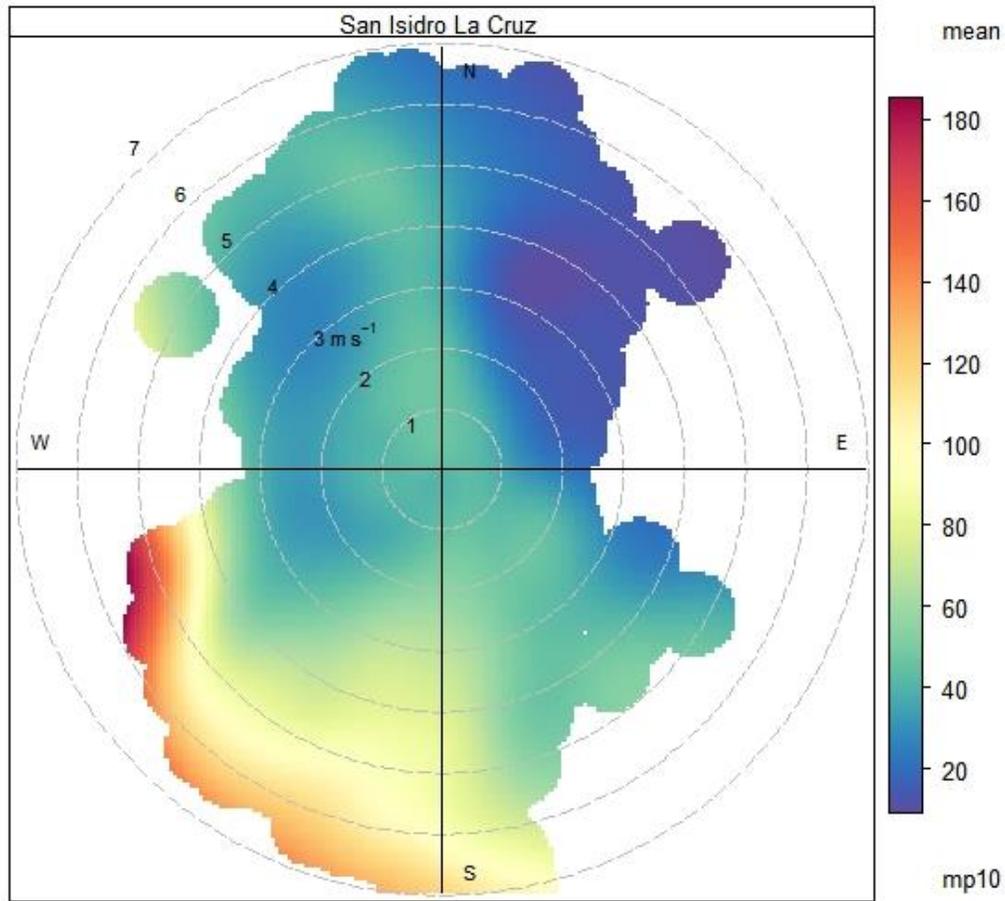
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la estación La Cruz, de la red San Isidro, predomina el viento en dirección sur durante la madrugada, con velocidades máximas registradas entre 4 y 6 m/s. En la tarde se da la situación contraria, con vientos en dirección norte y con un mayor porcentaje de velocidad más alta, entre 4 y 6 m/s. El resto del día, el viento cambia entre direcciones norte y sur.

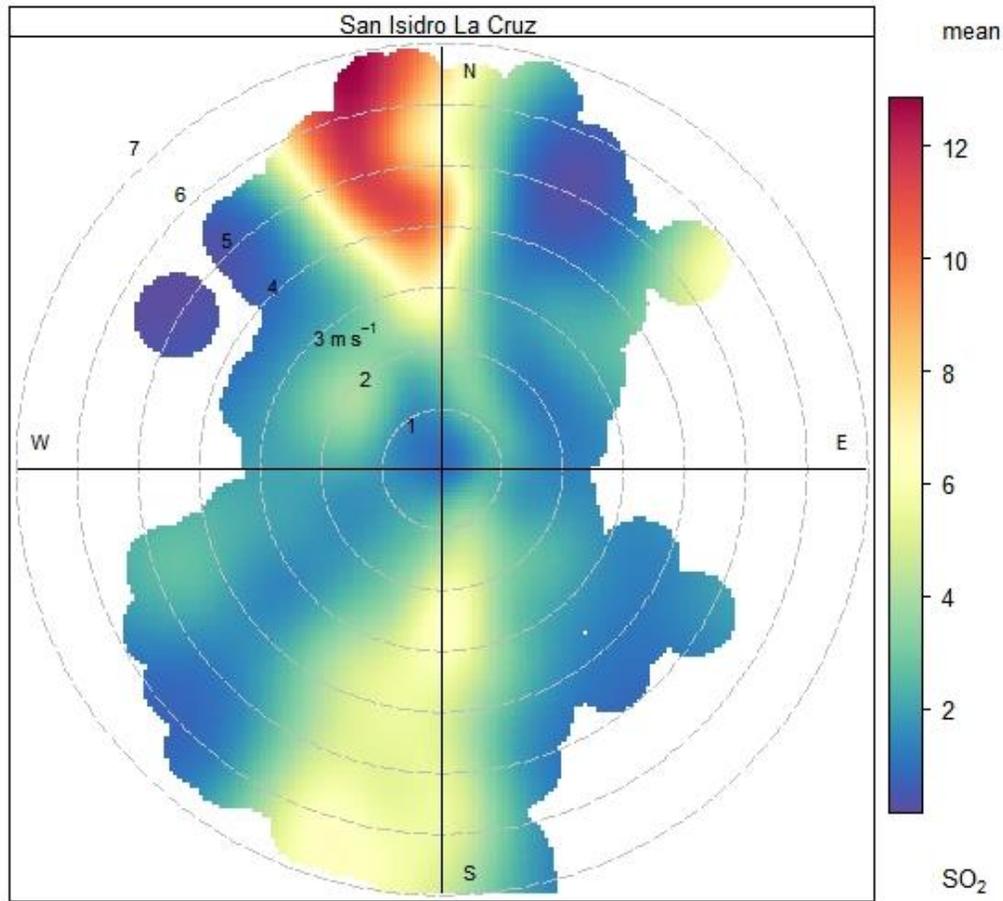
Figura 11-28 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación San Isidro La Cruz, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 4-28 se observa una mayor concentración de MP10 proveniente desde el sur oeste, en vientos desde 4 a 7 m/s. El máximo que se alcanza es de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a una velocidad del viento entre 5 y 6 m/s, lo que se corresponde con la dirección predominante del viento entre las 12:00 y las 18:00 horas visto en la Figura 11-27. En los vientos en dirección noroeste y sureste se observan concentraciones menores, entre 40 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 11-29 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación San Isidro La Cruz, Periodo 2015-2017.

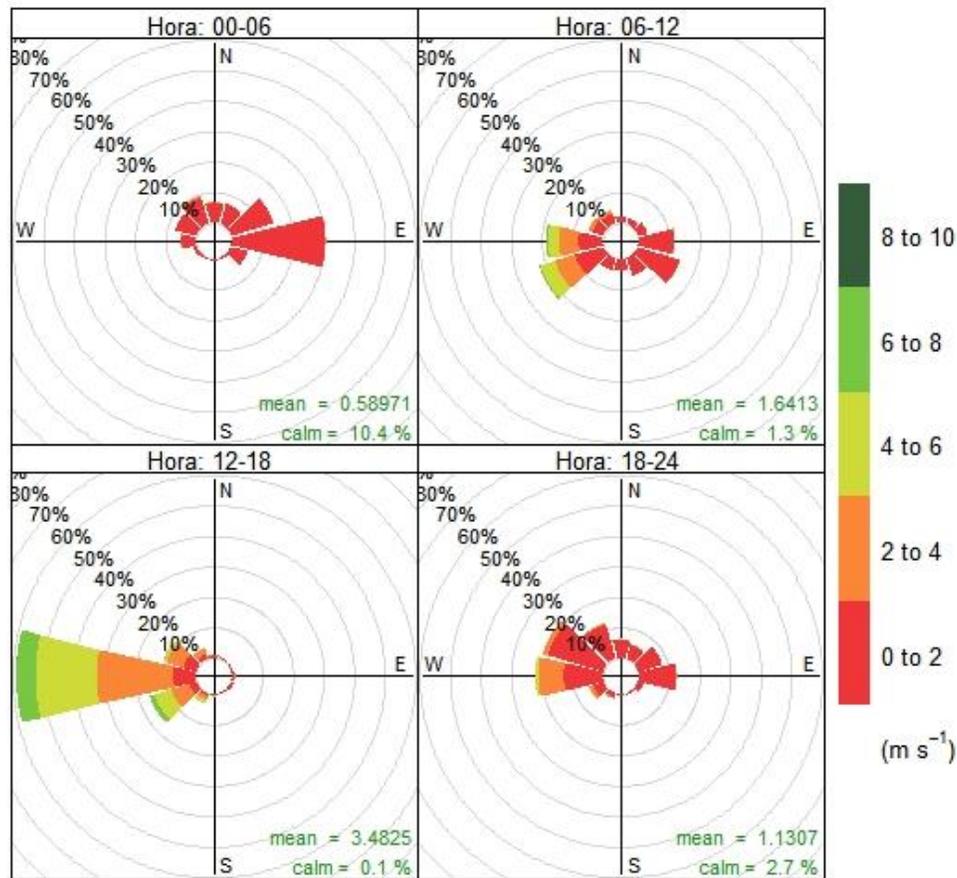


Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la figura se observa que las mayores concentraciones de SO₂ provienen del norte y del sur. Desde el norte se registran las concentraciones máximas de aproximadamente 12 ug/m³ en vientos entre 4 y 7 m/s, lo que nuevamente se corresponde con lo visto en la Figura 11-27. Desde el sur viene el contaminante en menores concentraciones, alcanzando aproximadamente 6 ug/m³ en vientos entre 2 y 7 m/s.

11.3.11 Red San Isidro, estación Manzanar

Figura 11-30 Rosa de los vientos por cuartil horario para Estación Manzanar, Periodo 2015-2017



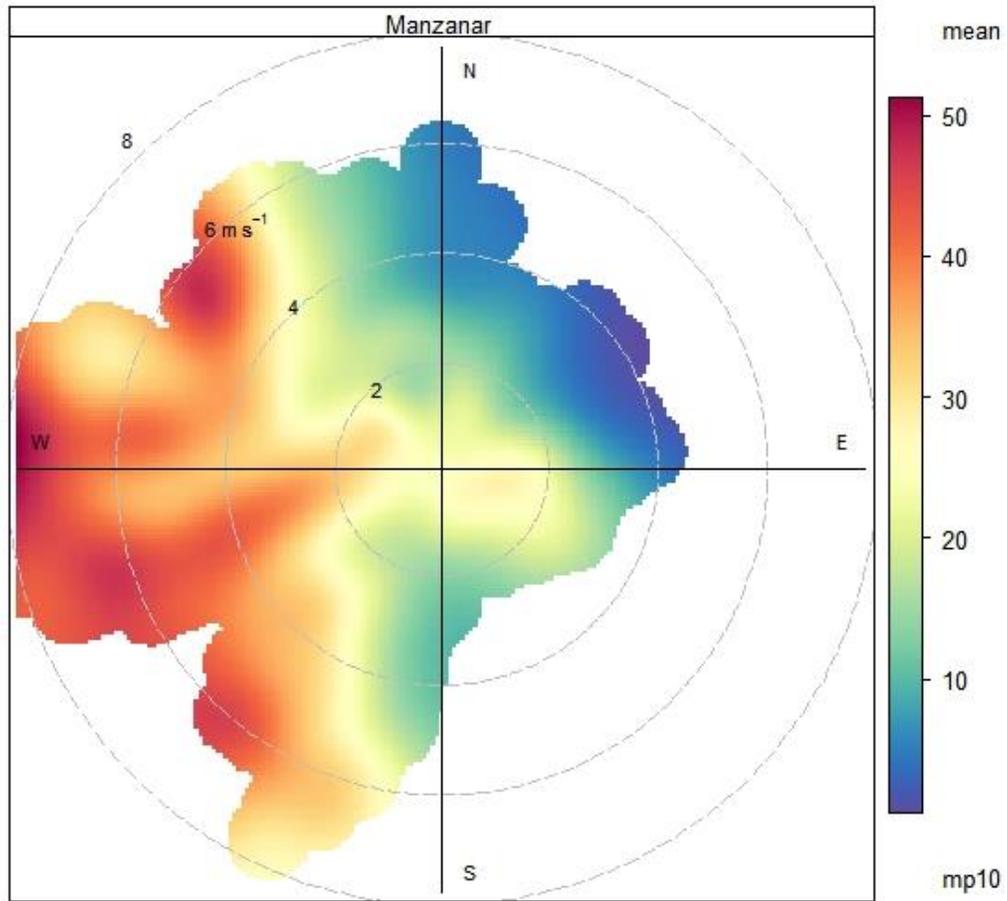
Frequency of counts by wind direction (%)

La figura presenta la frecuencia temporal del viento por dirección y por rango de velocidad. También presenta la velocidad media registrada y el porcentaje de tiempo de vientos calmos.

Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la estación Manzanar se observaron vientos predominantes desde el oeste a partir de las 6:00 horas hasta el final del día. Las mayores velocidades se registran durante la tarde, entre las 12:00 y las 18:00 horas, alcanzando entre 6 y 8 m/s. Durante la madrugada la situación es la inversa, con vientos principalmente con dirección oeste.

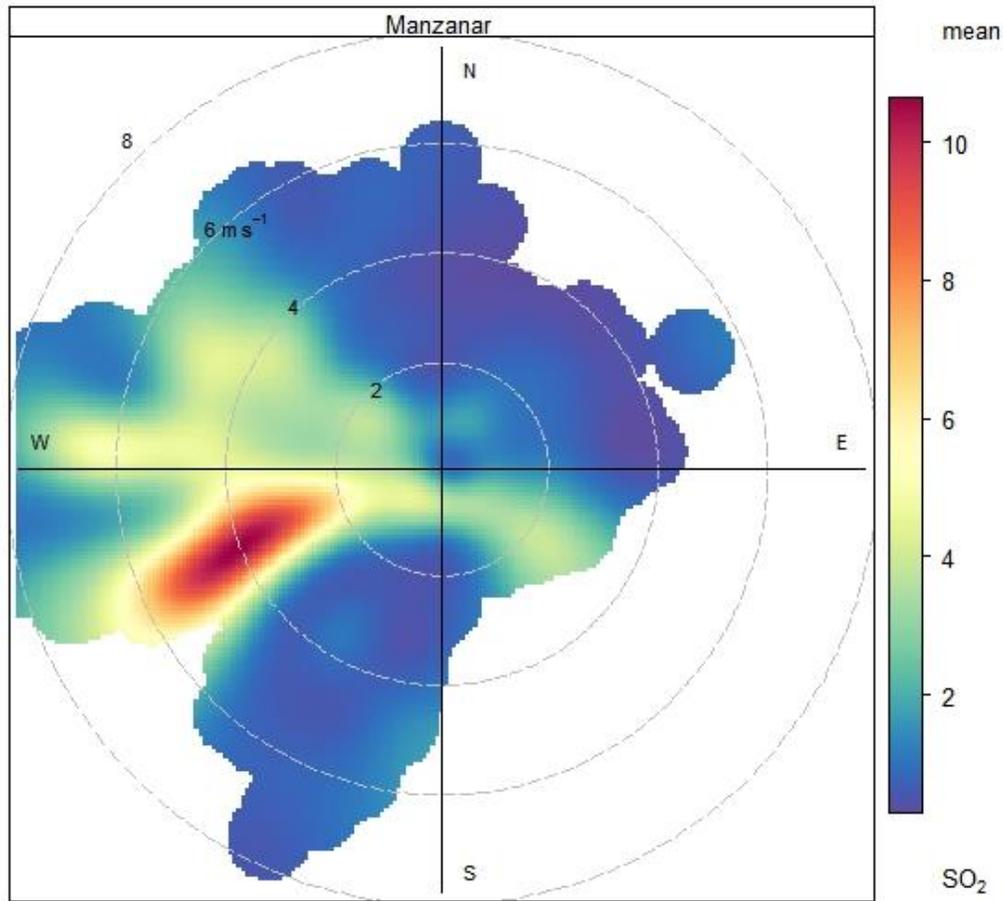
Figura 11-31 Concentración MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] según dirección y velocidad del viento estación Manzanar, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

En la Figura 11-31 se observa que las emisiones de MP10 provienen del oeste, de acuerdo a lo visto en la Figura 11-30. Las mayores concentraciones se dan en vientos entre 4 y 8 m/s, con valores máximos entre 40 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 11-32 Concentración SO₂ [ug/m³] según dirección y velocidad del viento estación Manzanar, Periodo 2015-2017.



Fuente: Elaboración propia en base a información de estaciones de monitoreo particulares, la cual fue entregada por la contraparte técnica

De la misma manera en que sucede con el MP10, el dióxido de carbono proviene en mayores concentraciones desde el oeste, especialmente desde el suroeste. Desde aquí el viento presenta valores máximos de 10 ug/m³ cuando las velocidades van entre 2 y 6 m/s. Las demás concentraciones provenientes del oeste son entre 4 y 6 ug/m³.

11.4 Fichas-resumen de las medidas de reducción de emisiones

11.4.1 Recambio de Equipos a Leña (salamandras)

Recambio de Equipos a Leña (salamandras)	
Categoría	Residencial

Recambio de Equipos a Leña (salamandras)	
Descripción	<p>La medida consiste en un programa de recambio de artefactos de combustión a leña, donde los usuarios entregan uno antiguo, y reciben uno nuevo menos contaminante. La tecnología entrante considerada corresponde a un equipo a leña, en este caso a Combustión lenta C/T.</p> <p>El equipo que entrará al parque en vez del artefacto recambiado será un equipo cuyo factor de emisión es menor al factor de emisión del equipo saliente del parque, y cuya eficiencia de combustión es mayor (véase detalles a continuación).</p> <p>Este tipo de programa viene acompañado de la entrega de un subsidio directamente al consumidor, distribuido por artefacto recambiado, a fin de incentivar que se haga dicho recambio¹⁵⁹.</p>
Fuente aplicada	Fuentes Fijas, Areales (Alcance: Calefacción)
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> • CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y a un supuesto del Consultor". • GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2,5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013. • Ambiente Consultores, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa, 2007.
Reducción de emisiones	

¹⁵⁹ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2,5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Recambio de Equipos a Leña (salamandras)

Reducción

La reducción de emisiones se produce al cambiar artefactos más contaminantes (salamandras) por otros equipos menos contaminantes (Combustión lenta C/T). Los nuevos artefactos permiten satisfacer el mismo nivel de demanda de calor que se satisfacía con los equipos anteriores, contaminando menos (gracias a sus características técnicas inherentes).

En consecuencia, esto permite una reducción del consumo de los energéticos (leña) en el caso del equipo que cumple la norma (presentados a continuación en esta sección).

En el marco de esta medida, se integró al modelo **un número de equipos a recambiar** cuyo valor se basa en la cantidad de artefactos existentes en cada comuna. En las comunas donde están localizados más artefactos pudiendo ser objeto de recambio, se proponen números mayores de artefactos a recambiar.

Se debe mencionar que el total de equipos a cambiar no afecta la costo-eficiencia de la medida, la cual es relevante para su evaluación y posterior implementación. Dicho criterio es considerado suficiente para validar el recambio propuesto (véase Sección 8.1.2.1 para mayores detalles).

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra
Catemu	100	-100
Llay Llay	200	-200
Panquehue	50	-50
Hijuelas	200	-200
La Calera	300	-300
La Cruz	200	-200
Nogales	200	-200
Quillota	500	-500
Total	1.750	-1.750

Luego, se obtuvo el cambio del número de artefactos asociado a la implementación del recambio de equipos (nueva distribución de los artefactos tras recambio).

Se presentan en la tabla disponible a continuación las cantidades de artefactos antes (i.e. actuales) de la aplicación de la medida¹⁶⁰ [número de artefactos].

Artefacto	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Combustión lenta S/T	130	224	63	165	454	202	193	830	2.260
Combustión lenta C/T	290	500	141	369	1.014	452	431	1.854	5.050
Salamandra	228	394	111	291	799	356	339	1.461	3.977
Chimenea	15	25	7	19	51	23	22	93	254
Total	662	1.142	322	844	2.317	1.032	984	4.238	11.540

Nota: Se hizo el supuesto que existe un artefacto por hogar en la V Región

Se presentan en la tabla disponible a continuación las cantidades de artefactos después de la aplicación de la medida¹⁶¹ [número de artefactos].

Artefacto	Catemu	Llay Llay	Panquehue	Hijuelas	La Calera	La Cruz	Nogales	Quillota	Total
Combustión lenta S/T	130	224	63	165	454	202	193	830	2.260
Combustión lenta C/T	390	700	191	569	1.314	652	631	2.354	6.800
Salamandra	128	194	61	91	499	156	139	961	2.227

¹⁶⁰ Elaboración propia a partir de CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

¹⁶¹ Elaboración propia en base a CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

Recambio de Equipos a Leña (salamandras)

Chimenea	15	25	7	19	51	23	22	93	254
Total	662	1.142	322	844	2.317	1.032	984	4.238	11.540

El recambio propuesto genera una reducción de emisiones producto de la diferencia en los factores de emisión¹⁶² (utilizados en la Sección 6.4.1), los cuales son menores para los equipos más modernos.

También existe una reducción del consumo de leña por la diferencia en las eficiencias de combustión. Siendo mayor las eficiencias de combustión de los equipos recambiados en el marco de la medida, bajo el supuesto de que el consumo de energía térmica es constante, se requiere de un menor consumo de leña para satisfacer esta necesidad de energía térmica. Las eficiencias térmicas o de combustión se presentan a continuación:

Comuna	Eficiencia de combustión
Cocina a leña	50%
Combustión lenta S/T	55%
Combustión lenta C/T	60%
Salamandra	50%
Chimenea	40%

La siguiente tabla presenta el cambio en el consumo de leña asociado a distintos equipos. Los nuevos equipos ven aumentado su consumo de leña, el cual proviene del consumo evitado en salamandras. Se observa que se ahorran 319 toneladas de consumo de leña, dado que los nuevos equipos son más eficientes térmicamente¹⁶³.

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra
Catemu	118	-137
Llay Llay	236	-272
Panquehue	59	-68
Hijuelas	233	-269
La Calera	357	-411
La Cruz	235	-271
Nogales	235	-271
Quillota	595	-687
Total	2,068	-2,387

La reducción del consumo de combustible permite una reducción de las emisiones asociadas al uso de calefactores a leña. Dicha reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de la medida propuesta, se presenta a continuación. Esta se calcula a partir de los factores de emisión para el sector residencial de leña (ver Sección 6.4.1), donde las emisiones del consumo en equipos de combustión lenta C/T son menores a las emisiones por el consumo evitado en salamandras.

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Catemu	23,9	17,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,0
Llay Llay	47,6	33,9	2,0	2,0	2,1	1,2	0,0
Panquehue	11,9	8,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,0
Hijuelas	47,1	33,5	2,0	2,0	2,1	1,1	0,0
La Calera	72,0	51,3	3,0	3,0	3,1	1,8	0,1
La Cruz	47,5	33,8	2,0	2,0	2,1	1,2	0,0
Nogales	47,4	33,7	2,0	2,0	2,1	1,2	0,0
Quillota	120,3	85,6	5,1	5,1	5,2	2,9	0,1
Total	417,8	297,4	17,6	17,6	18,2	10,2	0,4

