



**PROYECTO EM2008/200-22**

# **“ANÁLISIS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN COYHAIQUE”**

**Informe Final v2/R2**



Preparado Para: CONAMA, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

Preparado Por: EnviroModeling Ltda.

Agosto, 2009.

*EnviroModeling Ltda.,  
Loreley 1023, La Reina, Santiago - Chile. Fono: 56- 2- 356 0940.  
email: [enviromo@vtr.net](mailto:enviromo@vtr.net), <http://www.enviromodeling.cl>*

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA O ZONA DEL PROYECTO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Introducción.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Antecedentes Demográficos.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Periodo 1982 – 2009 .....	16
2.2.2 Proyección de la Población y Número de Viviendas al año 2020 .....	19
<b>2.3 Climatología .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Temperatura .....	20
2.3.2 Pluviometría .....	21
2.3.3 Velocidad de Vientos .....	23
2.3.4 Humedad Relativa.....	23
2.3.5 Cobertura Nubosa .....	24
<b>2.4 Geografía y Usos de Suelos. ....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO III: BASES TÉCNICAS PARA DESARROLLO INVENTARIO: ENCUESTA DE CONSUMO LEÑA EN LA CIUDAD DE COYHAIQUE .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Metodología.....</b>	<b>31</b>
3.1.1 Recomendaciones de FAO para la Elaboración de Estudios de Demanda de Combustibles de Madera. ....	31
3.1.2 Definiciones.....	32
3.1.3 Selección de Variables Relevantes.....	33
3.1.4 Etapas asociadas a la realización de la Encuesta. ....	34
3.1.5 Aplicación de la Encuesta .....	47
3.1.6 Procesamiento de la Información .....	47
<b>3.2 Resultados para Consumidores Residenciales.....</b>	<b>48</b>
3.2.1 Tipo de Leña consumida en el Sector Residencial en Coyhaique. ....	49
3.2.2 Condición de Humedad de la Leña Declarada por los Consumidores Residenciales en Coyhaique. ....	50
3.2.3 Distribución del Consumo de Leña en el Sector Residencial de Coyhaique. ....	53
3.2.4 Consumo de Leña Residencial Total en Volumen para Coyhaique.....	54
3.2.5 Motivación del Uso de Combustibles de Madera en los Consumidores Residencial de Coyhaique. ....	56
3.2.6 Costos por metro estéreo (MS) de leña para Coyhaique.....	59
3.2.7 Distribución por tipo de equipo de Combustión que poseen los consumidores Residenciales. ....	60
3.2.8 Antigüedad de los Equipos utilizados a nivel residencial en Coyhaique.....	61
3.2.9 Principales Marcas de Equipos de Combustión utilizados a Nivel Residencial.....	63
3.2.10 Distribución de los Transportes Utilizados en la Comercialización y Traslado de la Leña Consumida por el Sector Residencial.....	65
3.2.11 Formalidad de la Adquisición de Leña Consumida en el Sector Residencial.....	66
3.2.13 Disposición al Cambio de Combustibles de Madera en el Sector Residencial. ....	66
<b>3.3 Resumen de Resultados Sector Residencial .....</b>	<b>67</b>
<b>3.4 Sector Grandes Consumidores de Leña. ....</b>	<b>69</b>



3.4.1	Tipo de Leña consumida en el Sector Residencial en Coyhaique. ....	72
3.4.2	Consumo Total de Combustibles de Madera Según Subsectores Industrial, Comercial e Institucional en Coyhaique. ....	73
3.4.3	Costos del Metro Estéreo (MS) de leña pagado por los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique. ....	74
2.3.4	Distribución por Tipo de Equipos de Combustión utilizados en el Sector Grandes Consumidores en Coyhaique.....	75
3.3.5	Distribución de los Transportes Utilizados en la comercialización y Traslado de Leña por los Grandes Consumidores en Coyhaique. ....	76
3.3.6	Formalidad de la Adquisición de Leña en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique. ....	77
3.3.7	Mecanismos de la Adquisición de Leña en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique. ....	78
3.3.8	Distribución del Uso de las Diferentes Fuentes Energéticas Utilizadas en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores de de Coyhaique .....	79
2.3.9	Disposición al Cambio de Combustibles de Madera en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique. ....	80

**CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN FUENTES EMISORAS DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS IDENTIFICADAS EN LA ZONA DE COYHAIQUE.....83**

<b>4.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>83</b>
<b>4.2</b>	<b>Fuentes Fijas Tipo Área. ....</b>	<b>89</b>
4.2.1	Caracterización de Equipos de Combustión residencial.....	90
4.2.2	Determinación del nivel de Consumo de combustibles de madera en el sector residencial. ....	96
4.2.3	Caracterización del Consumo de combustibles de madera en el sector residencial.....	106
<b>4.3</b>	<b>Fuentes Fijas Puntuales. ....</b>	<b>107</b>
4.3.1	Caracterización del Consumo de Combustibles del Sector Grandes Consumidores. ....	109
4.3.2	Caracterización del los Ciclos de Operación de los Equipos de Combustión Existentes en el Sector Grandes Consumidores. ....	111
4.3.3	Caracterización del Consumo de Combustibles de Leña en el Sector Grandes Consumidores. ....	113
4.3.4	Equipos de Combustión registrados por la SEREMI de Salud de Aysén.....	117
4.3.5	Gastos en diferentes combustibles por parte de los Grandes Consumidores. ....	118
<b>4.4</b>	<b>Fuentes Móviles.....</b>	<b>119</b>
4.4.1	Fuentes Móviles en Ruta. ....	120
4.4.2	Fuentes móviles Fuera de Ruta. ....	125
4.4.3	Parque Vehicular Coyhaique. ....	126
4.4.4	Perfil de Circulación de Parque Vehicular de Coyhaique. ....	131
4.4.5	Distribución de Combustible. ....	136
<b>4.5</b>	<b>Fuentes Fugitivas. ....</b>	<b>136</b>
4.5.1	Quemas e Incendios Forestales. ....	136
4.5.2	Construcción y Demolición. ....	138
<b>4.6</b>	<b>Caracterización de las emisiones del proceso de combustión de leña. ....</b>	<b>139</b>

**CAPÍTULO IV: INVENTARIO EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE COYHAIQUE.....149**

<b>5.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>149</b>
<b>5.2</b>	<b>Metodología de Cálculo. ....</b>	<b>150</b>



5.2.1	Metodología de Cálculo de Emisiones. ....	150
5.2.2	Transformación Unidades para combustibles de Madera. ....	152
<b>5.3</b>	<b>Emisiones Residenciales.....</b>	<b>154</b>
5.3.1	Antecedentes para estimación de emisiones. ....	154
5.3.3	Factores de Emisiones combustión Residencial de Leña. ....	156
5.3.5	Cálculo Emisiones Atmosféricas atmosféricos del sector Residencial. ....	160
5.3.6	Comparación de resultados con otros estudios realizados a nivel Nacional. ....	162
<b>5.4</b>	<b>Emisiones Grandes Consumidores.....</b>	<b>167</b>
5.4.1	Niveles de Actividad. ....	168
5.4.2	Factores de Emisión. ....	171
5.4.3	Emisiones Atmosféricas.....	172
<b>5.5</b>	<b>Emisiones Fuentes Móviles.....</b>	<b>174</b>
5.5.1	Nivel de Actividad.....	174
5.5.2	Factores de Emisiones. ....	175
5.5.3	Emisiones Atmosféricas.....	176
<b>5.6</b>	<b>Emisiones Fuentes Fugitivas o Difusas.....</b>	<b>177</b>
5.6.1	Factores de Emisión. ....	177
5.6.2	Estimación de Emisión. ....	180
<b>5.7</b>	<b>Resumen de resultados y Conclusiones.....</b>	<b>182</b>
<b>CAPÍTULO VI: PROYECCIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES AL AÑO 2015.....</b>		<b>184</b>
<b>6.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>184</b>
<b>6.2</b>	<b>Proyección Emisiones Residenciales al 2015.....</b>	<b>184</b>
<b>6.3</b>	<b>Proyección Emisiones Vehiculares al 2015.....</b>	<b>186</b>
<b>CAPÍTULO VII: RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA Y DE CALIDAD DEL AIRE CONSIDERADA EN EL PROYECTO.....</b>		<b>187</b>
<b>7.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>187</b>
<b>7.2</b>	<b>Análisis de la Información de Calidad de Aire por MP<sub>10</sub>.....</b>	<b>188</b>
7.2.1	Promedios Mensuales y Anuales de MP <sub>10</sub> . ....	188
7.2.2	Concentración Promedio Diaria de MP <sub>10</sub> .....	191
7.2.3	Ciclos Promedio Horario de MP <sub>10</sub> .....	194
<b>7.3</b>	<b>Disponibilidad de Datos Meteorología de Superficie.....</b>	<b>200</b>
<b>7.4</b>	<b>Análisis de la Información de Meteorología de Superficie.....</b>	<b>203</b>
7.4.1	Rosas de Viento Estación Histórica de CONAMA.....	203
7.4.2	Rosas de Viento Estaciones Instalada por SETEC en Dependencias de CONAMA. ....	209
7.4.3	Ciclos Horarios Variables Meteorológicas, Estación Histórica de CONAMA. ....	219
7.4.4	Ciclos Horarios Variables Meteorológicas Estaciones SETEC. ....	227
<b>CAPÍTULO VIII: IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MODELACIÓN CALPUFF.....</b>		<b>234</b>
<b>8.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>234</b>
<b>8.2</b>	<b>Descripción del Sistema de Modelación CALPUFF. ....</b>	<b>234</b>
<b>8.3</b>	<b>Implementación del Modelo Micrometeorológico CALMET.....</b>	<b>237</b>
8.3.1	Dominio o Área de Modelación Considerada en el Estudio. ....	237
8.3.2	Cobertura Nubosa Periodo de Modelación. ....	241



<b>8.4</b>	<b>Implementación Modelo de Dispersión CALPUFF. ....</b>	<b>241</b>
8.4.1	Configuración de las Fuentes Emisoras de MP10, en el Modelo CALPUFF. ....	242
<b>8.5</b>	<b>Resultados Sistema de Modelación CALPUFF. ....</b>	<b>245</b>
<b>CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>250</b>

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 2-1.	Antecedentes geográficos y demográficos de la Comuna de Coyhaique. ....	16
Tabla 2-2.	Variación del crecimiento poblacional de la Ciudad de Coyhaique, según los CENSOS de 1982, 1992 y 2002. ....	17
Tabla 2-3.	Variación de la Tasa de Crecimiento de la Población Urbana y Rural en la Ciudad de Coyhaique durante el Periodo Censal 1992 – 2002. ....	18
Tabla 2-4.	Variación del número de viviendas en la Ciudad de Coyhaique durante los periodos Censales 1992 – 2002. ....	18
Tabla 2-5.	Variación del número de viviendas en la Ciudad de Coyhaique durante los periodos Censales 1992 – 2002. ....	19
Tabla 2-6:	Promedio mensual de cobertura nubosa para la zona de Coyhaique durante el periodo 1999 – 2006. ....	25
Tabla 2-7.	Características de las categorías de los uso de suelos considerados en la Zona de Coyhaique. ....	29
Tabla 3-1.	Universo Total del Sector Residencial en la Ciudad de Coyhaique. INE, Censo de Población y Vivienda 2002. ....	38
Tabla 3-2.	Tamaño de la Muestra Considerado para el Sector Residencial de la Ciudad de Coyhaique. ....	45
Tabla 3-3.	Tamaño de la Muestra del Universo Grandes Consumidores considerando los Sectores Industrial, Comercial e Institucional en la Ciudad de Coyhaique. ....	46
Tabla 3-4.	Actividades Productivas Consumidoras de Combustibles Fósiles y de Madera, pertenecientes al Universo Grandes Consumidores. ....	46
Tabla 3-5.	Tamaño de la Muestra del Universo Grandes Consumidores considerando los Sectores Industrial, Comercial e Institucional en la Ciudad de Coyhaique. ....	69
Tabla 3-6.	Actividades Productivas Consumidoras de Combustibles Fósiles y de Madera Encuestadas. ....	71
Tabla 4-1:	Fuentes emisoras que se incluirán en Inventario de Emisiones Atmosféricas de Coyhaique. ....	87
Tabla 4-2.	Cantidad de Equipos de combustión residencial de Coyhaique, estimados sobre base de encuesta. ....	92
Tabla 4-3.	Volúmenes de Carga Declarado y Real de la Leña Transportada por los Diferentes Tipos de Vehículos. ....	99
Tabla 4-4:	Peso y Contenido de Humedad de las Diferentes Tipos de Leña Según Especies. ....	100
Tabla 4-5.	Factores de Conversión de Metros Sólidos (MS) a m <sup>3</sup> sólidos con corteza, según el tipo de leña. ....	102