Recambio de Equipos a Leña (salamandras)																																									
Método	<p>La reducción de emisiones se produce al cambiar artefactos más contaminantes por nuevos equipos menos contaminantes, que permiten satisfacer el mismo nivel de demanda de calor que se satisfacía con los equipos anteriores, contaminando menos (gracias a sus características técnicas inherentes). De esta manera, también se genera un menor consumo de leña de los equipos nuevos.</p> <p>La reducción de emisiones se obtiene de la diferencia en los factores de emisión¹⁶⁴ (utilizados en Sección 6.4.1).</p>																																								
Contaminante(s)	MP2,5, MP10, CO, COV, NOx																																								
Vida Útil	Vida útil de los nuevos equipos: 20 años																																								
Penetración	La penetración de la medida corresponde a un periodo de 3 años.																																								
Temporalidad	Equipos a Leña (Combustión lenta C/T): 1.000 recambios al año.																																								
Información Costos																																									
	<p>Los costos de inversión corresponden a la compra de los equipos que cumplen la normativa, los cuales son asumidos por la población. El equipo que cumple la normativa tiene un precio de venta al cual se debe sumar el costo de chatarrización del equipo. El costo total de inversión por recambio es equivalente 11,3 UF.</p> <p>En la tabla a continuación, se proporcionan los costos unitarios¹⁶⁵ asociados a la compra del nuevo equipo y a la chatarrización del equipo a recambiar.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tecnología</th> <th>Equipo (UF/equipo)</th> <th>Chatarrización (CLP2012/equipo)</th> <th>Inversión Total (UF/equipo)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combustión lenta C/T</td> <td>10,4</td> <td>20.000</td> <td>11,3</td> </tr> </tbody> </table>	Tecnología	Equipo (UF/equipo)	Chatarrización (CLP2012/equipo)	Inversión Total (UF/equipo)	Combustión lenta C/T	10,4	20.000	11,3																																
Tecnología	Equipo (UF/equipo)	Chatarrización (CLP2012/equipo)	Inversión Total (UF/equipo)																																						
Combustión lenta C/T	10,4	20.000	11,3																																						
Inversión	<p>Se presentan en la tabla siguiente los costos totales de inversión asociados al recambio de equipos de calefacción a leña en la V Región [UF]. Este costo total de inversión corresponde a una suma de la multiplicación del número de equipos nuevos por el valor de la inversión del equipo sumado al costo unitario de la chatarrización del equipo antiguo.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Equipos a recambiar [Número de artefactos]</th> <th>Detalle Costos</th> <th>Costos totales [UF]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>100</td> <td>100*(10,4+0,9)</td> <td>1.128</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>200</td> <td>200*(10,4+0,9)</td> <td>2.257</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>50</td> <td>50*(10,4+0,9)</td> <td>564</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>200</td> <td>200*(10,4+0,9)</td> <td>2.257</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>300</td> <td>300*(10,4+0,9)</td> <td>3.385</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>200</td> <td>200*(10,4+0,9)</td> <td>2.257</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>200</td> <td>200*(10,4+0,9)</td> <td>2.257</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>500</td> <td>500*(10,4+0,9)</td> <td>5.642</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.750</td> <td>1.750*(10,4+0,9)</td> <td>19.749</td> </tr> </tbody> </table>	Comuna	Equipos a recambiar [Número de artefactos]	Detalle Costos	Costos totales [UF]	Catemu	100	100*(10,4+0,9)	1.128	Llay Llay	200	200*(10,4+0,9)	2.257	Panquehue	50	50*(10,4+0,9)	564	Hijuelas	200	200*(10,4+0,9)	2.257	La Calera	300	300*(10,4+0,9)	3.385	La Cruz	200	200*(10,4+0,9)	2.257	Nogales	200	200*(10,4+0,9)	2.257	Quillota	500	500*(10,4+0,9)	5.642	Total	1.750	1.750*(10,4+0,9)	19.749
Comuna	Equipos a recambiar [Número de artefactos]	Detalle Costos	Costos totales [UF]																																						
Catemu	100	100*(10,4+0,9)	1.128																																						
Llay Llay	200	200*(10,4+0,9)	2.257																																						
Panquehue	50	50*(10,4+0,9)	564																																						
Hijuelas	200	200*(10,4+0,9)	2.257																																						
La Calera	300	300*(10,4+0,9)	3.385																																						
La Cruz	200	200*(10,4+0,9)	2.257																																						
Nogales	200	200*(10,4+0,9)	2.257																																						
Quillota	500	500*(10,4+0,9)	5.642																																						
Total	1.750	1.750*(10,4+0,9)	19.749																																						

¹⁶² MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹⁶³ Requieren menor cantidad de leña para generar la misma energía térmica en la vivienda.

¹⁶⁴ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹⁶⁵ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.

Recambio de Equipos a Leña (salamandras)

Operación y Mantenición	<p>La implementación de esta medida tiene por efecto una reducción del consumo de combustible (leña). Por lo tanto, esta medida permite ahorros en costos de operación, incurridos por la población, gracias a un ahorro de combustible asociado al traslado a artefactos más eficientes. Estos costos se calcularon en base a los costos unitarios de la leña¹⁶⁶ presentados a continuación (véase también Tabla 8-9):</p>																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Combustible</th> <th>CLP2012/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Leña Seca</td> <td>54,34</td> </tr> <tr> <td>Leña Húmeda</td> <td>36,85</td> </tr> </tbody> </table>	Combustible	CLP2012/kg	Leña Seca	54,34	Leña Húmeda	36,85														
	Combustible	CLP2012/kg																			
	Leña Seca	54,34																			
	Leña Húmeda	36,85																			
<p>El ahorro de consumo de leña se obtiene a partir de la diferencia entre los consumos de leña antes y después de la implementación de la medida. Éstos se obtienen a partir de los niveles de actividad antes (obtenido a partir del inventario de emisiones, véase Sección 6), y después de la medida (obtenido a partir de las eficiencias disponibles en la Sección “Reducción” de esta ficha-resumen y del inventario de emisiones disponible en la Sección 6).</p>																					
<p>En base a lo anterior, se calculan los ahorros en consumo de leña (a partir de los consumos antes y post-medida), luego, se calculan los ahorros en costos de operación beneficiando al consumidor (hogar abarcado por la medida). Se calculan de la siguiente manera (se obtienen desagregados por leña seca o húmeda):</p>																					
<p>Ahorros Costos Operación = (Ahorros Consumo Leña) * (Costos unitario Leña)</p>																					
<p>Se presentan a continuación los ahorros en costos de operación incurridos por la población, es decir por los hogares abarcados por la medida (CLP2012).</p>																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>\$1.062.869</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>\$2.127.753</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>\$531.588</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>\$2.122.728</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>\$3.180.580</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>\$2.127.433</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>\$2.126.809</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>\$5.288.766</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>\$18.568.526</td> </tr> </tbody> </table>	Comuna	Total	Catemu	\$1.062.869	Llay Llay	\$2.127.753	Panquehue	\$531.588	Hijuelas	\$2.122.728	La Calera	\$3.180.580	La Cruz	\$2.127.433	Nogales	\$2.126.809	Quillota	\$5.288.766	Total	\$18.568.526
Comuna	Total																				
Catemu	\$1.062.869																				
Llay Llay	\$2.127.753																				
Panquehue	\$531.588																				
Hijuelas	\$2.122.728																				
La Calera	\$3.180.580																				
La Cruz	\$2.127.433																				
Nogales	\$2.126.809																				
Quillota	\$5.288.766																				
Total	\$18.568.526																				

11.4.2 Venta y Utilización de Leña Seca

Venta y Utilización de Leña Seca	
Categoría	Residencial

¹⁶⁶ GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013

Venta y Utilización de Leña Seca																			
Descripción	<p>La medida considera el reemplazo de la leña actualmente utilizada, por leña seca (humedad menor o igual a 25%), debido a la prohibición de comercialización y utilización de leña húmeda.</p> <p>En base a la distribución de la humedad de la leña que se comercializa y utiliza, se propone un cambiar un porcentaje de la leña húmeda por leña seca. Para ello, se integró al modelo un porcentaje de leña húmeda a cambiar por leña seca; este valor está basado en un trabajo de análisis de la situación energética en la V Región, y de revisión nacional e internacional, realizados por GreenLab.</p>																		
Fuente aplicada	Fuentes Fijas, Areales (Alcance: Calefacción)																		
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2,5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013. CDT, 'Medición Del Consumo Nacional e Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', 2015. 																		
Reducción de emisiones																			
Reducción	<p>En base a la distribución de la humedad de la leña que se comercializa y utiliza actualmente, se propone prohibir la venta y utilización de una parte de leña húmeda (que se vende y utiliza actualmente), que pasará a ser leña seca. Para ello, se integró al modelo un recambio de leña húmeda (a cambiar por leña seca) propuesto por el Consultor, cuyo valor se basa en el consumo actual de la leña húmeda en cada comuna. En las comunas donde el consumo de leña húmeda es mayor en proporción, comparativamente con el consumo de leña seca, se proponen cantidades mayores de leña húmeda a recambiar por leña seca. Además, se privilegiaron las comunas donde las emisiones de partículas son las más altas.</p> <p>Se debe mencionar que el recambio de leña propuesto no afecta la costo-eficiencia de la medida, la cual es relevante para su evaluación y posterior implementación. Dicho criterio es considerado suficiente para validar el recambio de leña húmeda a seca propuesto, detallado en la tabla a continuación [ton/año].</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de Leña</th> <th>Cocina a leña</th> <th>Combustión lenta S/T</th> <th>Combustión lenta C/T</th> <th>Salamandra</th> <th>Chimenea</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Leña Seca</td> <td>0</td> <td>250</td> <td>1.225</td> <td>1.525</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Leña Húmeda</td> <td>0</td> <td>-250</td> <td>-1.225</td> <td>-1.525</td> <td>-25</td> </tr> </tbody> </table> <p>Sabiendo que el factor de emisión de un equipo¹⁶⁷ (utilizados en la Sección 6.4.1) depende del contenido de humedad de la leña, al cambiar los porcentajes de leña húmeda/seca consumidas, las emisiones van a cambiar. La reducción de emisiones se produce porque los factores de emisión de la leña seca son menores a los de la leña húmeda¹⁶⁸.</p> <p>Por lo anterior, se calcularon el consumo de leña actual (anterior a la medida, a partir del nivel de actividad actual) y el consumo de leña post-medida (a partir del consumo de leña actual en la V Región y del recambio de leña propuesto).</p> <p>Se presenta en la tabla siguiente el nivel de actividad actual por comuna [ton/año], obtenido del inventario de emisiones disponible en la Sección 6.4.1.</p>	Tipo de Leña	Cocina a leña	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Leña Seca	0	250	1.225	1.525	25	Leña Húmeda	0	-250	-1.225	-1.525	-25
Tipo de Leña	Cocina a leña	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea														
Leña Seca	0	250	1.225	1.525	25														
Leña Húmeda	0	-250	-1.225	-1.525	-25														

¹⁶⁷ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹⁶⁸ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Venta y Utilización de Leña Seca

Comuna	Consumo leña actual [ton/año]
Catemu	873.31
Llay Llay	1,507.64
Panquehue	424.58
Hijuelas	1,113.97
La Calera	3,057.85
La Cruz	1,361.89
Nogales	1,298.73
Quillota	5,593.16
Total	15,231.13

A continuación, se presenta el **consumo de leña seca por artefacto y comuna, anterior a la implementación de la medida de venta y utilización de leña seca [ton/año]** (elaborado en base al nivel de actividad de la leña actual presentado antes).

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	71	159	181	12	423
Llay Llay	123	275	312	20	729
Panquehue	35	77	88	6	205
Hijuelas	91	203	231	15	539
La Calera	249	557	633	40	1.479
La Cruz	111	248	282	18	659
Nogales	106	237	269	17	628
Quillota	456	1.019	1.158	74	2.706
Total	1.241	2.774	3.153	201	7.369

Luego, se presenta en la tabla a continuación **el consumo de leña seca por artefacto y comuna, posterior a la implementación de la medida de venta y utilización de leña seca [ton/año]** (elaborado en base al nivel de actividad de la leña actual, obtenido del inventario de emisiones disponible en la Sección 6.4.1 y al recambio de leña húmeda por leña seca propuesto por el Consultor).

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	71	209	281	12	573
Llay Llay	123	325	412	20	879
Panquehue	35	102	113	6	255
Hijuelas	91	303	331	15	739
La Calera	299	757	933	40	2.029
La Cruz	161	348	382	18	909
Nogales	106	337	369	17	828
Quillota	606	1.619	1.858	99	4.181
Total	1.491	3.999	4.678	226	10.394

Los consumos de leña presentados antes permiten calcular la reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de la medida. La tabla siguiente muestra **la reducción de emisiones o emisiones evitadas gracias a la venta y utilización de leña seca [ton/año]**.