Tabla 4-6.	Factores de Carga para los diferentes Tipos de Vehículos.....	103
Tabla 4-7.	Equivalencia entre Capacidad de Carga, Metros Estéreos (MS) y Metros cúbicos sólidos con corteza ( $m^3$ scc), por Tipo de Vehículo.....	104
Tabla 4-8:	Consumo anual en $m^3$ scc de combustible de madera en el sector residencial, según especie.....	105
Tabla 4-9:	Catastro de Calderas, Grupos Electrógenos, Generadores, Hornos e Incinerados entregado por la Seremi de Salud de la Región de Aysén. ....	118
Tabla 4-10:	Clasificación Vehicular utilizada por SECTRA.....	122
Tabla 4-11a:	Numero de vehículos Particulares por tipo de combustible en Coyhaique. Año 2008.....	128
Tabla 4-11b:	Numero de vehículos de Transporte por tipo de combustible en Coyhaique. Año 2008.....	129
Tabla 4-11c:	Numero de vehículos de carga por tipo de combustible en Coyhaique. Año 2008. ....	130
Tabla 4-12:	Tabla resumen con el numero total de vehículos por categoría y tipo de combustible de Coyhaique, para el año 2008. ....	131
Tabla 4-13:	Volumen de Combustibles distribuidos en Coyhaique en $m^3$ .....	136
Tabla 4-14:	Cantidad de Quemas Agrícola y Forestales autorizadas y hectáreas intervenidas para el año 2008.....	138
Tabla 4-15:	Cantidad de permisos concedidos de obras en Coyhaique y cantidad de metros cuadrados construidos para el año 2008.....	139
Tabla 4-15:	Proporción relativa de los cuatro contaminantes de mayor interés para emisiones producto de combustión residencial de leña, según estudio Canadiense. ....	143
Tabla 4-16:	Proporción relativa de los cuatro contaminantes de mayor interés para emisiones producto de combustión residencial de leña, según proyecto SINCA. ....	144
Tabla 4-15:	Resumen de los principales compuestos PAH caracterizados en el humo de la combustión de leña.....	145
Tabla 5-1:	Factores de corrección de MS a $m^3$ scc. ....	152
Tabla 5-2:	Valores de densidad según especie de madera, para distintos niveles de humedad.....	153
Tabla 5-3:	Factores de Emisión Material Particulado asignados a cada artefacto por contenido de Humedad. ....	157
Tabla 5-4:	Factores de Emisión de CO, NO <sub>x</sub> , COV y SO <sub>x</sub> Asignados a Cada Artefacto Considerando Contenido de Humedad de la Leña.....	159
Tabla 5-5:	Consumo anual en toneladas de combustible de madera en el sector residencial, según especie.....	160
Tabla 5-6:	Emisiones de MP en fracciones gruesa, respirable y fina, CO, NO <sub>x</sub> , COV y SO <sub>x</sub> en toneladas anuales, por tipo de Equipo.....	161
Tabla 5-7:	Emisiones Globales de MP en fracciones gruesa, respirable y fina, CO, NO <sub>x</sub> , COV y SO <sub>x</sub> totales anuales y promedios diarios.....	162
Tabla 5-8.	Actividades Productivas Consumidoras de Combustibles Fósiles y de Madera Encuestadas.....	169
Tabla 5-9:	Nivel de Actividad Grandes consumidores, para utilización de combustibles de madera. ....	170



Tabla 5-10:	Nivel de Actividad Grandes consumidores, para utilización de combustibles fósiles.....	170
Tabla 5-11:	Factores de Emisión para combustión de combustible fósiles.....	171
Tabla 5-12:	Factores de Emisión utilizados para los grandes consumidores. ....	172
Tabla 5-13:	Emisiones Atmosféricas producto de uso de combustible fósil.....	173
Tabla 5-14:	Emisiones Atmosféricas producto de uso de leña.....	173
Tabla 5-15:	Niveles de Actividad de fuente móviles, en KM/año. ....	174
Tabla 5-16:	Niveles de Actividad de fuente móviles, en KM/año. ....	175
Tabla 5-17:	Niveles de Actividad de fuente móviles, en KM/año. ....	176
Tabla 5-18:	Factor de carga de combustible para quemas agrícolas, en Ton/ha.....	179
Tabla 5-19:	Factores de Emisiones por quemas agrícolas y forestales, en kg/ton. ....	179
Tabla 5-20:	Factor de Emisiones de MP para Construcción y Demolición, kg/ton.....	180
Tabla 5-21:	Emisiones por quemas agrícolas y forestales en zona de Coyhaique, en ton/año. ....	181
Tabla 5-22:	Emisiones de MP10 y PTS para Construcción y Demolición en Coyhaique, ton/año. ....	181
Tabla 5-20:	Resumen de Emisiones de las diferentes fuentes incluidas en el Inventario de Emisiones, en ton/año.....	182
Tabla 6-1.	Proyección de emisiones residenciales de contaminantes, 2008 – 2015. .	185
Tabla 6-2.	Proyección de emisiones vehiculares de contaminantes, 2008 – 2015. ....	186
Tabla 7-1.	Concentraciones de MP <sub>10</sub> promedio anual y máxima 24 horas (percentil 98) observadas en Estación de monitoreo histórica de CONAMA, Coyhaique. Periodo 2007 – 2008.....	193
Tabla 7-2:	Características de las estaciones de monitoreo instaladas en la Ciudad de Coyhaique.....	202
Tabla 8-1.	Características del dominio de modelación utilizado en el sistema CALPUFF en la zona del proyecto. ....	238
Tabla 8-2.	Clasificación de los usos de suelos considerados en la implementación de CALMET en el dominio de modelación. ....	239
Tabla 8-3.	Ejemplo de datos extraídos de MODIS.....	241
Tabla 8-4:	Comparación entre las concentraciones observadas de MP10 promedio mensual con las concentraciones modeladas por el sistema CALPUFF. Noviembre del 2008.....	246

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 2-1:	Variación del crecimiento poblacional de la Ciudad de Coyhaique, según CENSOS de 1982, 1992, 2002 y proyección de la población para el año 2009 de INE.....	17
Figura 2-2:	Temperaturas máximas, mínimas y medias (°C) de Coyhaique. Promedios mensuales periodo 1999 – 2006. ....	21
Figura 2-3:	Variación de los promedios mensuales de precipitaciones en Coyhaique. Periodo 1999 – 2006.....	21
Figura 2-4:	Precipitaciones anuales de Coyhaique. Periodo 1999 – 2006.....	22
Figura 2-5:	Promedios mensuales de velocidad media y máxima de vientos durante el periodo 1999 – 2006.....	23
Figura 2-6:	Promedios mensuales de Humedad Relativa, para el periodo 1999 - 2006.	24
Figura 2-7:	Área considerada para la implementación del Proyecto, con dimensiones preliminares de 30 kilómetros al Este y 40 kilómetros al Norte. Coordenadas de Origen UTM-E: 700.000 km, UTM-N:4930.000 km .....	27
Figura 2-8:	Representación Tridimensional de la topografía en la zona del Proyecto. Resolución de la topografía: 500 x 500 metros. Coordenadas de Origen UTM-E: 690.000 km, UTM-N: 4910.000 km.....	28
Figura 3-1:	Identificación de los cuatro Distritos Censales de la Ciudad de Coyhaique..	41
Figura 3-2:	Manzanas o Unidades Primarias Muestrales (UPM) seleccionadas aleatoriamente para ser muestreadas en la Ciudad de Coyhaique. ....	41
Figura 3-3:	Especies consumidas como leña en Coyhaique.....	50
Figura 3-4:	Humedad de Leña declarada por los consumidores residenciales de Coyhaique.....	51
Figura 3-5:	Motivación declarada de los consumidores residenciales a usar leña húmeda. ....	52
Figura 3-6:	Formas de reconocer la leña húmeda declaradas por los consumidores residenciales de Coyhaique.....	52
Figura 3-7:	Rango de Consumo de leña residencial de Coyhaique, según encuesta EM-2009, en unidades de metro estéreo (MS). ....	54
Figura 3-7:	Consumo de Leña Residencial Total en volumen y por especies, según encuesta EM-2009. ....	55
Figura 3-9:	Primera Razón que Motiva el Consumo de Leña Residencial en la Ciudad de Coyhaique.....	57
Figura 3-10:	Segunda Razón que Motiva el Consumo de Leña Residencial en la Ciudad de Coyhaique. ....	58
Figura 3-11:	Tercera Razón que Motiva el Consumo de Leña Residencial en la Ciudad de Coyhaique.....	58
Figura 3-12:	Rangos de costos de la leña en Coyhaique por el MS, según encuesta EM-2009. ....	59
Figura 3-14:	Antigüedad de Cocinas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.....	62
Figura 3-15:	Antigüedad de Estufas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.....	63



Figura 3-16:	Distribución porcentual de las Principales marcas de cocina a leña para Coyhaique.....	64
Figura 3-18:	Distribución de los Transportes Utilizados en la Comercialización y Traslado de la Leña Consumida por el Sector Residencial. ....	65
Figura 3-19:	Disposición al Cambio de Combustible en el Sector Residencial de Coyhaique.....	67
Figura 3-20	Distribución del Uso de leña por tipo de especies utilizadas por los Consumidores Residenciales de Coyhaique. ....	72
Figura 3-21	Rango de Consumo de leña en el Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, según encuesta EM-2009, en unidades de metro estéreo (MS). ....	73
Figura 3-22:	Costo por Metro Estéreo (MS) de Leña Pagado por el Sector Grandes Consumidores de la Ciudad de Coyhaique.....	74
Figura 3-23:	Distribución por Tipos de Equipos de Combustión Utilizados en el Sector Grandes Consumidores de la Ciudad de Coyhaique.....	75
Figura 3-24:	Distribución de los Vehículos Utilizados en la Comercialización y Traslado de Leña en el Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique. ....	76
Figura 3-25:	Recepción de Documento que acredite la Compra de Leña en el Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique. ....	77
Figura 3-26:	Mecanismos de adquisición de leña en los establecimientos pertenecientes al Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique.....	78
Figura 3-27:	Distribución del Uso de Diferentes Fuentes Energéticas Utilizadas en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores de la Ciudad de Coyhaique. ....	79
Figura 3-28:	Disposición al cambio de combustibles de madera en el Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique. ....	80
Figura 4-1:	Distribución porcentual de la tenencia de equipos por parte de los encuestados.....	91
Figura 4-2:	Antigüedad de Cocinas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.....	93
Figura 4-3:	Antigüedad de Estufas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.....	94
Figura 4-4:	Distribución porcentual de las Principales marcas de cocina a leña para Coyhaique.....	95
Figura 4-5:	Distribución porcentual de las Principales marcas de estufas a leña para Coyhaique.....	95
Figura 4-6:	Medios de Transporte Utilizados para la Comercialización y Transporte de Leña en la Ciudad de Coyhaique. Imagen extraída del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR. ....	98
Figura 4-7:	Ciclos normalizado del consumo de leña en el sector residencial. ....	106
Figura 4-8:	Distribución mensual proporcional de consumo de leña en el sector residencial. ....	107
Figura 4-8:	Distribución en el uso de Diferentes Fuentes Energéticas en el Sector de Grandes Consumidores, según encuesta EM-2009. ....	110
Figura 4-9:	Distribución de los meses inicio y término del funcionamiento de los equipos de combustión existentes.....	111

Figura 4-10:	Distribución de los Equipos de Combustión del Sector Grandes Consumidores que se Encuentran funcionamiento a lo largo del Año.....	112
Figura 4-11:	Rango de Consumo de leña en el Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, según encuesta EM-2009, en unidades de metro estéreo (MS). .....	114
Figura 4-12:	Distribución del Tipo de Equipos de Combustión Utilizados en Establecimientos del Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, según encuesta EM-2009. ....	115
Figura 4-13:	Distribución del Tipo del Número de Meses en que los Establecimientos del Sector Grandes Consumidores de Coyhaique Consumen Leña, según encuesta EM-2009. ....	116
Figura 4-14:	Variación del Consumo de Leña declarado en EM-2009 por los Establecimientos del Sector Grandes Consumidores de Coyhaique. ....	117
Figura 4-15:	Gasto en combustible fósiles en el sector de Grandes Consumidores (no incluye Central Térmica Tehuelche).....	119
Figura 4-16:	Evolución del Parque Vehicular de Coyhaique, para el periodo 2001-2008. .....	126
Figura 4-17:	Evolución del Parque Vehicular de Coyhaique, para el periodo 2001-2008, separado por categoría. ....	127
Figura 4-18:	Distribución de vehículos particulares según combustibles y tecnología de control de emisiones. ....	128
Figura 4-19:	Distribución de vehículos de transporte Colectivo según combustibles y tecnología de control de emisiones. ....	129
Figura 4-20:	Distribución de vehículos de carga según combustibles y tecnología de control de emisiones. ....	130
Figura 4-21:	Perfil promedio de Circulación Normalizado a Hora Punta (entre 7:00 de la mañana y las 22:00 hrs). ....	132
Figura 4-22:	Ubicación de los 14 Punto de control utilizados en el conteo de vehículos en Coyhaique (estudio MIDEPLAN, 2006). ....	132
Figura 4-23:	Resultado de conteo de vehículos en cada punto de control, según estudio MIDEPLAN, 2006. ....	133
Figura 4-24:	Composición del Flujo Vehicular en horario Punta Mañana (PM). ....	134
Figura 4-25:	Composición del Flujo Vehicular en horario Fuera de Punta (FP). ....	135
Figura 4-26:	Ubicación de los sectores donde se realizaron quemas agrícolas y forestales autorizadas, en el año 2008. ....	137
Figura 4-27:	Estructura molecular de la lignina. ....	141
Figura 4-28:	Estructura molecular de la celulosa. ....	142
Figura 4-29:	Estructura molecular de los 7- PAH más peligrosos. ....	146
Figura 5-1:	Distribución de la propiedad de equipos de combustión a leña de la ciudad de Coyhaique. ....	155
Figura 5-2:	Comparación de estimación del consumo de leña en diferentes ciudades, de acuerdo a distintos estudios realizados a nivel nacional.....	163
Figura 5-3:	Comparación de estimación de emisión de Material Particulado Respirable (MP10) en diferentes ciudades, de acuerdo a distintos estudios realizados a nivel nacional. ....	165

Figura 5-4:	Comparación de la emisión de Material Particulado Respirable (MP10) en diferentes ciudades, proporcional a un m <sup>3</sup> de leña consumido, de acuerdo a distintos estudios realizados a nivel nacional.....	166
Figura 5-5:	Distribución de las emisiones de MP10 en Coyhaique.....	183
Figura 6-1:	Proyección de emisiones residenciales de contaminantes, 2008 – 2015. ...	185
Figura 6-2:	Proyección de emisiones vehiculares de contaminantes, 2008 – 2015. ....	186
Figura 7-1:	Promedios mensuales de los niveles de MP <sub>10</sub> , medidos en Estación CONAMA (Monitor Atenuación Beta), periodo Marzo-Diciembre 2007. ....	189
Figura 7-2:	Promedios mensuales de los niveles de MP <sub>10</sub> , medidos en Estación CONAMA (Monitor Atenuación Beta), periodo Enero-Noviembre 2008. ....	190
Figura 7-3:	Promedios anuales de los niveles de MP <sub>10</sub> , medidos en Estación CONAMA (Monitor Atenuación Beta), Años 2007 – 2008. ....	191
Figura 7-4:	Concentraciones promedio diarias de MP <sub>10</sub> , observados en Estación CONAMA, periodo Marzo-Diciembre 2007. ....	192
Figura 7-5:	Concentraciones promedio diarias de MP <sub>10</sub> , observados en Estación CONAMA, periodo Enero-Noviembre 2008.....	192
Figura 7-6:	Ciclo promedio horario de MP <sub>10</sub> observado en Estación CONAMA, periodo Marzo-Diciembre 2007. ....	195
Figura 7-7:	Ciclos diarios promedio horarios de MP <sub>10</sub> observados en Estación CONAMA, 2008. ....	196
Figura 7-8:	Ciclos diarios promedio horarios de MP <sub>10</sub> observados en Estación CONAMA, Invierno 2007 y 2008.....	198
Figura 7-9:	Ciclos diarios promedio horarios de MP <sub>10</sub> observados en Estación CONAMA, Verano 2007 y 2008. ....	199
Figura 7-10:	Ubicación de estaciones de monitoreo en la Zona de Coyhaique. ....	201
Figura 7-11:	Rosa de viento Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008. ....	205
Figura 7-12:	Comparación Rosas de Viento estacionales, Estación Histórica de CONAMA, periodo Mayo – Diciembre 2008.....	207
Figura 7-13:	Rosas de Viento promedio observadas en Estación Histórica de CONAMA Aysén entre las 0 y 8 hrs y entre las 9 y 23 hrs, periodo Mayo – Diciembre 2008. ....	208
Figura 7-14:	Rosa de Viento Estación instalada en dependencias de CONAMA Aysén, periodo completo de monitoreo Octubre – Diciembre 2008. ....	211
Figura 7-15:	Rosas de Viento observadas en Estación CONAMA entre las 00:00 y 08:00 hrs y entre las 09:00 y 23:00 hrs, periodo Octubre – Diciembre 2008. ....	212
Figura 7-16:	Rosa de Viento Estación instalada en el Sector Cerro San Luis, periodo completo de monitoreo Octubre – Diciembre 2008. ....	214
Figura 7-17:	Rosas de Viento observadas en Estación Cerro San Luis entre las 00:00 y 08:00 hrs y entre las 09:00 y 23:00 hrs, periodo Octubre – Diciembre 2008. ....	215
Figura 7-18:	Rosa de viento Estación ubicada en el sector Quebrada El Carbón, periodo completo de monitoreo Octubre – Diciembre 2008. ....	217
Figura 7-19:	Rosas de viento observadas en Estación ubicada en sector Quebrada El Carbón entre las 00:00 y 08:00 hrs y entre las 09:00 y 23:00 hrs, periodo Octubre – Diciembre 2008.....	218

Figura 7-20:	Ciclo horario promedio de Velocidad del Viento, Estación CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.....	220
Figura 7-21:	Ciclo Horario Promedio de Temperatura, Estación CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008 .....	221
Figura 7-22:	Ciclo horario promedio de Humedad Relativa, Estación CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.....	221
Figura 7-23:	Ciclos diarios promedios horarios estacionales de Velocidad del Viento, Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008. ...	224
Figura 7-24:	Ciclos diarios promedios horarios estacionales de Temperatura, Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008. ....	225
Figura 7-25:	Ciclos diarios promedios horarios estacionales de Humedad Relativa, Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008. ...	226
Figura 7-26:	Ciclos diarios promedio horario de Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa. Estación Instalada en CONAMA Aysén, periodo Octubre – Diciembre 2008. ....	229
Figura 7-27:	Ciclos Diarios promedio horario de Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa. Estación Instalada en Sector Cerro San Luis, periodo Octubre – Diciembre 2008.....	231
Figura 7-28:	Ciclos Diarios promedio horario de Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa. Estación instalada en sector Quebrada El Carbón, periodo Octubre – Diciembre 2008.....	233
Figura 8-1:	Diagrama de operación sistema de modelación CALPUFF/CalDesk .....	236
Figura 8-2:	Ilustración Dominio de modelación con dimensiones de 15 kilómetros Este y 15 kilómetros Norte. Coordenadas de Origen UTM-E: 721.000 km, UTM-N: 4943.000 km.....	238
Figura 8-3:	Ilustración de la topografía del área de estudio. ....	240
Figura 8-4:	Ilustración del Uso de suelos del área de estudio. ....	240
Figura 8-5:	Representación esquemática de las fuentes emisoras tipo área a ser utilizadas en la aplicación de CALPUFF. ....	243
Figura 8-6:	Ciclo de emisión normalizado considerado para modelación con CALPUFF. ....	244
Figura 8-6:	Isolíneas de Concentraciones Promedio mensual de MP10 en la ciudad de Coyhaique, Modelado 1. Noviembre del 2008.....	247
Figura 8-7:	Isolíneas de Concentraciones Promedio mensual de MP10 en la ciudad de Coyhaique, Modelado 2. Noviembre del 2008.....	248

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En este documento EnviroModeling Ltda. presenta a CONAMA, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, el informe final del proyecto: **"Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique"**. Este documento contiene un Inventario de Emisiones de partículas y gases desarrollado para la ciudad de Coyhaique, considerando como base el año 2008. El desarrollo de este inventario constituyó el objetivo principal del informe y consideró los contaminantes MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, COV y SO<sub>2</sub> y otras sustancias de interés para la ciudad de Coyhaique.

El objetivo de este proyecto se cumplió mediante la realización de las siguientes tareas:

- Análisis y descripción del área o zona del proyecto considerando aspectos tales como: situación demográfica de la zona de Coyhaique y análisis de la información relacionada a la climatología registrada, topografía y uso de suelos.
- Realización de una encuesta de consumo de leña en la ciudad de Coyhaique para caracterizar el modo de operación de los calefactores a leña utilizados en la zona y obtener información sobre: tasas de quemado, horas de encendido, comportamiento nocturno, entre otras



- Identificar y caracterizar todas las fuentes emisoras de contaminantes atmosféricas en la zona de Coyhaique.
- Elaborar un inventario de emisiones atmosféricas en la zona de Coyhaique considerando como base el año 2008.
- Realizar una proyección del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos al año 2015.
- Recolectar, sistematizar y analizar la información meteorológica y de calidad del aire considerada en el proyecto.
- Implementar y aplicar del sistema de modelación CALPUFF en la zona de Coyhaique para validar del inventario de emisiones desarrollado.

El desarrollo de cada una de las tareas indicadas se presenta en los Capítulos II a VII respectivamente. Las conclusiones y recomendaciones finales del estudio se presentan en Capítulo IX.

En ANEXOS A, B, C y D se presentan, el análisis de trayectorias de viento en la zona, los formularios de encuesta de consumo de leña, el listado de servicios encuestados y el registro de fuentes de información respectivamente.



## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DEL ÁREA O ZONA DEL PROYECTO

#### 2.1 Introducción.

Este estudio se llevará a cabo en la ciudad de Coyhaique, la que administrativamente pertenece la Provincia de Coyhaique, ubicada en la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

La ciudad de Coyhaique fue fundada el 12 de Octubre de 1929 por el Gobierno Provincial y se encuentra situada en los 45° 34' de Latitud Sur y 72° 04' de Longitud Oeste (equivalente UTM: E-729.000; N-4949.000, Datum WGS-84), con una altitud aproximada de 280 m.s.n.m. En términos generales, la ciudad de Coyhaique se encuentra emplazada en la zona centro de la cuenca hidrográfica del Río Aysén, en un valle de lomajes suaves situado entre los ríos Simpson y Coyhaique. Esta cuenca se caracteriza por sus abundantes precipitaciones y gran disponibilidad de recursos hídricos, manifestados a través de la presencia de numerosos lagos y ríos. Las principales actividades económicas de la ciudad de Coyhaique se relacionan con los rubros agropecuario, silvícola, industrial y turístico.

En las secciones siguientes se presenta, en primer lugar, una descripción de la situación demográfica de la zona de Coyhaique para un periodo de tres censos. En segundo lugar, se expone la información relacionada a la climatología registrada por la Dirección Meteorológica de Chile. Finalmente se incluye también una descripción del área de estudio que contiene ilustraciones de la topografía de la zona.



## 2.2 Antecedentes Demográficos.

### 2.2.1 Periodo 1982 – 2009

Según los antecedentes del último CENSO realizado en el año 2002, que se presenta en Tabla 2-1, la Ciudad de Coyhaique posee una superficie comunal de 7775 Km<sup>2</sup> y una población total de 50041 habitantes, lo que representa un 55% de la población comunal existente en la región de Aysén. En Coyhaique, aproximadamente el 90% de la población es urbana y el 10% es rural.

Tabla 2-1. Antecedentes geográficos y demográficos de la Comuna de Coyhaique.

Superficie Comunal (Km <sup>2</sup> )	Habitantes por Km <sup>2</sup>	Población Comunal (hab)	Población Masculina (hab)	Población Femenina (hab)	Población Rural (%)	Población Urbana (%)	Población Comunal en la Región (%)
7,775	6.45	50,041	25,453	24,588	10.37	89.63	54.69

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2002, INE.

Al realizar una comparación entre los CENSOS 1982 -1992 y el del año 2002, es posible observar que la tasa de crecimiento poblacional de la Ciudad de Coyhaique mantiene un incremento anual de aproximadamente un 1.5% en los últimos 20 años, es decir, la tendencia de esta comuna es al aumento de su población. Esto se ilustra en Tabla 2-2 y Figura 2-1 siguientes

Tabla 2-2. Variación del crecimiento poblacional de la Ciudad de Coyhaique, según los CENSOS de 1982, 1992 y 2002.

Ciudad	Censos			Proyección INE Año 2009	Tasa de Crecimiento Anual	
	1982	1992	2002		1982-1992	1992-2002
Coyhaique	37,305	43,297	50,041	57,349	1.5	1.5

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 1982, 1992 y 2002, INE.

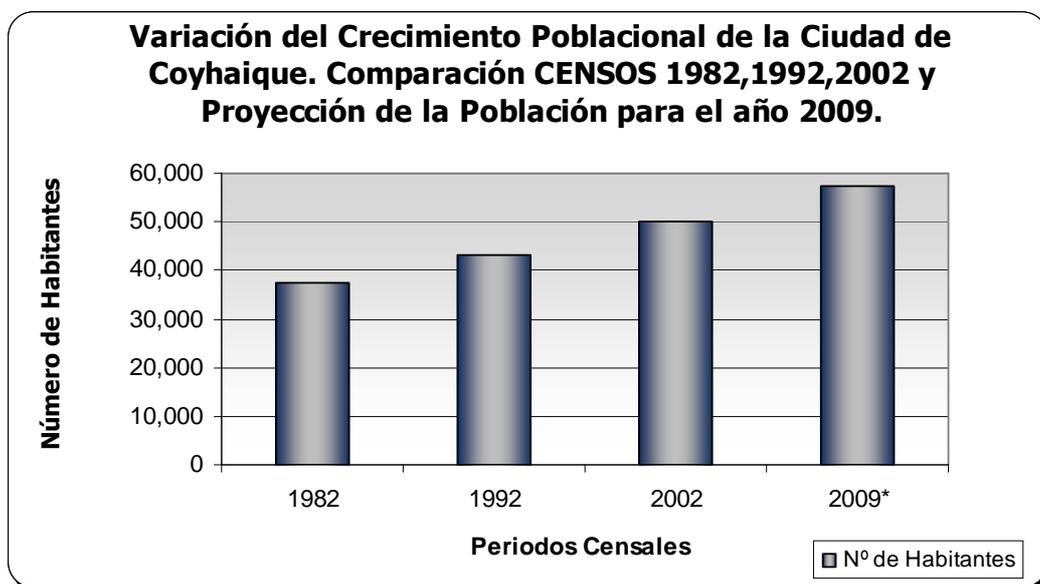


Figura 2-1: Variación del crecimiento poblacional de la Ciudad de Coyhaique, según CENSOS de 1982, 1992, 2002 y proyección de la población para el año 2009 de INE<sup>1</sup>.

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 1982, 1992 y 2002, INE.

A continuación en Tabla 2-3, se presentan índices de variación de la tasa de crecimiento de la población urbana y rural en la ciudad de Coyhaique durante el periodo censal 1992 – 2002.

<sup>1</sup> La proyección de la población de la Ciudad de Coyhaique para el año 2009 se obtuvo del sitio web del Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Tabla 2-3. Variación de la Tasa de Crecimiento de la Población Urbana y Rural en la Ciudad de Coyhaique durante el Periodo Censal 1992 – 2002.

Ciudad	Población Urbana				Población Rural			
	1992		2002		1992		2002	
	Nº Hab	%	Nº Hab	%	Nº Hab	%	Nº Hab	%
Coyhaique	36,376	84	44,850	90	6,921	16	5,191	10

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 1992 y 2002, INE.

En Tabla 2-3, es posible observar que la población urbana aumenta en términos relativos al total en un 6% entre los años 1992 y 2002. Mientras que la tasa de crecimiento de la población rural, para el mismo periodo, sufre una disminución de un 6%. Esta situación puede representar la migración o traslado de la población rural a los polos urbanos de la zona.