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx
Catemu	21	28	2	2	2	0
Llay Llay	21	28	2	2	2	0
Panquehue	7	8	1	1	1	0
Hijuelas	27	31	2	2	2	0
La Calera	81	89	6	6	6	-1
La Cruz	39	34	2	2	2	0

Venta y Utilización de Leña Seca																																					
		Nogales	27	31	2	2	2	0																													
		Quillota	217	224	16	16	15	-3																													
		Total	439	473	33	33	32	-7																													
Método	Se propone prohibir un porcentaje de leña húmeda, que pasa a ser leña seca. Sabiendo que el factor de emisión de un equipo ¹⁶⁹ (utilizados en Sección 6.4.1) depende del contenido de humedad de la leña, por lo tanto, al cambiar los porcentajes de leña húmeda/seca consumidas, este se ve modificado. La reducción de emisiones se produce porque los factores de emisión de la leña seca son menores a los de la leña húmeda ¹⁷⁰ .																																				
Contaminante(s)	MP2,5, MP10, CO, COV, NOx																																				
Vida Útil	Vida útil de los xilohigrómetros (artefactos para la medición de la humedad de la leña): 3 años																																				
Penetración	Se estima que la penetración de la medida es equivalente a 4 años (mínimo).																																				
Temporalidad	No aplica.																																				
Información Costos																																					
Inversión	<p>En lo referente a la inversión, se considera la compra obligatoria de xilohigrómetros, artefactos necesarios para la medición de la humedad de la leña, por parte de los comerciantes (privados). Se considera que el costo es de 200.000 CLP por artefacto a comprar por comerciante (en base a cotizaciones de mercado¹⁷¹), y que cada aparato tiene una vida útil de 3 años. Se consideran a unos 30 comerciantes de leña (supuesto hecho en base al caso de Temuco y Padre las Casas, con proporcionalidad en base al consumo de leña¹⁷²), quienes son los que realizan la compra, por lo que se genera un costo total de inversión de 5.907.121 CLP2012.</p> <p>Se presentan en la tabla a continuación dichos costos de inversión [CLP2012] y el número de xilohigrómetros a comprar por comuna [Número de aparatos].</p> <table border="1" data-bbox="646 1119 1216 1423"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Xilohigrómetros a comprar [Número de aparatos]</th> <th>Inversión [CLP2012]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>2</td> <td>338.697</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>3</td> <td>584.712</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>1</td> <td>164.665</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>2</td> <td>432.033</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>6</td> <td>1.185.931</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>3</td> <td>528.186</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>3</td> <td>503.690</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>11</td> <td>2.169.206</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>30</td> <td>5.907.121</td> </tr> </tbody> </table>							Comuna	Xilohigrómetros a comprar [Número de aparatos]	Inversión [CLP2012]	Catemu	2	338.697	Llay Llay	3	584.712	Panquehue	1	164.665	Hijuelas	2	432.033	La Calera	6	1.185.931	La Cruz	3	528.186	Nogales	3	503.690	Quillota	11	2.169.206	Total	30	5.907.121
Comuna	Xilohigrómetros a comprar [Número de aparatos]	Inversión [CLP2012]																																			
Catemu	2	338.697																																			
Llay Llay	3	584.712																																			
Panquehue	1	164.665																																			
Hijuelas	2	432.033																																			
La Calera	6	1.185.931																																			
La Cruz	3	528.186																																			
Nogales	3	503.690																																			
Quillota	11	2.169.206																																			
Total	30	5.907.121																																			
Operación y Mantenimiento	Se considera un costo de operación para los usuarios debido al secado de la leña (o de inversión para los comercializadores). Este costo se considera como la diferencia entre el																																				

¹⁶⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹⁷⁰ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

¹⁷¹ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹⁷² Para Temuco se estima un total de 200 comerciantes para un consumo de leña de 2 millones de m³, lo que equivale a 10 mil m³ por comerciantes. En base a este número se estima el requerido para la zona de interés. GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Venta y Utilización de Leña Seca

costo de la leña húmeda (\$36.85 CLP2012/kg) y la leña seca (\$54.34 CLP2012/kg)¹⁷³ (disponibles también en la Tabla 8-9). Este costo es realmente asumido por el consumidor (población).

Los costos de operación asociados a esta medida [CLP2012/año] se presentan en la tabla siguiente (véase detalles relativos a la obtención de estos costos en las tablas presentadas a continuación).

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	0	874.713	1.749.425	0	2.624.138
Llay Llay	0	874.713	1.749.425	0	2.624.138
Panquehue	0	437.356	437.356	0	874.713
Hijuelas	0	1.749.425	1.749.425	0	3.498.851
La Calera	874.713	3.498.851	5.248.276	0	9.621.839
La Cruz	874.713	1.749.425	1.749.425	0	4.373.563
Nogales	0	1.749.425	1.749.425	0	3.498.851
Quillota	2.624.138	10.496.552	12.245.977	437.356	25.804.023
Total	4.373.563	21.430.460	26.678.736	437.356	52.920.115

En las tablas a continuación, se proporcionan los detalles del cálculo a realizar para obtener los costos de operación asociados a esta medida, presentados en la tabla anterior. Éstos se obtienen restando los costos de consumo de leña húmeda ahorrada (no consumida) a los nuevos costos de leña seca (post-medida).

Los **beneficios asociados a la leña húmeda no consumida** (obtenidos a partir del recambio propuesto por el consultor en la Tabla 8-11) se presentan en la tabla siguiente [CLP2012/año].

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	0	1.842.414	3.684.828	0	5.527.241
Llay Llay	0	1.842.414	3.684.828	0	5.527.241
Panquehue	0	921.207	921.207	0	1.842.414
Hijuelas	0	3.684.828	3.684.828	0	7.369.655
La Calera	1.842.414	7.369.655	11.054.483	0	20.266.552
La Cruz	1.842.414	3.684.828	3.684.828	0	9.212.069
Nogales	0	3.684.828	3.684.828	0	7.369.655
Quillota	5.527.241	22.108.966	25.793.793	921.207	54.351.207
Total	9.212.069	45.139.138	56.193.621	921.207	111.466.034

Los nuevos **costos asociados al consumo de la leña seca** (obtenidos a partir del recambio propuesto por el consultor en la Tabla 8-11) se presentan en la tabla siguiente [CLP2012/año].

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	0	2.717.126	5.434.253	0	8.151.379
Llay Llay	0	2.717.126	5.434.253	0	8.151.379
Panquehue	0	1.358.563	1.358.563	0	2.717.126
Hijuelas	0	5.434.253	5.434.253	0	10.868.506
La Calera	2.717.126	10.868.506	16.302.759	0	29.888.391
La Cruz	2.717.126	5.434.253	5.434.253	0	13.585.632

¹⁷³ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Venta y Utilización de Leña Seca						
	Nogales	0	5.434.253	5.434.253	0	10.868.506
	Quillota	8.151.379	32.605.517	38.039.770	1.358.563	80.155.230
	Total	13.585.632	66.569.598	82.872.356	1.358.563	164.386.149

11.4.3 Aislación térmica de viviendas existentes

Aislación térmica de viviendas existentes	
Categoría	Residencial
Descripción	<p>La medida consiste en mejorar la aislación térmica de las viviendas existentes (anteriores a 2007), menos las nuevas viviendas (post-2007), para llegar a un nivel de aislación aceptable, según la norma vigente y la zona térmica (zonificación oficial según el clima)¹⁷⁴. Las provincias de la V Región abarcadas en este estudio se ubican en la zona térmica número 2 de Chile¹⁷⁵.</p> <p>El Consultor propone aislar un porcentaje inferior al 100% de las viviendas porque se considera que un porcentaje de las viviendas existentes ya cumple con la norma que se busca alcanzar gracias a la medida, ya sea porque son viviendas nuevas, o porque los propietarios habrían realizado los trabajos de aislación necesarios por iniciativa propia. Por lo anterior, el Consultor propone aislar el 70% de la totalidad de las viviendas, en base al supuesto que un 30% de las viviendas cumplen actualmente con la norma vigente.</p>
Fuente aplicada	Fuentes Fijas, Areales
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> • CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015 y a un supuesto del Consultor". • GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2,5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013.
Reducción de emisiones	
Reducción	<p>La aislación permite bajar la demanda de calor de las viviendas y así reducir el consumo de combustible necesario para la calefacción de los hogares.</p> <p>La reducción de emisiones se produce por la reducción del consumo de energía necesario para calefacción y dependerá de la tecnología de calefacción que utiliza la vivienda para suplir la demanda en calefacción. Por este motivo, se considera la reducción de la demanda de calefacción equivalente en este caso a 20,2% (Reducción de la demanda de calor estimada para la zona térmica 2 a la cual pertenecen las comunas de Valparaíso)¹⁷⁶.</p> <p>La diferencia de emisiones se calcula a partir de la diferencia entre los consumos de combustible post-medida, y antes de la medida (ya conocido gracias al inventario de emisiones, Sección 6.4.1).</p>

¹⁷⁴ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹⁷⁵ Vaspanel, 'Plan de Zonificación Térmica', 2015 <<http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/05/PLANO-ZONIFICACION-TERMICA.pdf>>

¹⁷⁶ El factor de reducción de la demanda de calor de las viviendas utilizado es equivalente a 20,2% (se eligió el factor más conservador a fin de no sobreestimar la reducción de emisiones obtenida). Dicho factor proviene del estudio GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Aislación térmica de viviendas existentes

El consumo de combustible anterior a la medida (actual) se calcula a partir del **nivel de actividad de la leña de los calefactores a leña**. El nivel de actividad se presenta en la tabla a continuación para la leña [ton/año] y para otros combustibles [10³ m³], (elaborada a partir del inventario de emisiones presentado en la Sección 6.4.1).

Comuna	Gas Natural	GLP	Kerosene	Lena
Catemu	0,00	1,19	0,04	873,31
Llay Llay	0,00	2,05	0,06	1.507,64
Panquehue	0,00	0,58	0,02	424,58
Hijuelas	0,00	1,52	0,05	1.113,97
La Calera	1.119,89	4,16	0,13	3.057,85
La Cruz	0,00	1,85	0,06	1.361,89
Nogales	0,00	1,77	0,05	1.298,73
Quillota	2.048,41	7,61	0,23	5.593,16
Total	3.168,31	20,73	0,64	15.231,13

El consumo de combustible post-medida se calcula a partir de la disminución del nivel de actividad inicial presentado antes, que se obtiene gracias a la implementación de la medida, (la reducción de la demanda de calefacción es la presentada en el párrafo anterior, igual a 20,2%).

La fórmula es la siguiente:

Consumo combustible post-medida = Nivel Actividad Calefacción * (1-Reducción de la demanda de calefacción)

En la tabla a continuación, se presenta el **consumo post-aislación de combustibles de los calefactores de las viviendas, producto de la aislación para la leña [ton/año] y para otros combustibles [10³ m³]**.

Comuna	Gas Natural	GLP	Kerosene	Lena
Catemu	0,00	0,95	0,03	696,90
Llay Llay	0,00	1,64	0,05	1.203,10
Panquehue	0,00	0,46	0,01	338,81
Hijuelas	0,00	1,21	0,04	888,95
La Calera	893,67	3,32	0,10	2.440,16
La Cruz	0,00	1,48	0,05	1.086,79
Nogales	0,00	1,41	0,04	1.036,39
Quillota	1.634,63	6,08	0,19	4.463,34
Total	2.528,31	16,54	0,51	12.154,44

Lo anterior permite llegar a la **reducción de emisiones**, presentada en la tabla siguiente, obtenida gracias a la aislación térmica de viviendas existentes [ton/año]. Esta se estima a partir del nivel de actividad (antes y después de la medida) y de los factores de emisión propuesto en el Manual de Inventarios¹⁷⁷.

Combustible	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NH3	NOx	SO2
Gas Natural	0	0	0	0	0	0	1	0
GLP	1	0	0	0	0	0	5	0
Kerosene	0	0	0	0	0	0	0	1
Lena	972	453	53	53	50	0	11	0
Total	973	454	53	53	50	0	16	1

¹⁷⁷ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Aislación térmica de viviendas existentes	
Método	La aislación de viviendas permite bajar la demanda de calor de las viviendas y así reducir el consumo de combustible necesario para la calefacción de los hogares gracias a más hermeticidad. Se ocupa un factor de reducción de la demanda de calor de las viviendas post-aislación, equivalente a 20,2% ¹⁷⁸ , que se aplica a todas las viviendas abarcadas por la medida de aislación. Un menor consumo de combustibles gracias a la aislación permite llegar a una reducción de emisiones de las viviendas aisladas.
Contaminante(s)	MP2,5, MP10, CO, COV, NOx, SO2
Vida Útil	25 años
Penetración	El tiempo estimado para la implementación de la medida es equivalente a 4 años.
Temporalidad	2.000 viviendas por año
Información Costos	

¹⁷⁸ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Aislación térmica de viviendas existentes

Los costos de la medida corresponden al costo de inversión (que incluye materiales, mano de obra y flete) el cual está asociado al nivel de aislación que se quiera para cada una de las envolventes, para llegar a que la vivienda cumple con la norma de aislación térmica¹⁷⁹.

Se detallan a continuación los valores fuentes utilizados para la determinación del costo unitario de inversión asociado a la medida, por vivienda; este último (valor promedio) se presenta también en la siguiente tabla. Así, a fin de no subestimar los costos de inversión de la medida, se ocupó **dicho valor promedio de los costos unitarios de aislación** (presentados en las primeras filas de la tabla siguiente)¹⁸⁰ que dependen de la antigüedad de las viviendas, equivalente entonces a 196 UF/vivienda.

Categoría Viviendas	Aislación en Zona térmica 2 ¹⁸¹ [UF/vivienda]
Construidas antes del 2000	246,7
Construidas entre 2000 y 2007	144,7
Valor Promedio Antes 2000 y 2000-2007	196

Inversión

Los costos totales de inversión se calculan a partir del total de viviendas¹⁸² que necesitan aislación, y los costos unitarios¹⁸³ presentados antes. Se presentan a continuación el número de vivienda a aislar elaborado en base al supuesto del consultor antes descrito (70% de las viviendas totales abarcadas), y los costos totales de inversión de aislación de viviendas por comuna [UF/año].