Respecto al número de viviendas, vemos en Tabla 2-4, que la Ciudad de Coyhaique ha experimentado un crecimiento de un 45% durante el periodo censal 1982 – 1992 y 30.2%, durante el periodo censal 1992 – 2002. En tanto, para el año 2009 se esperaría un total aproximado de 18000 viviendas, considerando que la relación hab/viviendas calculada para el periodo censal 1992 – 2002 se mantenga en 3.2 hab por vivienda y que la proyección de la población realizada para el 2009 por INE, presentada en Tabla 2-2 es de 57,349 habitantes en la ciudad de Coyhaique.

Tabla 2-4. Variación del número de viviendas en la Ciudad de Coyhaique durante los periodos Censales 1992 – 2002.

Ciudad	Censo 1982	Censo 1992	Censo 2002	Año 2009
Coyhaique	6,207	10,997	15,753	18,000

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 1992 y 2002, INE.



### 2.2.2 Proyección de la Población y Número de Viviendas al año 2020

El Instituto Nacional de Estadísticas INE, realizó una proyección de la población de la ciudad de Coyhaique hasta el año 2020, basándose en los resultados obtenidos en el último censo, efectuado en el año 2002. Utilizando esta proyección de población y considerando que la relación entre el número de habitantes por vivienda, obtenido para el periodo censal 1992 – 2002, se mantiene constante en 3.2 personas por hogar hasta el año 2020, se estimó que en el año 2020 el número de viviendas en Coyhaique sería de 19,800. Esta proyección se presenta en Tabla 2-5. Con esta información es posible evaluar el impacto del aumento de la población y número de viviendas sobre los niveles de emisiones de MP10 en la ciudad. Esto se analiza posteriormente en el Capítulo IV de este estudio.

Tabla 2-5. Variación del número de viviendas en la Ciudad de Coyhaique durante los periodos Censales 1992 – 2002.

	<b>Año 2009</b>	<b>Año 2012</b>	<b>Año 2020</b>
<b>Nº habitantes</b>	57,349	59,221	63,598
<b>Nº de Viviendas</b>	18,000	18,700	19,800
<b>Relación Nº Hab/Vivienda</b>	3.2	3.2	3.2

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 1992 y 2002, INE.

## 2.3 Climatología

La zona de Coyhaique corresponde a un clima templado frío, de bajas temperaturas, alta pluviometría, fuertes vientos y elevada humedad relativa. Para el análisis del clima de esta zona, se ha realizado un estudio de variables meteorológicas para ocho años consecutivos, considerando el



periodo 1999 – 2006. La información se obtuvo de la estación meteorológica ubicada en el Aeródromo Teniente Vidal de Coyhaique. A continuación se presenta un análisis resumido de cada parámetro registrado por esta estación.

### **2.3.1 Temperatura**

Una de las características climáticas de esta ciudad, es el brusco cambio de temperatura entre el invierno y el verano. Este fenómeno se presenta en Figura 2-2. En esta figura observamos que las temperaturas máximas promedio mensuales se presentan durante el verano, entre 18 y 21 °C, mientras que en invierno sólo alcanzan los valores que fluctúan entre 5 y 9 °C.

Por otra parte las temperaturas mínimas, alcanzan durante el verano un promedio de 8 °C, y en invierno un promedio de - 0.76° C. Cabe destacar que en el periodo estudiado se observaron algunas temperaturas mínimas de -10 °C durante meses fríos, mientras que en meses cálidos se registraron valores máximos de 32 °C.

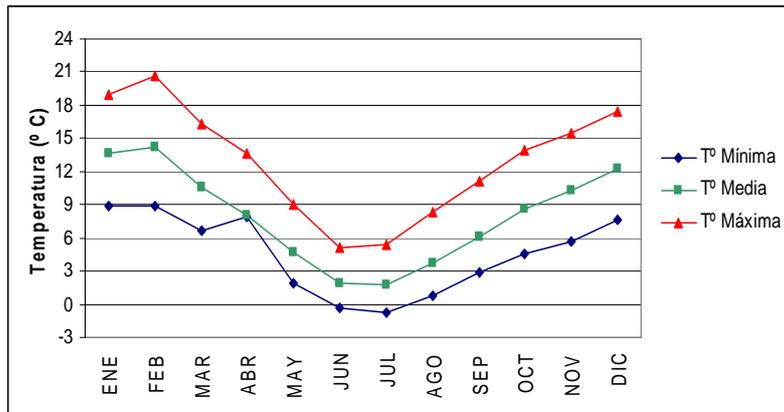


Figura 2-2: Temperaturas máximas, mínimas y medias (°C) de Coyhaique. Promedios mensuales periodo 1999 – 2006.

### 2.3.2 Pluviometría

En esta zona del país los niveles de precipitación entregan un aporte hídrico importante, alcanzando un promedio de agua caída aproximado de 1097mm anuales. Las variaciones mensuales de esta precipitación como promedio de ocho años, se presentan en Figura 2-3.

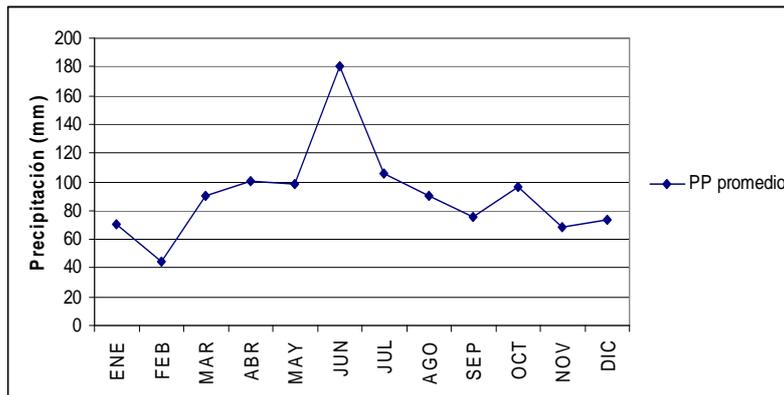


Figura 2-3: Variación de los promedios mensuales de precipitaciones en Coyhaique. Periodo 1999 – 2006.



En Figura 2-3 se observa que durante todo el año hay niveles de agua caída, sobresaliendo el periodo que se encuentra entre los meses de Abril a Junio, en los cuales el aporte hídrico se eleva aproximadamente al doble con respecto al resto de los meses.

En relación a la variación anual de la precipitación, se observa en Figura 2-4, que durante los años evaluados, hay un aumento en la precipitación anual desde el año 1999, donde se observa un nivel de 850 mm, hasta el año 2006 donde se registra una precipitación anual de 1200 mm.

Lo anterior, sin embargo, no indica que exista una tendencia al aumento de la precipitación en la ciudad de Coyhaique, ya que el comportamiento de esta variable es cíclico y debe evaluarse sobre un universo de 20 a 30 años como mínimo.

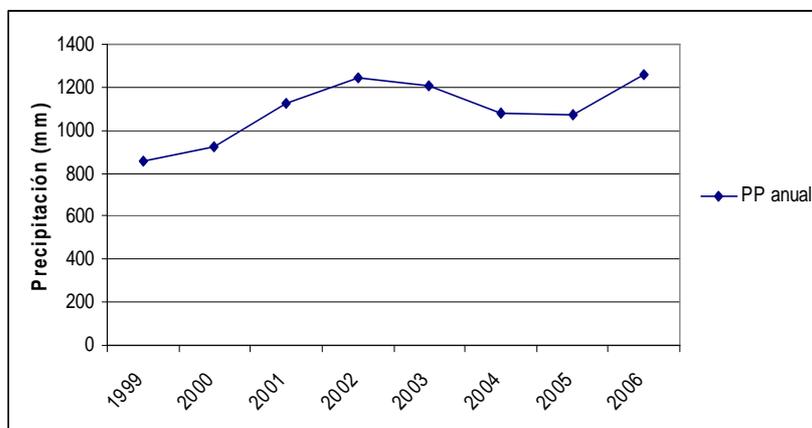


Figura 2-4: Precipitaciones anuales de Coyhaique. Periodo 1999 – 2006.

### 2.3.3 Velocidad de Vientos

Coyhaique es una zona con fuertes vientos durante el periodo de verano, estas corrientes pueden llegar a una velocidad media que supera los 7 m/s. La variación de la velocidad media y máxima en esta zona se presenta en Figura 2-5. En esta figura se observa que la velocidad media mensual del viento alcanza niveles mínimos de 2 m/s durante el periodo de invierno.

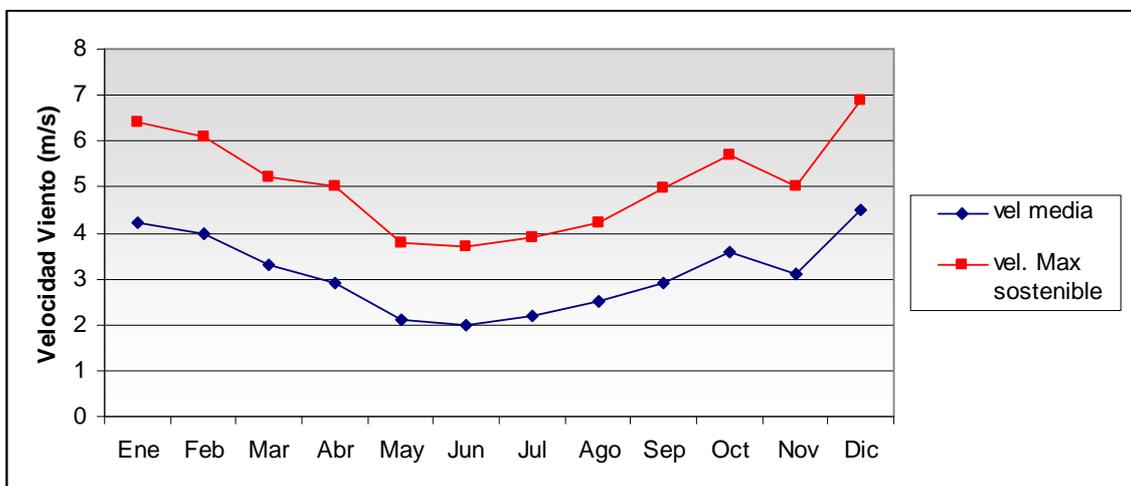


Figura 2-5: Promedios mensuales de velocidad media y máxima de vientos durante el periodo 1999 – 2006.

### 2.3.4 Humedad Relativa

Coyhaique se encuentra flanqueada por la cordillera de los Andes, donde sus montañas se convierten en una especie de barrera climática que la protege de los frentes húmedos del océano Pacífico. Sin embargo, esta es una zona con un porcentaje de humedad relativamente alto debido a las



frecuentes precipitaciones. En Figura 2-6 se presentan los promedios mensuales de humedad a las 8:00, 14:00 y 20:00 horas. En esta figura se observa que durante la mañana, la humedad relativa supera durante todo el año el 70%. En Verano, la humedad disminuye hasta 50% durante la noche. Por otro lado, durante el periodo de Invierno la humedad relativa se mantiene por sobre el 70% durante la mayor parte del día.

La amplitud entre la humedad máxima y la mínima se encuentran alrededor de 13% en el periodo de Septiembre - Abril y un 4% en el periodo Mayo - Julio.

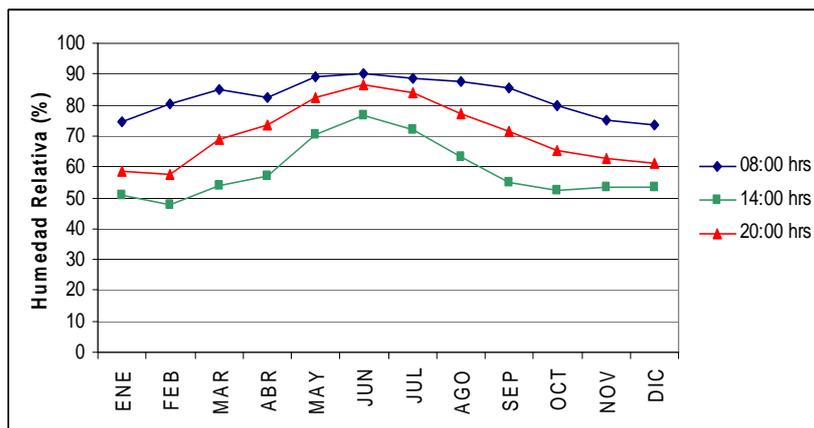


Figura 2-6: Promedios mensuales de Humedad Relativa, para el periodo 1999 - 2006.

### 2.3.5 Cobertura Nubosa

La zona de Coyhaique presenta una cobertura nubosa promedio entre el 35 - 75 %, durante todo el año, variando ligeramente en algunas horas del día, como se muestra en la Tabla 2-6.



Tabla 2-6: Promedio mensual de cobertura nubosa para la zona de Coyhaique durante el periodo 1999 – 2006.

<b>MES</b>	<b>HORAS</b>		
	<b>08:00 hrs</b>	<b>14:00 hrs</b>	<b>20:00 hrs</b>
<b>Enero</b>	5.5	5.2	5.1
<b>Febrero</b>	3.9	4.2	4.1
<b>Marzo</b>	5.9	5.6	5.5
<b>Abril</b>	5.5	5.2	5.1
<b>Mayo</b>	6.0	5.9	5.2
<b>Junio</b>	6.1	6.3	6.0
<b>Julio</b>	5.3	5.7	5.3
<b>Agosto</b>	5.6	5.7	5.5
<b>Septiembre</b>	6.1	6.0	6.0
<b>Octubre</b>	6.3	6.3	6.0
<b>Noviembre</b>	5.5	5.6	5.3
<b>Diciembre</b>	5.4	5.5	5.3

**Fuente: Estación Teniente Vidal, periodo 1999 - 2006**



## **2.4 Geografía y Usos de Suelos.**

El área de estudio se localiza en la ribera Sur del río Coyhaique y Este del río Simpson, específicamente, en el centro de la Cuenca Hidrológica del Río Aysén. La ciudad de Coyhaique está inserta en un valle protegido por un conjunto montañoso, tanto al Norte como al Sur. Hacia el lado Oeste, se encuentra la Cordillera de los Andes con cotas que superan los 1000 metros, mientras que hacia el Este se presenta relieve menos significativo.

A continuación en Figura 2-7 se presenta el área de estudio o dominio del proyecto. Las dimensiones del dominio seleccionado son de 15 kilómetros en la dirección Este y 15 kilómetros en la dirección Norte, cubriendo un área de 225 kilómetros cuadrados. Sus coordenadas de origen son UTM-E: 721.000 km, UTM-N: 4943.000 km. Por otra parte en Figura 2-8 se muestra una imagen 3D o isométrica de la elevación o topografía del área de estudio, obtenida a partir de la base de datos mundial de la United State Geographical Survey (USGS), con resolución de 100 metros.



Figura 2-7: Área considerada para la implementación del Proyecto, con dimensiones preliminares de 30 kilómetros al Este y 40 kilómetros al Norte. Coordenadas de Origen UTM-E: 700.000 km, UTM-N:4930.000 km

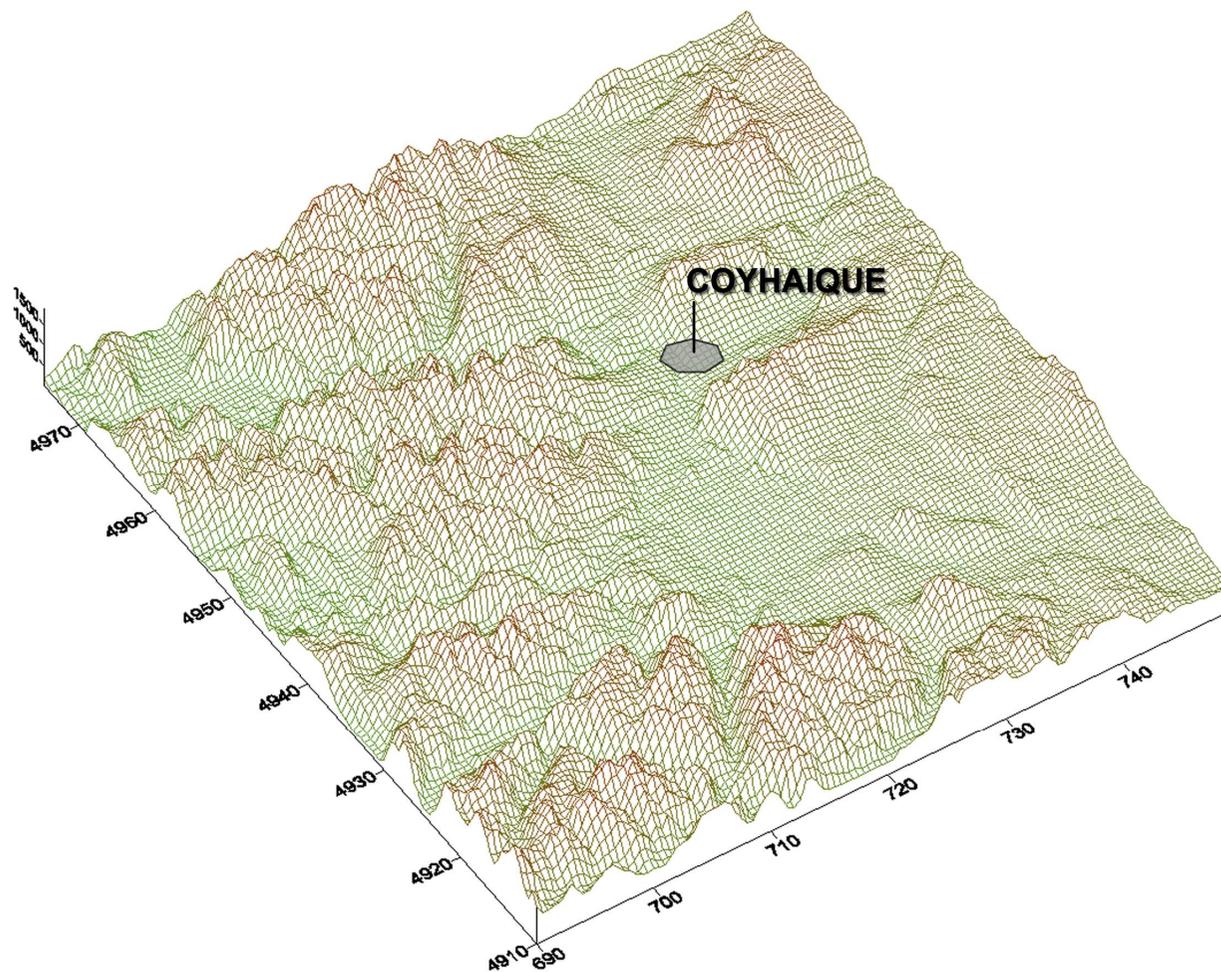


Figura 2-8: Representación Tridimensional de la topografía en la zona del Proyecto. Resolución de la topografía: 500 x 500 metros. Coordenadas de Origen UTM-E: 690.000 km, UTM-N: 4910.000 km.



En lo que respecta al uso de suelos en la zona del proyecto, estos corresponden principalmente a las categorías:

- Urbano
- Agua
- Tundra (subdivisión suelo estéril)
- Forestal
- Hielos Perennes
- Pastizales

A continuación en Tabla 2-7, se presentan las características de estas categorías de suelo de acuerdo a los criterios establecidos por United State Geographical Survey (USGS).

Tabla 2-7. Características de las categorías de los uso de suelos considerados en la Zona de Coyhaique.

Categorías de Usos de Suelos		Rugosidad Superficial Z0(m)	Albedo <sup>(2)</sup>	Razón de Bowen <sup>(1)</sup>	Flujo de Calor de Suelo (W/m <sup>2</sup> )	
Urbano	10	2.0	0.18	1.5	0.25	
Forestal	40	1.0	0.1	1.0	0.15	
Agua	51	0.001	0.1	0.1	1.0	
Pastizales	30	0.05	0.25	1.0	0.15	
Tundra <sup>(3)</sup>	Suelo Estéril	83	0.3	0.25	6.0	0.15
Hielos Perennes	90	20	0.70	0.5	15	

**Fuente: Elaboración Propia**

- (1) Razón de Bowen : Definida como la razón entre flujos sensibles y latentes, a nivel de superficie. Es mayor sobre superficies secas, donde la mayoría de la energía es absorbida por el suelo (sensible); y menor sobre superficies húmedas, donde la mayoría de la energía se pierde con la evaporación (latente).
- (2) Albedo : Reflectividad a la luz solar del suelo (expresada como fracción respecto a la unidad).
- (3) Tundra : Se consideraron propiedades diferentes para una misma clasificación de uso de de suelo (Tundra), ya que en todos los casos se encuentran desprovistos de vegetación (suelo estéril), sin embargo cada uno muestras características deferentes dada su naturaleza distinta.



## CAPÍTULO III

### BASES TÉCNICAS PARA DESARROLLO INVENTARIO: ENCUESTA DE CONSUMO LEÑA EN LA CIUDAD DE COYHAIQUE

#### 3.1 Introducción.

En este capítulo se presenta la información asociada a la metodología y resultados de la encuesta **“Demanda de Leña y Caracterización de Equipos de Calefacción en la Ciudad de Coyhaique”** llevada a cabo por EnviroModeling Ltda durante Mayo del 2008. Esta encuesta tuvo como objetivo el determinar el consumo de leña y caracterizar los principales equipos de calefacción usados en esta ciudad, para elaborar un inventario de emisiones de MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y otras sustancias de interés para la ciudad de Coyhaique.

En la realización de esta encuesta se utilizó como base los estudios:

- “Encuesta sobre el Consumo de Leña a Hogares de Temuco y Padre Las Casas. Dictuc”, 2007.
- “Propuesta de una Metodología para el Estudio de la Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén”. INFOR, 2004.
- “Terminología Unificada sobre Dendroenergía, UWET FAO, 2001.
- “Guía para Encuestas de Demanda, Oferta y Abastecimiento de Combustibles de Madera” FAO, 2002.



## 3.2 Metodología.

Apelando a la falta de información dendroenergética<sup>2</sup>, FAO ha desarrollado una base conceptual y metodológica uniforme para optimizar la información asociada a combustibles de madera. El objetivo fundamental de esta iniciativa es que los países puedan generar diagnósticos de su situación dendroenergética, ya sea en un sector y/o un área geográfica determinada. Esto permite satisfacer las necesidades de información de todos los grupos de interés, además de identificar acciones eficaces para:

- Optimizar el desempeño de los sistemas dendroenergéticos,
- Desarrollar esquemas de planeación de un sector y usarlos como herramienta en la toma de decisiones de políticas, estrategias y/o

En virtud de lo anterior FAO ha elaborado los documentos: "Terminología Unificada sobre Dendroenergía, UWET (FAO, 2001) y "Guía para Encuestas de Demanda, Oferta y Abastecimiento de Combustibles de Madera" (FAO, 2002).

### 3.1.1 Recomendaciones de FAO para la Elaboración de Estudios de Demanda de Combustibles de Madera.

---

<sup>2</sup> En este grupo se incluyen todos los tipos de combustibles derivados directa o indirectamente de los árboles o especies arbustivas que crecen en los bosques o áreas no forestales.<sup>3</sup> Encuesta sobre el Consumo de leña a hogares de Temuco y Padre Las Casas. Dictuc, 2007 y "Propuesta de una Metodología para el Estudio de la Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén. INFOR, 2004.



Para realizar un estudio asociado a demanda de combustibles de madera, FAO recomienda el desarrollo de un plan de actividades con una secuencia lógica que contemple las siguientes acciones o tareas:

- Definir los Objetivos del estudio.
- Establecer su dominio geográfico o sectorial.
- Revisar la información existente.
- Seleccionar las variables relevantes para el estudio.
- Definir el diseño del muestreo.
- Obtener y Analizar datos.
- Elaborar un informe con resultados y conclusiones.

Las actividades mencionadas anteriormente forman parte de la metodología utilizada en este estudio, las tareas más importantes son descritas en las secciones siguientes.

### 3.1.2 Definiciones

- **Unidades Primarias Muestrales (UPM):** Corresponden número de manzanas identificadas en una ciudad.
- **Unidades Secundarias de muestreo (USM):** Equivalen al número de viviendas contenidas en cada una de las manzanas existentes en una ciudad.
- **“Chocos” de leña:** Son pequeños trozos de leña de un largo promedio de 32 cm, obtenidos a partir de árboles o de madera recolectada de al limpiar los campos. Para obtener los chocos, el tronco es trozado transversalmente en trozas de 1 metro de



longitud, para luego ser seccionado en largos de 32 cm, los trozos de mayor diámetro son divididos con un hacha, en 2, 3 y hasta 4 partes.

- **“Leña de metro”:** Son trozos de 1 metro de longitud, obtenidos a partir de árboles derribados o de madera recogida. Generalmente son troncos cilíndricos o partidos longitudinalmente.
- **Metro Estéreo:** El metro estéreo (MS) es un volumen apilado de leña, de un metro por lado, en el cual no sólo están contenidos los trozos de leña sino también los espacios libres que quedan entre ellos.

### 3.1.3 Selección de Variables Relevantes

Las variables seleccionadas y analizadas en este estudio, con el fin de caracterizar los equipos de combustión utilizados y cuantificar el consumo de combustibles de madera en los sectores residencial y Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique corresponden a:

- **Sector Residencial:**
  - Tipos de Combustibles utilizados en el hogar.
  - Tipo de leña utilizada.
  - Cantidad o volumen de combustible de leña consumida por hogar en un año.
  - Uso de combustibles en el hogar según actividad.
  - Distribución estacional del consumo de leña.
  - Forma de abastecimiento de los combustibles de madera.



- Caracterización de los equipos utilizados para cocinar y calefaccionar (tipo, marca, antigüedad, tiempo de uso).
- Gasto anual en leña por hogar.
- Disposición al cambio o sustitución de equipos.
- **Sector Grandes Consumidores:**
  - Consumo y Gasto anual en combustibles "No Madera".
  - Consumo y Gasto anual en madera.
  - Tipo de leña utilizada.
  - Equipos que consumen leña.
  - Tiempos de uso de los equipos.
  - Forma de abastecimiento de los combustibles de madera.
  - Periodo, frecuencia y volumen de leña adquirido.

### **3.1.4 Etapas asociadas a la realización de la Encuesta.**

Para llevar a cabo la encuesta "**Demanda de Leña y Caracterización de Equipos de Calefacción en la Ciudad de Coyhaique**", se realizó una serie de actividades previas tales como: diseño del formulario de encuesta, reclutamiento y capacitación de los encuestadores, diseño estadístico, determinación del dominio muestral, tipo de muestreo aplicado, tamaño de la muestra, hasta llegar finalmente, a la aplicación misma de la encuesta. Cada una de estas tareas, se explican con mayor detalle en los párrafos siguientes.

#### **3.1.4.1 Formulario de Encuesta**

El diseño final del formulario de encuesta, para caracterizar los equipos de combustión utilizados y determinar la demanda de leña en los sectores



residencial, Industrial, comercial y de servicios, fue elaborado considerando formatos de encuesta de estudios realizados anteriormente en otras ciudades<sup>3</sup>, además de los requerimientos del organismo demandante. Es por esto que en la generación de este documento participaron en forma conjunta profesionales de EnviroModeling, CONAMA y de la Secretaría Técnica de Certificación de la Leña.