Comuna	Viviendas a aislar [número de viviendas]	Inversión aislación [UF]
Catemu	463	90.553
Llay Llay	799	156.328
Panquehue	225	44.025
Hijuelas	590	115.508
La Calera	1.620	317.068
La Cruz	722	141.215
Nogales	688	134.665
Quillota	2.963	579.955
Total	8.070	1.579.316

¹⁷⁹ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹⁸⁰ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

¹⁸¹ Vaspanel, 'Planos de Zonificación Térmica', 2015 <<http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/05/PLANO-ZONIFICACION-TERMICA.pdf>>

¹⁸² CDT, 'Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera', Para El Ministerio de Energía, 2015

¹⁸³ GreenlabUC, 'Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas', 2013

Aislación térmica de viviendas existentes																																																																			
Operación y Mantenimiento	<p>Los costos de operación y mantenimiento corresponden a los ahorros que se generan por menor consumo de calefacción producto de la disminución de la demanda de combustible por hogar, permitida gracias a la mejor aislación de la vivienda. Estos ahorros los percibe la población, dependen esencialmente en este caso del combustible y equipo que utilice la vivienda.</p> <p>Éstos se calculan se la siguiente manera: Ahorros Aislación = Costos Unitarios * Consumo combustible ahorrado</p> <p>El consumo de combustible ahorrado se obtiene a partir de los consumos de combustible antes y después de la implementación de la medida (descritos en la sección “Reducción” de la presente ficha-resumen).</p> <p>Los costos unitarios de combustible (leña seca y húmeda) se presentan a continuación (también disponibles en la Tabla 8-9, en el cuerpo del informe)¹⁸⁴:</p> <table border="1" data-bbox="787 730 1068 819"> <thead> <tr> <th>Combustible</th> <th>CLP2012/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Leña Seca</td> <td>54,34</td> </tr> <tr> <td>Leña Húmeda</td> <td>36,85</td> </tr> </tbody> </table> <p>A continuación, se presentan los ahorros obtenidos gracias a la aislación de viviendas [CLP2012/año].</p> <table border="1" data-bbox="444 947 1411 1226"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Combustión lenta S/T</th> <th>Combustión lenta C/T</th> <th>Salamandra</th> <th>Chimenea</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>-1.134.438</td> <td>-2.535.122</td> <td>-2.881.447</td> <td>-183.744</td> <td>-6.734.751</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>-1.958.447</td> <td>-4.376.529</td> <td>-4.974.410</td> <td>-317.209</td> <td>-11.626.594</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>-551.533</td> <td>-1.232.507</td> <td>-1.400.881</td> <td>-89.332</td> <td>-3.274.253</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>-1.447.061</td> <td>-3.233.739</td> <td>-3.675.502</td> <td>-234.380</td> <td>-8.590.682</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>-3.972.178</td> <td>-8.876.603</td> <td>-10.089.242</td> <td>-643.372</td> <td>-23.581.395</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>-1.769.118</td> <td>-3.953.437</td> <td>-4.493.519</td> <td>-286.543</td> <td>-10.502.616</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>-1.687.068</td> <td>-3.770.080</td> <td>-4.285.114</td> <td>-273.254</td> <td>-10.015.516</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>-7.265.581</td> <td>-16.236.349</td> <td>-18.454.408</td> <td>-1.176.803</td> <td>-43.133.141</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>-19.785.424</td> <td>-44.214.366</td> <td>-50.254.522</td> <td>-3.204.636</td> <td>-117.458.948</td> </tr> </tbody> </table>	Combustible	CLP2012/kg	Leña Seca	54,34	Leña Húmeda	36,85	Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total	Catemu	-1.134.438	-2.535.122	-2.881.447	-183.744	-6.734.751	Llay Llay	-1.958.447	-4.376.529	-4.974.410	-317.209	-11.626.594	Panquehue	-551.533	-1.232.507	-1.400.881	-89.332	-3.274.253	Hijuelas	-1.447.061	-3.233.739	-3.675.502	-234.380	-8.590.682	La Calera	-3.972.178	-8.876.603	-10.089.242	-643.372	-23.581.395	La Cruz	-1.769.118	-3.953.437	-4.493.519	-286.543	-10.502.616	Nogales	-1.687.068	-3.770.080	-4.285.114	-273.254	-10.015.516	Quillota	-7.265.581	-16.236.349	-18.454.408	-1.176.803	-43.133.141	Total	-19.785.424	-44.214.366	-50.254.522	-3.204.636	-117.458.948
	Combustible	CLP2012/kg																																																																	
Leña Seca	54,34																																																																		
Leña Húmeda	36,85																																																																		
Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total																																																														
Catemu	-1.134.438	-2.535.122	-2.881.447	-183.744	-6.734.751																																																														
Llay Llay	-1.958.447	-4.376.529	-4.974.410	-317.209	-11.626.594																																																														
Panquehue	-551.533	-1.232.507	-1.400.881	-89.332	-3.274.253																																																														
Hijuelas	-1.447.061	-3.233.739	-3.675.502	-234.380	-8.590.682																																																														
La Calera	-3.972.178	-8.876.603	-10.089.242	-643.372	-23.581.395																																																														
La Cruz	-1.769.118	-3.953.437	-4.493.519	-286.543	-10.502.616																																																														
Nogales	-1.687.068	-3.770.080	-4.285.114	-273.254	-10.015.516																																																														
Quillota	-7.265.581	-16.236.349	-18.454.408	-1.176.803	-43.133.141																																																														
Total	-19.785.424	-44.214.366	-50.254.522	-3.204.636	-117.458.948																																																														

Fuente: Elaboración propia

11.4.4 Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)

Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)	
Categoría	Residencial
Descripción	La medida consiste en prohibir el uso de salamandra y chimeneas del parque existente que no cumplan con la norma de emisión actual, en este caso, la salamandra y la chimenea. La salida del parque de los equipos se realiza desde la tecnología más contaminante a la que contamina menos.

¹⁸⁴ GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013

Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)																																									
	El equipo que entrará al parque en vez de las tecnologías prohibidas será un artefacto a leña que cumple la norma, en este caso, un equipo Combustión lenta C/T, cuyo factor de emisión ¹⁸⁵ (utilizado en Sección 6.4.1). es menor a los factores de emisión de equipos saliendo del parque ¹⁸⁶ (utilizados en Sección 6.4.1), y cuya eficiencia de combustión es mayor (véase detalles a continuación).																																								
Fuente aplicada	Fuentes Fijas, Areales (Alcance: Calefacción)																																								
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> • CDT, ‘Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera’, Para El Ministerio de Energía, 2015 y a un supuesto del Consultor”. • GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2,5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013. • Ambiente Consultores, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa, 2007. 																																								
Reducción de emisiones																																									
Reducción	<p>La reducción de emisiones se produce al forzar el cambio de artefactos más contaminantes (salamandras y chimeneas) por otros equipos menos contaminantes (Combustión lenta C/T). Los nuevos artefactos tienen un factor de emisión menor a los equipos antiguos, generando menos emisiones.</p> <p>Así, en el marco de esta medida, se integró al modelo un número de equipos a prohibir, equivalente al número de equipos nuevos, cuyo valor se basa en la cantidad de artefactos existentes en cada comuna¹⁸⁷. En las comunas donde están localizados más artefactos pudiendo ser objeto de prohibición, se proponen números mayores de artefactos a prohibir. En la práctica, un 30% de los equipos abarcados por la medida se recambiarán (supuesto del consultor basado en experiencias previas¹⁸⁸ que prevén la combinación de la implementación de esta medida con la medida de “Recambio de equipos a leña”, y en un análisis de la situación energética de las comunas de la V Región a regular).</p> <p>La tabla siguiente presenta el cambio total en número de equipos por comuna, en base a propuesta del consultor.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Combustión lenta C/T</th> <th>Salamandra</th> <th>Chimenea</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>73</td> <td>-68</td> <td>-4</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>126</td> <td>-118</td> <td>-8</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>35</td> <td>-33</td> <td>-2</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>93</td> <td>-87</td> <td>-6</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>255</td> <td>-240</td> <td>-15</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>113</td> <td>-107</td> <td>-7</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>108</td> <td>-102</td> <td>-6</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>466</td> <td>-438</td> <td>-28</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.269</td> <td>-1.193</td> <td>-76</td> </tr> </tbody> </table>	Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Catemu	73	-68	-4	Llay Llay	126	-118	-8	Panquehue	35	-33	-2	Hijuelas	93	-87	-6	La Calera	255	-240	-15	La Cruz	113	-107	-7	Nogales	108	-102	-6	Quillota	466	-438	-28	Total	1.269	-1.193	-76
Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea																																						
Catemu	73	-68	-4																																						
Llay Llay	126	-118	-8																																						
Panquehue	35	-33	-2																																						
Hijuelas	93	-87	-6																																						
La Calera	255	-240	-15																																						
La Cruz	113	-107	-7																																						
Nogales	108	-102	-6																																						
Quillota	466	-438	-28																																						
Total	1.269	-1.193	-76																																						

¹⁸⁵ MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017

¹⁸⁶ MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017

¹⁸⁷ CDT, ‘Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera’, Para El Ministerio de Energía, 2015

¹⁸⁸ GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013.

Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)

Luego, se presenta el número y la repartición de los equipos por comuna anteriormente a la implementación de la medida, [número de artefactos].

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	130	290	228	15	662
Llay Llay	224	500	394	25	1.142
Panquehue	63	141	111	7	322
Hijuelas	165	369	291	19	844
La Calera	454	1.014	799	51	2.317
La Cruz	202	452	356	23	1.032
Nogales	193	431	339	22	984
Quillota	830	1.854	1.461	93	4.238
Total	2.260	5.050	3.977	254	11.540

En la tabla siguiente a continuación, se presenta el número y la repartición de los equipos por comuna, posteriormente a la implementación de la medida, [número de artefactos].

Comuna	Combustión lenta S/T	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	130	362	160	10	662
Llay Llay	224	625	276	18	1.142
Panquehue	63	176	78	5	322
Hijuelas	165	462	204	13	844
La Calera	454	1.269	559	36	2.317
La Cruz	202	565	249	16	1.032
Nogales	193	539	237	15	984
Quillota	830	2.320	1.022	65	4.238
Totals	2.260	6.319	2.784	178	11.540

La nueva distribución de artefactos permite obtener un nivel de actividad diferente post-medida, al nivel de actividad anterior a la medida.

De esta manera, la reducción de emisiones se explica por la diferencia en los factores de emisión (utilizados en Sección 6.4.1). También existe una reducción del consumo de leña por la diferencia en las eficiencias de combustión (véase Tabla 8-4). Siendo mayor las eficiencias de combustión de los equipos recambiados en el marco de la medida, bajo el supuesto de que el consumo de energía térmica es constante, se requiere de un menor consumo de leña para satisfacer esta necesidad de energía térmica.

Luego, se presenta el nivel de actividad asociado a equipos a leña anterior a la implementación de la medida, [ton/año].

Comuna	Nivel Actividad Leña
Catemu	873
Llay Llay	1.508
Panquehue	425
Hijuelas	1.114
La Calera	3.058
La Cruz	1.362
Nogales	1.299
Quillota	5.593

Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)

Total	15.231
--------------	---------------

A partir del nivel de actividad actual y de las eficiencias presentadas antes, se calculan los consumos antes y después de la implementación de la medida. Éstos permiten obtener el **cambio de consumo de combustible asociado a la medida [ton/año]**, presentado en la tabla a continuación.

Comuna	Combustión lenta C/T	Salamandra	Chimenea	Total
Catemu	86	-95	-6	-15
Llay Llay	149	-164	-10	-25
Panquehue	42	-46	-3	-7
Hijuelas	110	-121	-8	-19
La Calera	302	-332	-21	-52
La Cruz	134	-148	-9	-23
Nogales	128	-141	-9	-22
Quillota	552	-607	-39	-94
Total	1.504	-1.653	-105	-257

En la tabla siguiente a continuación, se presentan **las emisiones de los equipos a leña posteriores a la implementación de la medida, [ton/año], cuyo valores fueron elaborados a partir de los factores de emisión¹⁸⁹** (utilizados en Sección 6.4.1).

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Catemu	259	116	14	14	13	3	0
Llay Llay	447	200	24	24	23	4	0
Panquehue	126	56	7	7	7	1	0
Hijuelas	330	148	18	18	17	3	0
La Calera	906	406	50	50	47	9	0
La Cruz	404	181	22	22	21	4	0
Nogales	385	173	21	21	20	4	0
Quillota	1,657	743	91	91	86	17	1
Total	4,514	2,023	247	247	233	45	1

Luego, la reducción de emisiones se obtiene a partir de los consumos de combustible (leña) antes y después de la implementación de la medida. La tabla siguiente muestra **la reducción de emisiones alcanzada gracias a la prohibición de los equipos antes citados [ton/año]**.