El formulario para el sector residencial, finalmente quedó conformado por 21 preguntas, estructuradas de acuerdo a los siguientes ítems:

- Identificación de la vivienda y persona residente encuestada.
- Tipos de Combustibles utilizados.
- Usos de los combustibles según actividades y periodos climáticos.
- Motivación del consumo y uso de combustibles de madera.
- Preferencia del estado de humedad de la leña.
- Transporte utilizado para el abastecimiento de los combustibles de madera.
- Recepción de documento de acreditación de compra de combustibles de madera.
- Tipo o especie de combustibles de madera utilizados.
- Cuantificación del consumo Anual de Desechos industriales y forestales
- Tipos de equipos a leña utilizados (cocinas, estufas, chimeneas, etc).
- Consumo y Gasto Anual en combustibles de madera.
- Disposición al cambio de equipos y de combustibles de madera.



Por otra parte, el formulario elaborado para ser aplicado en los sectores industrial, comercial e institucional, quedó conformado por 20 preguntas que se elaboraron de acuerdo a las siguientes categorías:

- Identificación del establecimiento encuestado.
- Tipos de combustibles utilizados.
- Cuantificación del consumo y gasto mensual en combustibles "no madera".
- Transporte utilizado para el abastecimiento de los combustibles de madera.
- Número de meses en los que consume leña.
- Formas de abastecimiento de los combustibles de madera.
- Cuantificación del consumo Anual de Desechos industriales y forestales.
- Recepción de documento de acreditación de compra de combustibles de madera.
- Periodo en el que consumen combustibles de madera.
- Tipos de equipos a leña utilizados.
- Disposición al cambio de equipos y de combustibles de madera.

### **3.1.4.2 Reclutamiento de Encuestadores**

Esta actividad se llevó a cabo, considerando competencias requeridas por la consultora EnviroModeling, para lo cuál se reclutaron diez estudiantes universitarios de la carrera de Piscicultura pertenecientes al Centro de



Formación Técnica "Trapananda" de la Universidad de Austral, localizado en la ciudad de Coyhaique. Esto permitió contar con encuestadores aptos, debido tanto al conocimiento del sector como de los hábitos asociados al consumo de combustible de madera.

### **3.1.4.3 Capacitación de Encuestadores**

La capacitación de los encuestadores se realizó los días 7, 14 y 15 de Mayo. Considerando la revisión detallada de los formularios, las formas de presentación, cómo plantear las preguntas y las variables que requirieran más atención y que servirían para validar las respuestas del encuestado. Además, se entregó a cada encuestador una credencial con su identificación, materiales de apoyo, formularios de encuesta foliados y mapa con el cuadrante asignado.

### **3.1.4.4 Diseño Estadístico**

El diseño estadístico para el levantamiento de la información en la ciudad de Coyhaique consideró los siguientes universos:

- Sector Residencial: El universo residencial sobre el cual se aplicó el muestreo correspondió a un total de 15,753 viviendas particulares de la ciudad de Coyhaique. Este estudio asume que una vivienda equivale a un hogar, a pesar de que INE hace diferencia entre ambos, debido a que en una vivienda puede existir más de un hogar.



A continuación en Tabla 3-1 se presentan antecedentes del sector residencial para la ciudad de Coyhaique, según INE, Censo de Población y Vivienda de 2002.

Tabla 3-1. Universo Total del Sector Residencial en la Ciudad de Coyhaique. INE, Censo de Población y Vivienda 2002.

<b>Ciudad</b>	<b>Población</b>	<b>Nº Viviendas</b>
Coyhaique	50,041	15,753

**Fuente: Censo de Población y Vivienda 2002, INE.**

- **Grandes Consumidores:** Este universo está compuesto por los sectores: Industrial, Comercial e Institucional. El grupo Industrial incluyó establecimientos que emplean combustibles de madera y fósiles como fuente energética para la transformación de sus materias primas, dentro de los que se encuentran: restaurantes, panaderías, industrias, etc. Por otra parte, el sector comercial estuvo compuesto por establecimientos encargados de prestar servicios, tales como: hoteles, supermercados, tiendas, etc. Finalmente, el sector Institucional incluyó organismos públicos y privados de diversas áreas dentro de las que destacan: salud, educación, fuerzas armadas, servicios, entre otros, los cuales consumen combustibles fósiles y de madera para llevar a cabo actividades como calefacción y preparación de alimentos.



### **3.1.4.5 Marco Muestral**

El marco muestral para los universos Residencial y Grandes consumidores se detalla a continuación.

- Sector Residencial: Para este sector se utilizó como marco muestral las bases de datos y de cartografía del Instituto de Estadísticas INE, actualizadas por el Censo del año 2002. Estas bases de datos, organizan la información de acuerdo a distritos censales, los que se subdividen a su vez en zonas censales y están integradas por manzanas, para las que INE dispone de información asociada al número de viviendas contenidas en cada una de ellas.
  
- Sector Grandes Consumidores: El marco muestral para este sector fue diseñado en base a información proporcionada por organismos tales como:
  - Servicio de Salud (Listado de entidades que realizaron Declaraciones de Emisiones Según el D.S Nº 138).
  
  - Secretaría Técnica del Comité de Certificación de Leña (Listado de Industrias, empresas, Servicios y establecimientos comerciales).
  
  - Municipalidad de Coyhaique (Listado de patentes Comerciales e industriales)



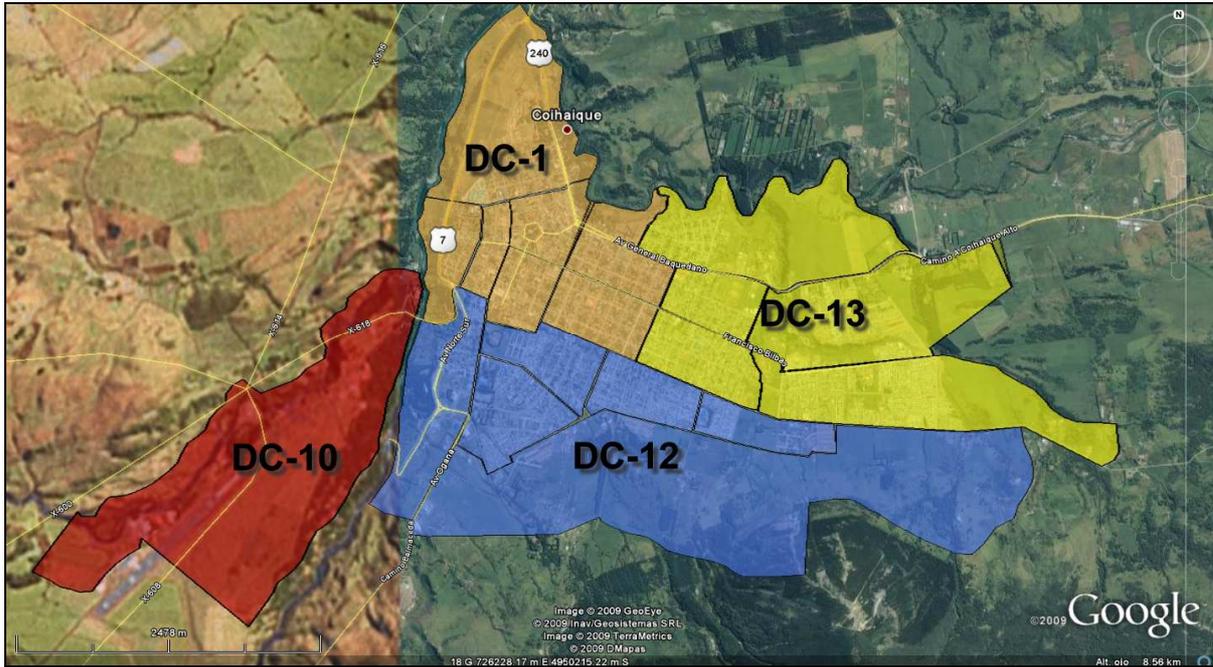
### 3.1.4.6 Tipo de Muestreo Aplicado

El tipo de muestreo aplicado en la ciudad de Coyhaique para los universos Residencial y Grandes consumidores se detalla a continuación.

- Sector Residencial: En este sector se aplicó un muestreo probabilístico bietápico por conglomerado<sup>4</sup>. Para lo cual se escogió en primer lugar, las *Unidades Primarias de Muestreo (UPM)*, estas corresponden al número de manzanas identificadas en una ciudad. En segundo lugar, se seleccionaron las *Unidades Secundarias de muestreo (USM)* que equivalen al número de viviendas contenidas en cada una de las manzanas. A continuación en Figura 3-1, se presenta una imagen que muestra los diferentes distritos censales (DC). Por otra parte en Figura 3-2, se presentan las distintas UPM o manzanas muestreadas aleatoriamente en la ciudad de Coyhaique.

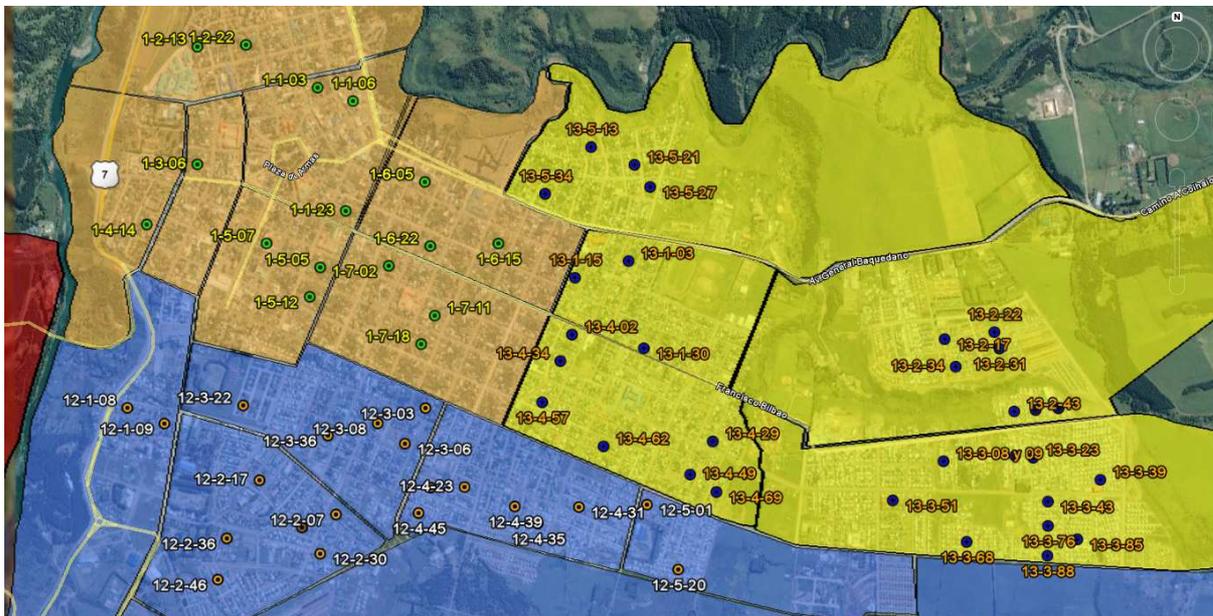
---

<sup>4</sup> Se seleccionó este tipo de muestreo debido a que no fue posible obtener una base de datos con la identificación y dirección de cada vivienda. Sin embargo, INE proporcionó la nómina de conglomerados (manzanas) de la ciudad de Coyhaique a través de su ubicación en planos, con esta información se escogió un número determinado de ellas.



Fuente: Elaboración de Enviromodeling.

Figura 3-1: Identificación de los cuatro Distritos Censales de la Ciudad de Coyhaique.



Fuente: Elaboración de Enviromodeling

Figura 3-2: Manzanas o Unidades Primarias Muestrales (UPM) seleccionadas aleatoriamente para ser muestreadas en la Ciudad de Coyhaique.



- Sector Grandes Consumidores: Este sector fue abordado mediante un muestreo aleatorio simple de acuerdo a la proporción o tamaño de cada sector (Industrial, Comercial e Institucional) dando una mayor ponderación o número de muestras a los rubros con mayor posibilidad de ser consumidores de combustibles de madera.

### 3.1.4.7 Tamaño de la Muestra

La selección de *Unidades Primarias de Muestreo (UPM)* o manzanas, se realizó en forma aleatoria<sup>5</sup> y proporcional al número de UPM de cada zona censal, es decir, que mientras mayor número de manzanas tenga una zona censal, se le asignará un mayor porcentaje de muestras o encuestas a realizar. Por el contrario, si la zona censal tiene un número reducido de manzanas el porcentaje de muestras asignados será menor.

Cada una de las UPM seleccionadas fue georreferenciada y puesta en una imagen satelital de la zona, de esta forma, fue posible obtener las coordenadas UTM precisas de ubicación de cada UPM, lo que facilitó la generación de mapas con los cuadrantes y manzanas correspondientes a cada encuestador.

En cada UPM seleccionada aleatoriamente, se empadronó el número de viviendas existentes en ella y luego se aplicó un muestreo sistemático aleatorio para seleccionar cuatro viviendas por manzana, determinando así el intervalo de selección ( $k$ ), tal como se presenta a continuación en Ecuación 1:

---

<sup>5</sup> Aplicación de la Función de MS Excel denominada "*aleatoria entre*", que entrega valores en forma randónica entre intervalos definidos por el usuario



$$k = \frac{m_i}{4}$$

Ecuación 1

Donde:

$m_i$ : Número de viviendas de la manzana o UPM<sub>i</sub>.

$k_i$ : Intervalo de selección de la vivienda de la UPM<sub>i</sub>.

4: Número de viviendas a escoger por UPM.