Comuna	CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Catemu	17,1	12,6	0,7	0,7	0,8	0,4	0,0
Llay Llay	29,5	21,8	1,3	1,3	1,3	0,7	0,0
Panquehue	8,3	6,1	0,4	0,4	0,4	0,2	0,0
Hijuelas	21,8	16,1	1,0	1,0	1,0	0,5	0,0
La Calera	59,8	44,2	2,6	2,6	2,7	1,4	0,1
La Cruz	26,6	19,7	1,2	1,2	1,2	0,6	0,0
Nogales	25,4	18,8	1,1	1,1	1,1	0,6	0,0
Quillota	109,3	80,8	4,8	4,8	4,9	2,6	0,1
Total	297,7	220,1	13,0	13,0	13,4	7,0	0,3

Método

La reducción de emisiones se produce al cambiar artefactos más contaminantes por nuevos equipos menos contaminantes, que permiten satisfacer el mismo nivel de demanda de calor que se satisfacía con los equipos anteriores, contaminando menos (gracias a sus

¹⁸⁹ MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017

Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)																																									
	características técnicas inherentes). De esta manera, se genera una baja del nivel de actividad (y así un menor consumo de leña) de los equipos nuevos.																																								
Contaminante(s)	MP2,5, MP10, CO, COV, NOx																																								
Vida Útil	Vida útil de los nuevos equipos: 20 años																																								
Penetración	Posible periodo: 3 años																																								
Temporalidad	Esta medida va acompañada por el programa de recambio de calefactores que permite recambiar equipos a razón de 1.000 artefactos/año.																																								
Información Costos																																									
Inversión	Los costos de inversión corresponden a la compra de los equipos que cumplen la normativa, los cuales son asumidos por la población. El equipo que cumple la normativa tiene un precio de venta al cual se debe sumar el costo de chatarrización del equipo. El costo total unitario de inversión (por equipo prohibido/cambiado), asociado a la medida es equivalente 11,3 UF ¹⁹⁰ .																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tecnología</th> <th>Equipo (UF/equipo)</th> <th>Chatarrización (CLP2012/equipo)</th> <th>Inversión Total (UF/equipo)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combustión lenta C/T</td> <td>10,4</td> <td>20.000</td> <td>11,3</td> </tr> </tbody> </table>	Tecnología	Equipo (UF/equipo)	Chatarrización (CLP2012/equipo)	Inversión Total (UF/equipo)	Combustión lenta C/T	10,4	20.000	11,3																																
	Tecnología	Equipo (UF/equipo)	Chatarrización (CLP2012/equipo)	Inversión Total (UF/equipo)																																					
Combustión lenta C/T	10,4	20.000	11,3																																						
Los costos de inversión totales se obtienen a partir de los costos unitarios (presentados antes) y del número de equipos nuevos (y de equipos “chatarrizados”) ¹⁹¹ , (el cálculo a realizar es similar al de la medida “Recambio de equipos a leña”, véase detalles en Anexo 11.4.1). Se presentan a continuación los costos de inversión asociados a la implementación de la prohibición de salamandras y chimeneas en la V Región [UF].																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Equipos a cambiar [Número de artefactos]</th> <th>Detalle Costos</th> <th>Costos Totales [UF]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>73</td> <td>73*(10,4+0,9)</td> <td>821</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>126</td> <td>126*(10,4+0,9)</td> <td>1.418</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>35</td> <td>35*(10,4+0,9)</td> <td>399</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>93</td> <td>93*(10,4+0,9)</td> <td>1.048</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>255</td> <td>255*(10,4+0,9)</td> <td>2.876</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>113</td> <td>113*(10,4+0,9)</td> <td>1.281</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>108</td> <td>108*(10,4+0,9)</td> <td>1.221</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>466</td> <td>466*(10,4+0,9)</td> <td>5.260</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.269</td> <td>1.269*(10,4+0,9)</td> <td>14.324</td> </tr> </tbody> </table>	Comuna	Equipos a cambiar [Número de artefactos]	Detalle Costos	Costos Totales [UF]	Catemu	73	73*(10,4+0,9)	821	Llay Llay	126	126*(10,4+0,9)	1.418	Panquehue	35	35*(10,4+0,9)	399	Hijuelas	93	93*(10,4+0,9)	1.048	La Calera	255	255*(10,4+0,9)	2.876	La Cruz	113	113*(10,4+0,9)	1.281	Nogales	108	108*(10,4+0,9)	1.221	Quillota	466	466*(10,4+0,9)	5.260	Total	1.269	1.269*(10,4+0,9)	14.324
Comuna	Equipos a cambiar [Número de artefactos]	Detalle Costos	Costos Totales [UF]																																						
Catemu	73	73*(10,4+0,9)	821																																						
Llay Llay	126	126*(10,4+0,9)	1.418																																						
Panquehue	35	35*(10,4+0,9)	399																																						
Hijuelas	93	93*(10,4+0,9)	1.048																																						
La Calera	255	255*(10,4+0,9)	2.876																																						
La Cruz	113	113*(10,4+0,9)	1.281																																						
Nogales	108	108*(10,4+0,9)	1.221																																						
Quillota	466	466*(10,4+0,9)	5.260																																						
Total	1.269	1.269*(10,4+0,9)	14.324																																						

¹⁹⁰ Ambiente Consultores, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa, 2007.

¹⁹¹ CDT, ‘Medición Del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de La Madera’, Para El Ministerio de Energía, 2015

Prohibición de calefactores a leña (salamandras y chimeneas)																											
Operación y Mantenimiento	<p>El usuario incurre en un ahorro en combustible debido al cambio en las eficiencias entre los equipos nuevos y reemplazados. Dicho ahorro de consumo de leña se calcula a partir del Nivel de Actividad (obtenido a partir del inventario de emisiones en Sección 6.4.1) y de la diferencia entre las eficiencias de combustión (véase tabla presentada en la sección “Reducción” de la presente ficha-resumen, y Tabla 8-4. El ahorro de consumo de leña se presentó en la sección “Reducción” de la presente ficha-resumen, y en la Tabla 8-23.</p> <p>Los ahorros en costos de operación beneficiando al consumidor se calculan de la siguiente manera:</p> <p>Ahorros Costos Operación = Ahorros Consumo Leña * Costos unitario Leña</p> <p>Los costos unitarios de la leña¹⁹² se presentan a continuación (véase también Tabla 8-9):</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Combustible</th> <th>CLP2012/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Leña Seca</td> <td>54,34</td> </tr> <tr> <td>Leña Húmeda</td> <td>36,85</td> </tr> </tbody> </table> <p>En base a lo anterior, la tabla siguiente presenta los ahorros en costos de operación incurridos por la población, es decir por los hogares abarcados por la medida [CLP2012].</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Total [CLP2012]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>\$815.686</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>\$1.408.166</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>\$396.564</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>\$1.040.468</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>\$2.856.083</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>\$1.272.034</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>\$1.213.039</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>\$5.224.111</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>\$14.226.150</td> </tr> </tbody> </table>	Combustible	CLP2012/kg	Leña Seca	54,34	Leña Húmeda	36,85	Comuna	Total [CLP2012]	Catemu	\$815.686	Llay Llay	\$1.408.166	Panquehue	\$396.564	Hijuelas	\$1.040.468	La Calera	\$2.856.083	La Cruz	\$1.272.034	Nogales	\$1.213.039	Quillota	\$5.224.111	Total	\$14.226.150
Combustible	CLP2012/kg																										
Leña Seca	54,34																										
Leña Húmeda	36,85																										
Comuna	Total [CLP2012]																										
Catemu	\$815.686																										
Llay Llay	\$1.408.166																										
Panquehue	\$396.564																										
Hijuelas	\$1.040.468																										
La Calera	\$2.856.083																										
La Cruz	\$1.272.034																										
Nogales	\$1.213.039																										
Quillota	\$5.224.111																										
Total	\$14.226.150																										
Observaciones	Esta medida puede ir acompañada por una medida de recambio de equipos a leña.																										

11.4.5 Barredora de MP (aspiradora)

Barredora de MP (aspiradora)	
Categoría	Industrial
Descripción	La medida barredora de MP (o aspiradora) consiste en la compra de barredoras de polvo para su circulación por los caminos pavimentados de cada ciudad. Las barredoras de MP funcionan a partir de sistemas de vacío de aire de circuito cerrado utilizando un chorro de aire generado por un soplador, donde un separador de polvo centrífugo retiene y recolecta el MP para su eliminación adecuada, sin uso de agua durante el proceso. Esto evita la acumulación y levantamiento de polvo resuspendido por tráfico vehicular en las ciudades, reduciendo las emisiones de MP10 principalmente.
Fuente aplicada	Móviles

¹⁹² GreenlabUC, ‘Análisis Detallado de Medidas Para Incorporar Al Plan de Descontaminación Por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas’, 2013

Barredora de MP (aspiradora)																																																																				
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> Dirección de Presupuestos, Síntesis Ejecutiva, Programa Aplicación Limpieza de Calles., 2005. 																																																																			
Reducción de emisiones																																																																				
Reducción	<p>De acuerdo a la EPA¹⁹³, las barredoras tienen una eficiencia de 50,5% para MP10 y 25% para MP2,5, bajo una frecuencia de al menos 2 veces por semana. Si se considera implementar una barredora para cada comuna, se podrían reducir las emisiones por polvo resuspendido asignadas a cada ciudad.</p> <p>La tabla siguiente presenta la reducción de emisiones por la medida de Barredora de MP [ton/año].</p>																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Comuna</th> <th rowspan="2">Largo Calles Ciudad (km)</th> <th colspan="2">Emisiones polvo Ciudad</th> <th colspan="2">Reducción Emisiones</th> </tr> <tr> <th>MP10</th> <th>MP2,5</th> <th>MP10</th> <th>MP2,5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>26</td> <td>13,40</td> <td>3,24</td> <td>6,77</td> <td>0,81</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>46</td> <td>7,04</td> <td>1,70</td> <td>3,56</td> <td>0,43</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>12</td> <td>9,71</td> <td>2,35</td> <td>4,91</td> <td>0,59</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>24</td> <td>13,09</td> <td>3,17</td> <td>6,61</td> <td>0,79</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>101</td> <td>51,06</td> <td>12,35</td> <td>25,79</td> <td>3,09</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>62</td> <td>33,75</td> <td>8,17</td> <td>17,05</td> <td>2,04</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>65</td> <td>16,31</td> <td>3,95</td> <td>8,24</td> <td>0,99</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>139</td> <td>56,56</td> <td>13,68</td> <td>28,57</td> <td>3,42</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>476</td> <td>200,94</td> <td>48,61</td> <td>101,47</td> <td>12,15</td> </tr> </tbody> </table>					Comuna	Largo Calles Ciudad (km)	Emisiones polvo Ciudad		Reducción Emisiones		MP10	MP2,5	MP10	MP2,5	Catemu	26	13,40	3,24	6,77	0,81	Llay Llay	46	7,04	1,70	3,56	0,43	Panquehue	12	9,71	2,35	4,91	0,59	Hijuelas	24	13,09	3,17	6,61	0,79	La Calera	101	51,06	12,35	25,79	3,09	La Cruz	62	33,75	8,17	17,05	2,04	Nogales	65	16,31	3,95	8,24	0,99	Quillota	139	56,56	13,68	28,57	3,42	Total	476	200,94	48,61	101,47
Comuna	Largo Calles Ciudad (km)	Emisiones polvo Ciudad		Reducción Emisiones																																																																
		MP10	MP2,5	MP10	MP2,5																																																															
Catemu	26	13,40	3,24	6,77	0,81																																																															
Llay Llay	46	7,04	1,70	3,56	0,43																																																															
Panquehue	12	9,71	2,35	4,91	0,59																																																															
Hijuelas	24	13,09	3,17	6,61	0,79																																																															
La Calera	101	51,06	12,35	25,79	3,09																																																															
La Cruz	62	33,75	8,17	17,05	2,04																																																															
Nogales	65	16,31	3,95	8,24	0,99																																																															
Quillota	139	56,56	13,68	28,57	3,42																																																															
Total	476	200,94	48,61	101,47	12,15																																																															
Método																																																																				
Contaminante(s)	MP2,5, MP10																																																																			
Vida Útil	8 años																																																																			
Penetración	A partir del 2020.																																																																			
Temporalidad	No aplica.																																																																			
Información Costos																																																																				
Inversión	<p>El costo de inversión de una barredora corresponde a una cotización realizada para un modelo Brock SL 200 2K, estimado en 142 millones de CLP al 2018. Las barredoras se estiman con una vida útil de 8 años¹⁹⁴. Se considera una barredora por comuna:</p>																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Costos CLP2018</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>\$141.742.588</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>\$1.133.940.704</td> </tr> </tbody> </table>					Comuna	Costos CLP2018	Catemu	\$141.742.588	Llay Llay	\$141.742.588	Panquehue	\$141.742.588	Hijuelas	\$141.742.588	La Calera	\$141.742.588	La Cruz	\$141.742.588	Nogales	\$141.742.588	Quillota	\$141.742.588	Total	\$1.133.940.704																																											
Comuna	Costos CLP2018																																																																			
Catemu	\$141.742.588																																																																			
Llay Llay	\$141.742.588																																																																			
Panquehue	\$141.742.588																																																																			
Hijuelas	\$141.742.588																																																																			
La Calera	\$141.742.588																																																																			
La Cruz	\$141.742.588																																																																			
Nogales	\$141.742.588																																																																			
Quillota	\$141.742.588																																																																			
Total	\$1.133.940.704																																																																			

¹⁹³ US-EPA, 'Control Strategy Tool (CoST) - "At a Glance" Control Measure Document', 1.1 (2016), 1–12.