Una vez obtenido el valor de  $k_i$ , se seleccionó la primera *Unidad Secundaria Muestral (USM)* o vivienda en forma aleatoria y luego en intervalos  $k$  se eligieron las siguientes viviendas hasta completar cuatro por cada manzana.

El número de *Unidades Secundarias de muestreo (USM)* o viviendas a encuestar en la ciudad de Coyhaique fue determinado mediante la Ecuación 2<sup>6</sup>, para un nivel de confianza del 95%, un error del 5% y un coeficiente de variación del 50%<sup>7</sup>

$$n_0 = \frac{(CV * t^2_{\alpha,v})}{e^2}$$

Ecuación 2

Donde:

$n_0$ : Número de viviendas a encuestar.

CV: Coeficiente de Variación del 50%.

---

<sup>6</sup> FAO, 2002

<sup>7</sup> Valor considerado como aceptable en otros estudios como: "Propuesta de una Metodología para el Estudio de la Demanda de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén (CNE/INFOR, 2004)", donde la variabilidad de la variable analizada es desconocida.



$t$  : t-student para un nivel de confianza del 95% ( $t=1.96$ ).

$e$  : Error muestral (6%).

Dado el tamaño de la población de la ciudad de Coyhaique, la muestra obtenida se ajustó por la Ecuación 3, presentada a continuación:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$n$  : Tamaño de la muestra ajustada

$n_0$  : Número de viviendas a encuestar.

$N$  : Número de viviendas totales.

De acuerdo a la expresión anterior, el tamaño de la muestra para un coeficiente de variación del 50% y un error muestral del 6%, fue de 262 viviendas<sup>8</sup>.

A continuación en Tabla 3-2, se presenta el número de viviendas (USM) y el número de manzanas (UPM) correspondientes al tamaño de la muestra calculado para la ciudad de Coyhaique.

---

<sup>8</sup> Este valor fue corroborado mediante el programa STAT v2.0.



Tabla 3-2. Tamaño de la Muestra Considerado para el Sector Residencial de la Ciudad de Coyhaique.

<b>Ciudad</b>	<b>Nº de Viviendas a Encuestar (USM)</b>	<b>Nº de Manzanas Seleccionadas (UPM)</b>
Coyhaique	262 <sup>a</sup>	66

<sup>a</sup> A pesar de que el diseño muestral corresponde a 262 viviendas a encuestar, para un error del 6%, la consultora aumentó el número de encuestas a 300.

**Fuente: Elaboración EnviroModeling.**

Por otra parte, para caracterizar el uso de combustibles fósiles y de madera en el sector Grandes Consumidores, se encuestaron aleatoriamente los posibles establecimientos consumidores. Algunos antecedentes y tamaño de la muestra de dicho Universo considerando los sectores Industrial, Comercial e Institucional en la ciudad de Coyhaique se presentan en Tabla 3-3 siguiente. En tanto, en Tabla 3-4 se presentan las actividades productivas consumidoras de combustibles fósiles y de madera encuestadas en la ciudad de Coyhaique.

Tabla 3-3. Tamaño de la Muestra del Universo Grandes Consumidores considerando los Sectores Industrial, Comercial e Institucional en la Ciudad de Coyhaique.

Ciudad	Tamaño de la Muestra (Número de Establecimiento por Sector)		
	Industrial	Comercial	Institucional
Coyhaique	16	62	25

Fuente: Elaboración Enviromodeling.

Tabla 3-4. Actividades Productivas Consumidoras de Combustibles Fósiles y de Madera, pertenecientes al Universo Grandes Consumidores.

SECTOR	ACTIVIDAD PRODUCTIVA	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO
<b>Industrial</b>	31115	Fabricación de Cecinas
	31121	Fabricación de Productos Lácteos
	31171	Fabricación de Pan y derivados
	36911	Fabricación de Cerámicas y Bloques de Ladrillos
	32132	Lavanderías y Tintorerías
	34204	Imprenta y encuadernación
<b>Comercial</b>	63111	Restoranes, bar, club, pizzería
	63212	Residencial, casa de pensión
	63211	Hoteles, hostería, moteles, cabañas
<b>Institucional</b>	91001	Servicios de Gobierno no clasificados
	93101	Enseñanza Escuelas Primarias y Secundarias
	93106	Institutos técnicos, profesionales o universidades
	93312	Hospitales, sanitarios, otros similares

Fuente: Elaboración Enviromodeling.



### **3.1.5 Aplicación de la Encuesta**

El levantamiento de la información en terreno se realizó entre los días 16 al 24 de Mayo del 2009 llevándose a cabo 300 encuestas a viviendas consumidoras de combustibles de madera y 103 a establecimientos correspondientes a la categoría de "Grandes Consumidores"

Cada encuestador realizó un número no mayor a 6 encuestas diarias, con el fin asegurar una efectiva y rigurosa aplicación de ellas, así como también de que los supervisores llevaran un efectivo control de la labor realizada en la jornada antes de asignar un nuevo set de encuestas.

A cada encuestador se le entregó un set de encuestas foliadas, junto con sus materiales, credencial de identificación y un mapa con el cuadrante y las UPM asignadas. Además, a cada uno de ellos se le asignó una "manzana de emergencia", para encuestar en el caso de que las viviendas de la UPM asignadas originalmente, fallaran debido a que por ejemplo, los moradores se negaran a contestar la encuesta, la vivienda estuviera deshabitada, las viviendas de la manzana hubieran sido demolidas y ahora la UPM fuera un sitio eriazo, etc

### **3.1.6 Procesamiento de la Información**

El procesamiento de la información se llevó a cabo a través de la generación de planillas Excel para cada pregunta de la encuesta. Estas planillas contenían gráficos pre-establecidos que al momento de ir ingresando datos entregaban resultados en forma simultánea. Esto permitió ir teniendo una



visión general de los resultados obtenidos a medida que se ingresaban los datos.

### **3.2 Resultados para Consumidores Residenciales.**

En esta sección se presentan los principales resultados obtenidos de la aplicación de la Encuesta Residencial realizada en Mayo del 2009. El objetivo de la encuesta fue, en primer lugar, caracterizar el consumo de combustible de madera, respecto de las especies consumidas, volumen consumida y precios de referencia pagados por los consumidores. En segundo lugar, se caracterizaron los tipos de artefactos de combustión utilizados en los hogares, agregando las variables de marca y antigüedad de estos artefactos. Finalmente, también se consultó a los consumidores respecto del tipo de vehículo en el cual es transportada la leña que adquieren.

La muestra para el Sector Residencial finalmente estuvo compuesta por un total de 300 hogares de la ciudad de Coyhaique.

Las secciones siguientes presentan los resultados de las principales consultas realizadas en la encuesta, estas apuntaron a la caracterización tanto del consumo como de los artefactos utilizados para la combustión.



### **3.2.1 Tipo de Leña consumida en el Sector Residencial en Coyhaique.**

Las dos principales especies de leña consumidas en Coyhaique, según los encuestados residenciales, son la Lengua (67%) y el Ñire (31%). En menor orden de magnitud encontramos el Coigüe, el Pino y la Tepa (en conjunto suman un 2%). Otras especies tales como Eucalipto, Hualle, Frutales, Roble, no figuran dentro de las preferencias de este tipo de consumidores.

La distribución del consumo por especie, cobra relevancia desde el punto de vista del cálculo de las emisiones de Material particulado, ya que depende de las propiedades de cada especie, principalmente la densidad (asociada al contenido de humedad), la transformación de unidades de volumen ( $m^3$  scc – metros cúbicos sólidos con corteza) a unidades de masa (kilogramos o toneladas). Este dato, de la masa consumida, es el que finalmente interesa para los fines del cálculo de las emisiones por combustión dado las unidades de los factores de emisión utilizados (ver sección 5.2.2).

En Figura 3-3 siguiente se presenta la representación gráfica de la distribución del consumo de leña, separado por especie.

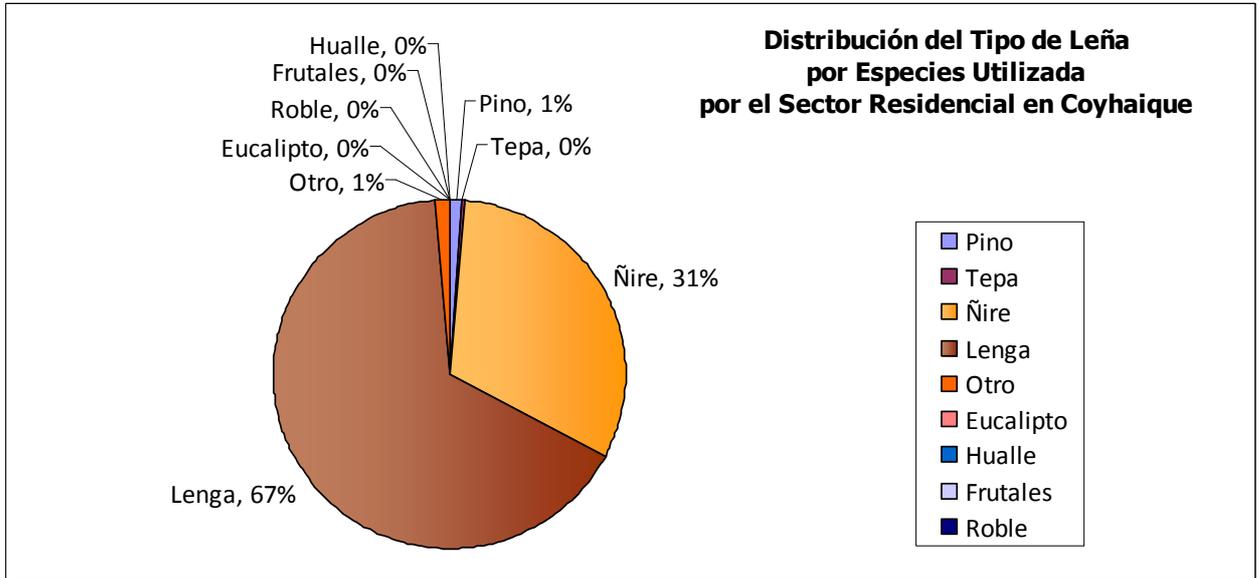


Figura 3-3: Especies consumidas como leña en Coyhaique.

En la Figura 3-3 es posible observar que la distribución porcentual por especies de leña para el sector Residencial muestra que 67% de los hogares prefiere usar leña de lenga, mientras que un 31% utiliza Ñire, el 2% restante compra pino u otras especies.

### 3.2.2 Condición de Humedad de la Leña Declarada por los Consumidores Residenciales en Coyhaique.

Como vemos en Figura 3-4, el 56% de los consumidores residenciales entrevistados indicó que prefiere utilizar leña seca y el 44% restante utiliza la leña semi – húmeda al momento de calefaccionar sus hogares o cocer alimentos. La razón que motiva el uso de leña húmeda, según expusieron los encuestados es en un 96% debido a que dura más en los equipos de combustión, tal como se observa en Figura 3-5.

Al plantear a los consumidores residenciales la interrogante ¿Cómo reconoce cuando la leña está húmeda?, el 64% de los encuestados indicó que lo hace porque es más liviana, mientras que el 31% asoció la humedad de la leña a su color, el 6% restante dividió su apreciación entre las opciones “se informa al momento de la compra” y “otras”, tal como es posible observar en Figura 3-6

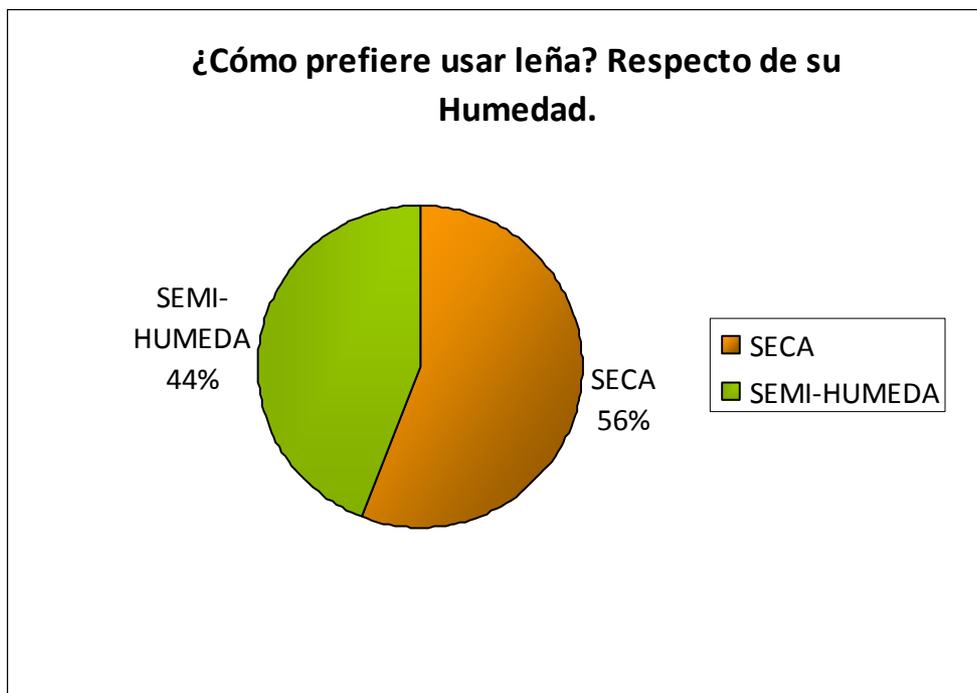


Figura 3-4: Humedad de Leña declarada por los consumidores residenciales de Coyhaique.



Figura 3-5: Motivación declarada de los consumidores residenciales a usar leña húmeda.