¹⁹⁴ US-EPA, 'Control Strategy Tool (CoST) - "At a Glance" Control Measure Document', 1.1 (2016), 1–12

Barredora de MP (aspiradora)																																								
Operación y Mantenimiento	<p>De la evaluación del programa de limpieza de calles de la Región Metropolitana, se obtiene un costo real de operación de maquinaria para aspirado de calles de 7.387 CLP/km (para el 2004)¹⁹⁵.</p> <p>Se consideró una frecuencia de barrido de 2 veces por semana. Con el total de calles a barrer, presentados por comuna en la tabla de reducción de emisiones, es posible estimar los costos de operación anuales.</p>																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Comuna</th> <th>Largo Caminos [km]</th> <th>Detalle Calculo Costos</th> <th>Costo CLP2004</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>26,27</td> <td>26,27*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$19.957.784</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>45,93</td> <td>45,93*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$34.894.126</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>12,19</td> <td>12,19*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$9.265.251</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>24,17</td> <td>24,17*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$18.368.099</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>101,20</td> <td>101,20*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$76.870.026</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>62,24</td> <td>62,24*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$47.287.847</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>65,25</td> <td>65,25*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$49.580.537</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>138,8</td> <td>138,8*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$105.466.309</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>476</td> <td>476*2/7*30*12*7.387</td> <td>\$361.689.979</td> </tr> </tbody> </table>	Comuna	Largo Caminos [km]	Detalle Calculo Costos	Costo CLP2004	Catemu	26,27	26,27*2/7*30*12*7.387	\$19.957.784	Llay Llay	45,93	45,93*2/7*30*12*7.387	\$34.894.126	Panquehue	12,19	12,19*2/7*30*12*7.387	\$9.265.251	Hijuelas	24,17	24,17*2/7*30*12*7.387	\$18.368.099	La Calera	101,20	101,20*2/7*30*12*7.387	\$76.870.026	La Cruz	62,24	62,24*2/7*30*12*7.387	\$47.287.847	Nogales	65,25	65,25*2/7*30*12*7.387	\$49.580.537	Quillota	138,8	138,8*2/7*30*12*7.387	\$105.466.309	Total	476	476*2/7*30*12*7.387
Comuna	Largo Caminos [km]	Detalle Calculo Costos	Costo CLP2004																																					
Catemu	26,27	26,27*2/7*30*12*7.387	\$19.957.784																																					
Llay Llay	45,93	45,93*2/7*30*12*7.387	\$34.894.126																																					
Panquehue	12,19	12,19*2/7*30*12*7.387	\$9.265.251																																					
Hijuelas	24,17	24,17*2/7*30*12*7.387	\$18.368.099																																					
La Calera	101,20	101,20*2/7*30*12*7.387	\$76.870.026																																					
La Cruz	62,24	62,24*2/7*30*12*7.387	\$47.287.847																																					
Nogales	65,25	65,25*2/7*30*12*7.387	\$49.580.537																																					
Quillota	138,8	138,8*2/7*30*12*7.387	\$105.466.309																																					
Total	476	476*2/7*30*12*7.387	\$361.689.979																																					

11.4.6 Prohibición de la biomasa en calderas industriales

Prohibición de la biomasa en calderas industriales	
Categoría	Industrial
Descripción	La medida "Prohibición de la biomasa en calderas industriales" consiste en una prohibición del uso de biomasa (leña) en las calderas industriales, y en un reemplazo de este combustible por gas natural.
Fuente aplicada	Grandes fuentes (calderas industriales)
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> MMA, 'Línea Base de La Calidad Del Aire En La Región de Valparaíso Periodo Año 2017', 2017, p. 53.
Reducción de emisiones	
Reducción	<p>El cambio de biomasa por gas natural está asociado a una reducción de emisiones por diferencias en los factores de emisión¹⁹⁶.</p> <p>Se debe calcular el cambio de consumo asociado a la implementación del cambio de combustible, en base la densidad y poder calorífico de cada combustible¹⁹⁷. Con los cambios de consumo y factores de emisiones es posible calcular la reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de esta medida. La siguiente tabla muestra el cambio en el consumo asociado al cambio de combustible [ton/año], para cada fuente emisora importante identificada:</p>

¹⁹⁵ Ministerio de Hacienda, 'Síntesis Ejecutiva: Programa de Aplicación Limpieza de Calles', 2005.

¹⁹⁶ En la Sección **Error! Reference source not found.** se presenta la fuente de los factores de misión utilizados para estas instalaciones industriales. Estos factores provienen de: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

¹⁹⁷ Se asumen que el consumo energético es constante. Se utilizan los parámetros de densidad y poder calorífico propuestos en la Tabla 6-5 y 6-6 de: MMA, 'Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas', 2017.

Prohibición de la biomasa en calderas industriales								
		BIOMASA COMBUSTIBLE	GAS NATURAL	Total				
	VIVEROS HIJUELAS SA	1.464.450	-871	1.463.579				
	CONSERVAS CENTAURO PLANTA N3	0	0	0				
	ALGAS MARINAS LA CALERA	1.902.820	-1.131	1.901.689				
	PLANTA ALIMENTOS Y GERENCIA	0	0	0				
	Sopraval	27.377.508	-16.279	27.361.229				
	Total	30.744.778	-18.281	30.726.497				
	La tabla siguiente muestra la reducción de emisiones (emisiones evitadas), [ton/año].							
		CO	COV	PTS/MP	MP10	MP2,5	NOx	SO2
	VIVEROS HIJUELAS SA	6	0	3	3	3	5	0
	CONSERVAS CENTAURO PLANTA N3	0	0	0	0	0	0	0
	ALGAS MARINAS LA CALERA	7	0	4	4	4	6	0
	PLANTA ALIMENTOS Y GERENCIA	0	0	0	0	0	0	0
	Sopraval	103	3	62	62	53	84	4
Método	La eficiencia de reducción de emisiones permite calcular el delta de consumo asociado a la implementación del cambio de combustible, y luego la reducción de emisiones obtenida gracias a la implementación de esta medida.							
Contaminante(s)	MP2,5, MP10, CO, COV, NOx, SO2							
Vida Útil	No aplica.							
Penetración	A partir del 2020.							
Temporalidad	No aplica.							
Información Costos								
Inversión	No se consideran costos de inversión.							
Operación y Mantenimiento	<p>Los costos asociados a la implementación de la medida corresponden a la compra de gas natural cuyo costo unitario considerado es equivalente a 438,7 CLP2018/kg¹⁹⁸.</p> <p>La tabla siguiente presenta los costos incurridos por la compra de gas natural tras cambio de combustible [UF/año]. El consumo de gas natural de cada fuente se presentó en la sección de reducción de emisiones. La fórmula de costos es:</p> <p>Consumo gas natural adicional *Precio Gas Natural</p>							
		FUENTES	Hijuelas	La Calera	Total			
		VIVEROS HIJUELAS SA	14	0	14			
		CONSERVAS CENTAURO PLANTA N3	0	0	0			
		ALGAS MARINAS LA CALERA	0	18	18			
		PLANTA ALIMENTOS Y GERENCIA	0	0	0			
		Sopraval	0	263	263			
		Total	14	281	295			

11.4.7 Precipitador electrostático (Fundición Chagres)

Precipitador electrostático (Fundición Chagres)	
Categoría	Industrial

¹⁹⁸ Tarifado GN Industrial de MetroGas

Precipitador electrostático (Fundición Chagres)																						
Descripción	Se propone la instalación de un segundo precipitador electrostático a la chimenea de la planta de ácido de la fundición Chagres. Esto reduciría las emisiones de material particulado de los convertidores Pierce-Smith y del horno de fusión.																					
Fuente aplicada	Grandes fuentes																					
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> Centro Mario Molina, 'ESTUDIO DE PROPUESTA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP2.5 PARA LA ZONA SATURADA DE LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO', 2016. Anexo 1: Sistemas de Control de MP. 																					
Reducción de emisiones																						
Reducción	<p>Con la instalación de un precipitador electrostático adicional la eficiencia de abatimiento aumentaría de 98% a 99,96% para MP10, y de 95% a 99,75% para MP2,5.</p> <p>La tabla siguiente presenta la reducción de emisiones por Precipitador electrostático en Fundición Chagres [ton/año].</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Proceso</th> <th>MP10</th> <th>MP2,5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 4</td> <td>39</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 3</td> <td>38</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 2</td> <td>39</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 1</td> <td>35</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>HORNO DE FUSION FLASH</td> <td>2.704</td> <td>2.547</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>2.855</td> <td>2.665</td> </tr> </tbody> </table>	Proceso	MP10	MP2,5	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 4	39	31	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 3	38	30	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 2	39	30	CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 1	35	28	HORNO DE FUSION FLASH	2.704	2.547	Total	2.855	2.665
Proceso	MP10	MP2,5																				
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 4	39	31																				
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 3	38	30																				
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 2	39	30																				
CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 1	35	28																				
HORNO DE FUSION FLASH	2.704	2.547																				
Total	2.855	2.665																				
Método	La eficiencia asociada un precipitador electrostático genera reducciones importantes de emisiones.																					
Contaminante(s)	MP2,5, MP10																					
Vida Útil	25 años																					
Penetración	A partir del 2020																					
Temporalidad	No aplica.																					
Información Costos																						
Inversión Operación y Mantenimiento	<p>Para estimar los costos se utilizan los propuestos en el estudio de medidas de reducción para la región del Bio Bio¹⁹⁹. En este se estima un costo de inversión entre 21.000 y 70.000 USD por m³/s, y costos de operación entre 6.400 y 74.000 USD por m³/s al 2016. Se utiliza el valor medio entre ambos rangos como costos. Se consideró un valor del USD para el 2016 de 677 CLP²⁰⁰.</p> <p>De acuerdo a lo declarado mensualmente por la fundición Chagres en el DS28/2013 del MMA, la chimenea de la planta de ácido tiene un caudal promedio de 43 m³/s.</p> <p>Los costos se calculan: Inversión = 43 * \$45.500 USD₂₀₁₆ = \$1.956.500 USD₂₀₁₆ Operación y mantenimiento = 43 * \$40.200 USD₂₀₁₆ = \$1.728.600 USD₂₀₁₆</p>																					

¹⁹⁹ Centro Mario Molina, 'ESTUDIO DE PROPUESTA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP2,5 PARA LA ZONA SATURADA DE LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO', 2016. Anexo 1: Sistemas de Control de MP.

²⁰⁰ Promedio anual de valores observados: http://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2016.htm

11.4.8 Gestión de caminos en proyectos mineros

Gestión de caminos en proyectos mineros							
Categoría	Industrial						
Descripción	<p>El transporte constante de camiones en las faenas de extracción de material genera emisiones de material particulado por la resuspensión de partículas presentes en los caminos. La medida de gestión de caminos se evalúa considerando la aplicación de bischofita en dilución sobre estos caminos. La bischofita previene la resuspensión de partículas al atraer y retener la humedad, generando una capa superior acuosa sobre el asfalto (Araya Díaz & Alvial Pantoja, 2010). Esto permite la reducción de las emisiones de MP en un 85% (AMBIOSIS, 2009). Existen otras alternativas similares para lograr reducción de emisiones de polvo resuspendido por tránsito en caminos, como la humectación y compactación. La aplicación de bischofita se considera para las operaciones de la mina El Soldado, la Cantera Ñilhue y la mina UVA.</p>						
Fuente aplicada	Grandes fuentes						
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> • AMBIOSIS, Propuesta y Análisis de Medidas de Reducción de Emisiones En La Zona Industrial de Ventanas, 2009 • Araya Díaz, María Loreto, and Jorge Alvial Pantoja, 'Análisis Comparativo Para Ejecución de Estabilización de Suelos, Entre Procesos Tradicionales y El Estabilizador de Suelos Soiltac' (Universidad Austral de Chile, 2010) 						
Reducción de emisiones							
Reducción	<p>La eficiencia de reducción considerada es equivalente a 85%. La tabla siguiente genera la reducción de emisiones por gestión de caminos mineros [ton/año].</p>						
				Emisiones polvo resuspendido		Reducción Emisiones	
	Fuente emisora	Largo Caminos (km) ^(a)	Eficiencia Actual	MP10	MP2,5	MP10	MP2,5
	Mina El Soldado	1,84	68%	19,66	1,96	10,50	1,05
	Cantera Ñilhue	2,00	75%	9,35	0,93	3,74	0,37
	Mina UVA	0,75	0%	14,81	1,48	12,59	1,26
	Total	4,59	-	43,82	4,37	26,83	2,68
	<p>a. Según lo declarado en la RCA de cada proyecto. Se considera un ancho de camino de 20 metros. b. Las emisiones reducidas corresponden a la diferencia entre las emisiones actuales presentadas en la tabla y las emisiones que habría si se aplica un 85% de eficiencia de reducción a las emisiones que habían antes de aplicar las medidas de reducción actuales (emisiones sin ninguna medida de abatimiento). Las emisiones originales se calculan a partir de: emisiones actuales = emisiones sin abatimiento x (1-eficiencia).</p>						
	Según lo declarado en la RCA de cada proyecto. Se considera un ancho de camino de 20 metros.						
Método	Las emisiones reducidas corresponden a la diferencia entre las emisiones actuales presentadas en la tabla y las emisiones que habría si se aplica un 85% de eficiencia de reducción a las emisiones que habían antes de aplicar las medidas de reducción actuales (emisiones sin ninguna medida de abatimiento). Las emisiones originales se calculan a partir de: emisiones actuales = emisiones sin abatimiento x (1-eficiencia).						
Contaminante(s)	MP10, MP2.5						
Vida Útil	No aplica						
Penetración	A partir del 2020						
Temporalidad	No aplica.						
Información Costos							

Gestión de caminos en proyectos mineros					
Inversión	Para estimar los costos de implementación de esta medida se debe considerar el costo de la bischofita, el agua para su dilución, la maquinaria para preparación y dosificación en el asfalto y la mano de obra (ejecutores y supervisión). Se llega a un costo de \$6.682 CLP2010/m ² de aplicación ²⁰¹ .				
	Fuente Emisora	Largo Caminos	Ancho Caminos	Detalle calculo costos	Costo CLP2010
	Mina El Soldado	1,84	20	1,84*1.000*20*\$6.682	\$245.897.600
	Cantera Nihue	2,00	20	2,00*1.000*20*\$6.682	\$267.280.000
	Mina UVA	0,75	20	0,75*1.000*20*\$6.682	\$100.230.000
Total	4,59	20	4,59*1.000*20*\$6.682	\$613.407.600	
Operación y Mantenimiento	Cada dos años se debe reaplicar bischofita nuevamente para mantener la eficiencia de remoción. Este costo se encuentra incorporado en el costo de inversión presentado.				

11.4.9 Barrera corta viento en extracción de áridos

Barrera corta viento en extracción de áridos						
Categoría	Industrial					
Descripción	Durante la extracción de áridos existen emisiones de MP10 asociadas al harneo. Se propone la medida de instalación de una barrera cortaviento, consistente en una malla de polietileno del tipo "malla sombra" (80% cobertura) dispuesta en postes distanciados cada tres metros, con una altura no menor a 2 metros por sobre la operación. Esta barrera rodea el perímetro de la zona en donde se realiza el harneo, lo cual disminuye la velocidad y turbulencia del viento, y evita la volatilización de material particulado.					
Fuente aplicada	Áridos					
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental, 'Guía Para La Prevención de Emisiones Difusas de Partículas', 2012 Ministerio de Agricultura, 'Decreto 109/2018: Establece Tabla de Costos Para El Año 2018, Que Fija Los Valores de Las Actividades Que Se Bonificarán En El Marco Del Sistema de Incentivo Para Sustentabilidad Agroambiental de Los Suelos Agropecuarios', 2018, 7–8 					
Reducción de emisiones						
Reducción	Según la Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas del Gobierno Vasco esta medida permite una reducción del 70% de las emisiones de la extracción de áridos ²⁰² .					
	La tabla siguiente presenta la estimación de reducción de emisiones producto de la instalación de barrera en cada una de las 5 zonas de extracción de áridos identificadas en el inventario de emisiones [ton/año].					
	Áridos	Perímetro (metros)	Emisiones Extracción de Áridos		Reducción Emisiones	
			MP10	MP2,5	MP10	MP2,5
	Puente las tinajas	1.024	15,46	0,05	10,82	0,03
	La Sombra	1.070	19,70	0,07	13,79	0,05
	Áridos Aconcagua	5.479	110,82	0,34	77,58	0,23

²⁰¹ María Loreto Araya Díaz and Jorge Alvia Pantoja, 'Análisis Comparativo Para Ejecución de Estabilización de Suelos, Entre Procesos Tradicionales y El Estabilizador de Suelos Soiltac' (Universidad Austral de Chile, 2010).

²⁰² Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, 'Guía Para La Prevención de Emisiones Difusas de Partículas', 2012.

Prohibición de quemas agrícolas y forestales																																															
	<ul style="list-style-type: none"> Marcelo Mauricio Villena, Carlos Chávez, and SCL Econometrics, Análisis General de Impacto Económico y Social Del Rediseño Del Plan Operacional Para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica Por Material Particulado Respirable (PM10) En La Región Metropolitana. Estudio Realizado Para CONAMA RM. (SCL Econometrics, 2007). 																																														
Reducción de Emisiones																																															
Reducción	<p>I modelo considera la prohibición de emisiones asociadas a quemas en las comunas de la V Región, por lo que se obtiene una reducción de emisiones en comparación con la línea base correspondiente a las quemas que actualmente se producen.</p> <p>La reducción de emisiones se obtiene mediante la siguiente fórmula: Reducción de emisiones = Emisiones iniciales – (Nivel de Actividad post-medida * FE Quemas)</p> <p>- El Nivel de Actividad post-medida se obtiene multiplicando el Nivel de Actividad inicial por la restricción impuesta (Factor de reducción o Porcentaje de la superficie total que no se podrá quemar en la V Región).</p> <p>Este factor corresponde al porcentaje de superficies que ya no se podrán quemar tras la implementación de la medida, es equivalente a un 70% de los terrenos agrícolas y a un 90% de las superficies forestales (supuesto del consultor tomando en cuenta que las quemas son necesarias, en menor medida, para regenerar los bosques y de la vegetación²⁰⁴).</p> <p>A continuación, se presentan las superficies totales no quemadas con la implementación de la medida “prohibición de quemas” (elaborada en base al factor de reducción propuesto por el consultor), [ha/año].</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Comunas</th> <th>Agrícola</th> <th>Forestal</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Catemu</td> <td>27,4</td> <td>0,9</td> <td>28,4</td> </tr> <tr> <td>Llay Llay</td> <td>31,6</td> <td>0,1</td> <td>31,7</td> </tr> <tr> <td>Panquehue</td> <td>30,4</td> <td>0,3</td> <td>30,7</td> </tr> <tr> <td>Hijuelas</td> <td>31,6</td> <td>0,9</td> <td>32,5</td> </tr> <tr> <td>La Calera</td> <td>5,7</td> <td>0,1</td> <td>5,8</td> </tr> <tr> <td>La Cruz</td> <td>19,1</td> <td>0,1</td> <td>19,2</td> </tr> <tr> <td>Nogales</td> <td>27,8</td> <td>0,3</td> <td>28,1</td> </tr> <tr> <td>Quillota</td> <td>45,4</td> <td>1,5</td> <td>47,0</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>219,1</td> <td>4,3</td> <td>223,4</td> </tr> </tbody> </table> <p>- El Factor de Emisión asociado a las quemas (FE Quemas) está referenciado en la Sección 6.4.3²⁰⁵.</p> <p>La tabla siguiente presenta la reducción de emisiones obtenida gracias a la prohibición de quemas agrícolas y forestales [ton/año].</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Contaminante</th> <th>Reducción de emisiones total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO</td> <td>66,2</td> </tr> <tr> <td>COV</td> <td>5,6</td> </tr> </tbody> </table>	Comunas	Agrícola	Forestal	Total	Catemu	27,4	0,9	28,4	Llay Llay	31,6	0,1	31,7	Panquehue	30,4	0,3	30,7	Hijuelas	31,6	0,9	32,5	La Calera	5,7	0,1	5,8	La Cruz	19,1	0,1	19,2	Nogales	27,8	0,3	28,1	Quillota	45,4	1,5	47,0	Total	219,1	4,3	223,4	Contaminante	Reducción de emisiones total	CO	66,2	COV	5,6
	Comunas	Agrícola	Forestal	Total																																											
Catemu	27,4	0,9	28,4																																												
Llay Llay	31,6	0,1	31,7																																												
Panquehue	30,4	0,3	30,7																																												
Hijuelas	31,6	0,9	32,5																																												
La Calera	5,7	0,1	5,8																																												
La Cruz	19,1	0,1	19,2																																												
Nogales	27,8	0,3	28,1																																												
Quillota	45,4	1,5	47,0																																												
Total	219,1	4,3	223,4																																												
Contaminante	Reducción de emisiones total																																														
CO	66,2																																														
COV	5,6																																														

²⁰⁴ Nadia Ouadah and others, ‘Impact Du Feu Sur La Stratégie de Régénération d’espèces Végétales Forestières Méditerranéennes’, 71 (2016), 356–66.

²⁰⁵ MMA, ‘Manual Para El Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas’, 2017

Prohibición de quemas agrícolas y forestales													
	<table border="1"> <tr> <td>PTS/MP</td> <td>8,1</td> </tr> <tr> <td>MP10</td> <td>8,1</td> </tr> <tr> <td>MP2,5</td> <td>7,7</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td>2,4</td> </tr> <tr> <td>SO2</td> <td>0,3</td> </tr> </table>	PTS/MP	8,1	MP10	8,1	MP2,5	7,7	NOx	2,4	SO2	0,3		
PTS/MP	8,1												
MP10	8,1												
MP2,5	7,7												
NOx	2,4												
SO2	0,3												
Método	<p>Las emisiones post-medida se obtienen mediante la aplicación de un factor de reducción (i.e. Porcentaje de la superficie total que no se podrá quemar en la V Región) al nivel de actividad actual.</p> <p>Este factor corresponde al porcentaje de superficies que ya no se podrán quemar tras la implementación de la medida, es equivalente a un 70% de los terrenos agrícolas y a un 90% de las superficies forestales.</p>												
Contaminante(s)	MP10 , MP2,5, CO, COV, NOx, SO2												
Vida Útil	No aplica.												
Penetración	A partir del 2020.												
Temporalidad	No aplica.												
Información Costos													
Inversión	Se considera que los costos involucrados por esta medida son ahorros de costos de operación solamente.												
Operación y Mantención	<p>Sabiendo que en la situación actual existen costos de “operación” (e.g. fiscalización y gestión post-quemas) asociados a las quemas, esta medida permitiría una reducción de estos costos de “operación” en lo referente a las superficies que no se quemarán (asumiendo que se cumplirá la restricción y que los terrenos abarcados por ésta estarán asociados a un costo menor de fiscalización).</p> <p>Los ahorros (beneficios de operación) se calculan con la siguiente fórmula: Ahorros Prohibición Quemadas = Delta Superficies Há (no quemadas) * Costo Unitario por Há</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio Superficies Há (no quemadas) corresponde a las superficies que no se quemarán gracias a la implementación de la presente medida, calculadas en base al supuesto del Consultor (mencionado en la sección “Reducción” de esta medida). • El Costo Unitario proviene del estudio GreenlabUC, 2013b (Costo anualizado por hectárea calculado a partir de los datos de Villena (2007), proyectados a enero 2015 cuando se comenzarían a utilizar las nuevas tecnologías). Este costo se estima en \$18.278 CLP2015. <p>La tabla siguiente muestra el ahorro de costos asociados a la prohibición de quemas en un porcentaje de las superficies agrícolas y forestales [CLP2015/año].</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Quema</th> <th>Superficie no quemada [Há/año]</th> <th>Ahorros Totales [CLP2015/año]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agrícola</td> <td>219,1</td> <td>4.005.059</td> </tr> <tr> <td>Forestal</td> <td>4,3</td> <td>78.495</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>223,4</td> <td>4.083.554</td> </tr> </tbody> </table>	Quema	Superficie no quemada [Há/año]	Ahorros Totales [CLP2015/año]	Agrícola	219,1	4.005.059	Forestal	4,3	78.495	Total	223,4	4.083.554
Quema	Superficie no quemada [Há/año]	Ahorros Totales [CLP2015/año]											
Agrícola	219,1	4.005.059											
Forestal	4,3	78.495											
Total	223,4	4.083.554											