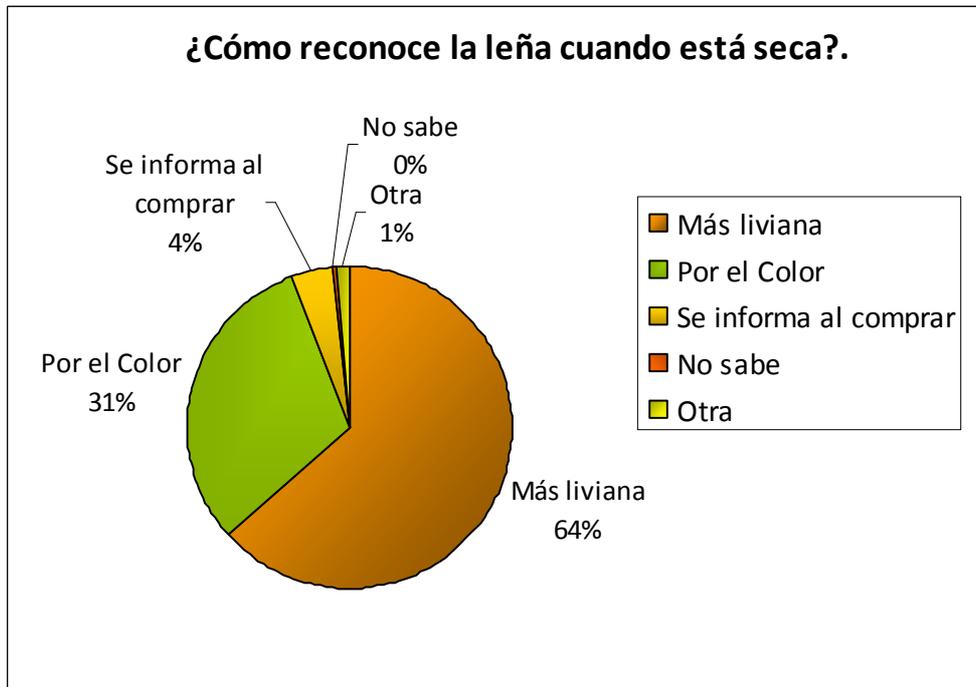


Figura 3-6: Formas de reconocer la leña húmeda declaradas por los consumidores residenciales de Coyhaique.



### 3.2.3 Distribución del Consumo de Leña en el Sector Residencial de Coyhaique.

La determinación de la distribución del consumo de leña en Coyhaique se realizó mediante la adopción de intervalos o rangos de consumo, no diferenciados por estrato social. Los datos de consumo entregados por los encuestados, se analizaron evaluando que corresponden a percepción de consumo, ya que las unidades de medida generalmente usada son "camionada" o "camionetada", por lo que se toma en cuenta que el "metro" al cual se refieren los consumidores corresponde al metro estéreo (MS) declarado por el transportista<sup>9</sup>.

Los intervalos adoptados, en unidades de MS (metros estéreos), para el análisis del consumo son los siguientes:

- Rango A: de 0 a <10 mS.
- Rango B: de 10 a <20 mS.
- Rango C: de 20 a <30 mS.
- Rango D: de 30 a <40 mS.
- Rango E: de 40 a <60 mS.
- Rango F: de 60 a <80 mS.
- Rango G: >80 mS.

De esta manera se logró determinar el porcentaje de la población representada por cada rango. El resultado de este análisis se presenta en Figura 3-7 siguiente.

<sup>9</sup> Tal como señalan varios estudios realizados sobre leña en Chile, existe una diferencia entre la capacidad declarada por el transportista y la capacidad real del medio de transporte, siendo de aproximadamente 0.8 y 0.9 para camionetas y camiones respectivamente.

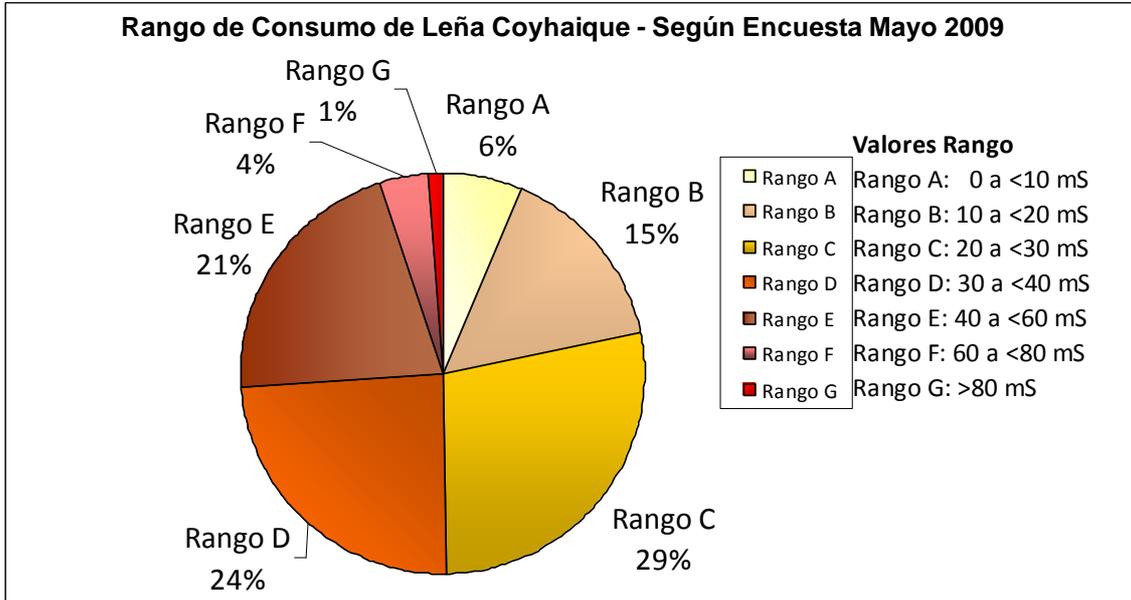


Figura 3-7: Rango de Consumo de leña residencial de Coyhaique, según encuesta EM-2009, en unidades de metro estéreo (MS).

De Figura 3-7, se desprende que prácticamente la mitad de la población encuestada declara consumir entre 20 y 40 MS (también denominado como "metros"). Dicho de otra manera, el 53% de la población se encontraría dentro de los Rango C y D. Por otra parte, un 21% de los encuestados se encuentra dentro del rango de inferior de consumo, comprendido entre 0 y 20 MS. Finalmente, el segmento de mayor consumo corresponde al 26% restante, con una tasa anual entre 40 MS hasta 80 MS.

### 3.2.4 Consumo de Leña Residencial Total en Volumen para Coyhaique.

Considerando que la muestra de consumidores residenciales tiene un error muestral entre 5 y 6% con un intervalo de confianza del 95%, se puede establecer que el consumo total de la ciudad de Coyhaique, tomando como el universo 15,753 viviendas, es en promedio 508,822 MS al año. El rango en el cual se encuentra este promedio varía casi en un 20%, lo que entrega

un intervalo de [411,153 – 606,491] MS, con una confianza del 95%. A continuación, se presenta en Figura 3-8 el gráfico con los rangos inferiores y superiores de consumo por especie en Coyhaique.

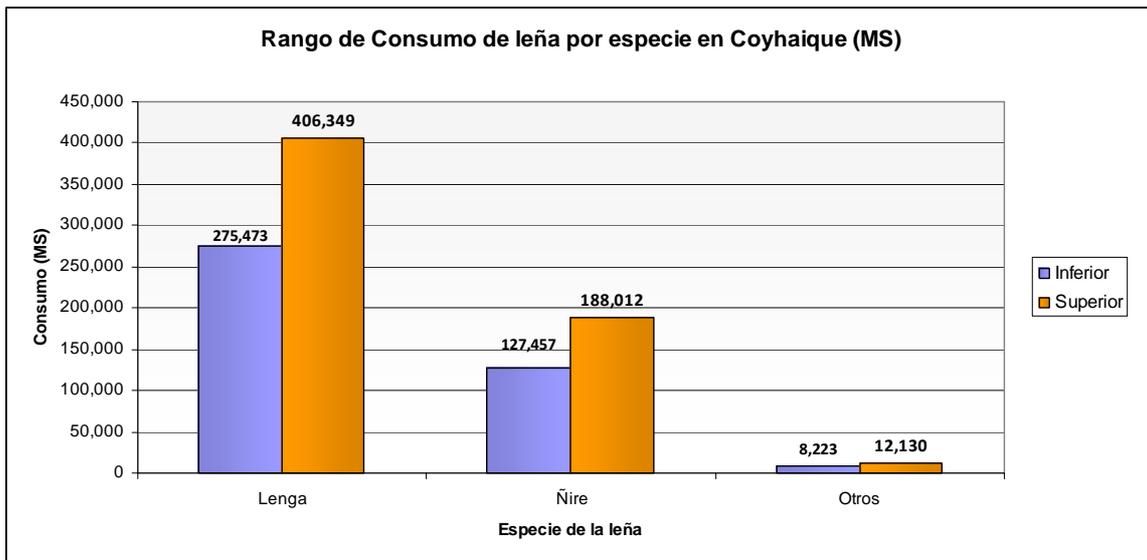


Figura 3-7: Consumo de Leña Residencial Total en volumen y por especies, según encuesta EM-2009.

Sin embargo, cabe señalar que los valores entregados por lo encuestados debieron ser corregidos por los distintos factores presenten en la literatura, ajustando la percepción del consumo a las capacidades de carga de los medios de transporte y llevando las unidades de metro estéreo (MS) a metro cúbico sólido con corteza ( $m^3$  scc). Es por este motivo que las cantidades globales de consumo utilizadas en el Inventario de Emisiones son bastante inferiores a las entregadas por la encuesta (en capítulo IV de caracterización se detallan los métodos de transformación).



### 3.2.5 Motivación del Uso de Combustibles de Madera en los Consumidores Residencial de Coyhaique.

Las tres principales razones que motivan el consumo de combustibles de madera en los hogares de Coyhaique fueron en orden de preferencia:

- Primera Razón: Como se observa en Figura 3-9, un 46% de los encuestados indicó como primera razón para justificar su predilección por la leña por sobre otros combustibles, el hecho de que "calienta más", mientras que un 21% señaló que lo hace por costumbre, el 18% porque es más económica, un 7% la prefiere porque es más fácil de obtener, tan solo un 5% asoció su elección al costo que implica cambiar de equipo y un 1% cree que contamina menos y 2% alude a otras razones.
- Segunda Razón: Las opciones porque "calienta más" y "por costumbre" (31% en ambos casos), ocupan la mayor preferencia como segunda opción para justificar la motivación por el consumo de leña del sector residencial, le siguen las opciones que se asocian a los costos que implica cambiar de equipos (13%), a que es un combustible más económico (11%) y a que es más fácil de obtener (10%). Por último, un 2 % del sector residencial cree que la leña contamina menos, tal como se observa en Figura 3-10.
- Tercera Razón: En Figura 3-11 se presenta la tercera opción que motiva el uso de combustibles de madera en el sector residencial de la ciudad de Coyhaique. Del análisis de esta figura es posible concluir, que entre las principales razones indicadas como tercera razón para justificar la predilección por la leña se encuentran: "Es

costoso cambiar los equipos de combustión" (26%), por costumbre (24%) y porque es un combustible fácil de obtener (21%), el 29% restante se divide entre las opciones "porque calienta más", "porque es más económica", "contamina menos" y "otras".

A continuación en Figura 3-9 a 3-11 se presentan las tres principales razones que motivan el consumo de leña residencial en la ciudad de Coyhaique.

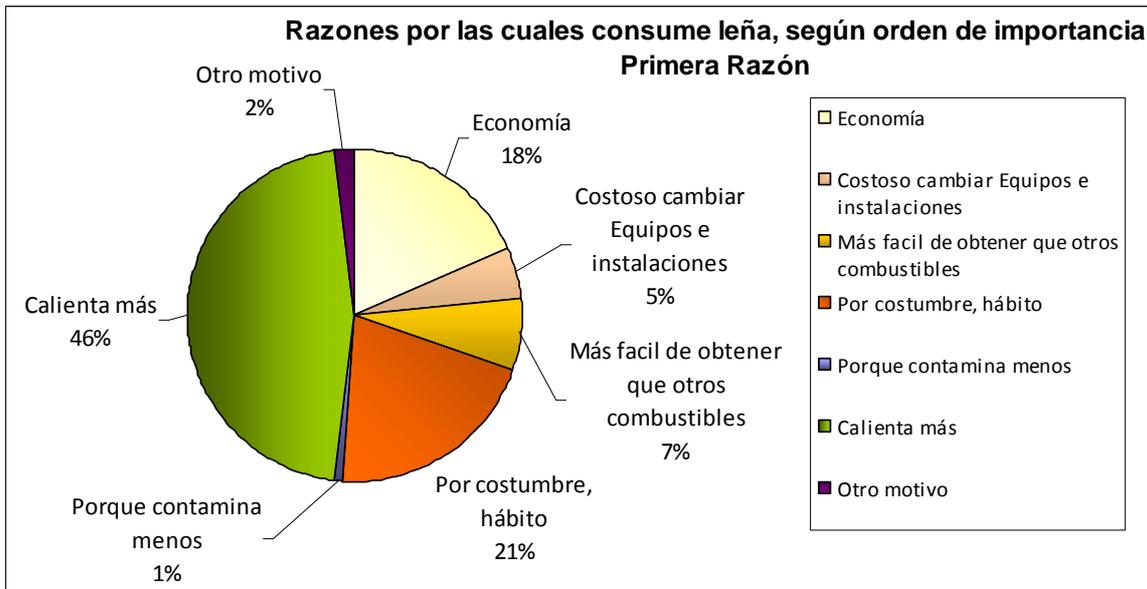


Figura 3-9: Primera Razón que Motiva el Consumo de Leña Residencial en la Ciudad de Coyhaique.

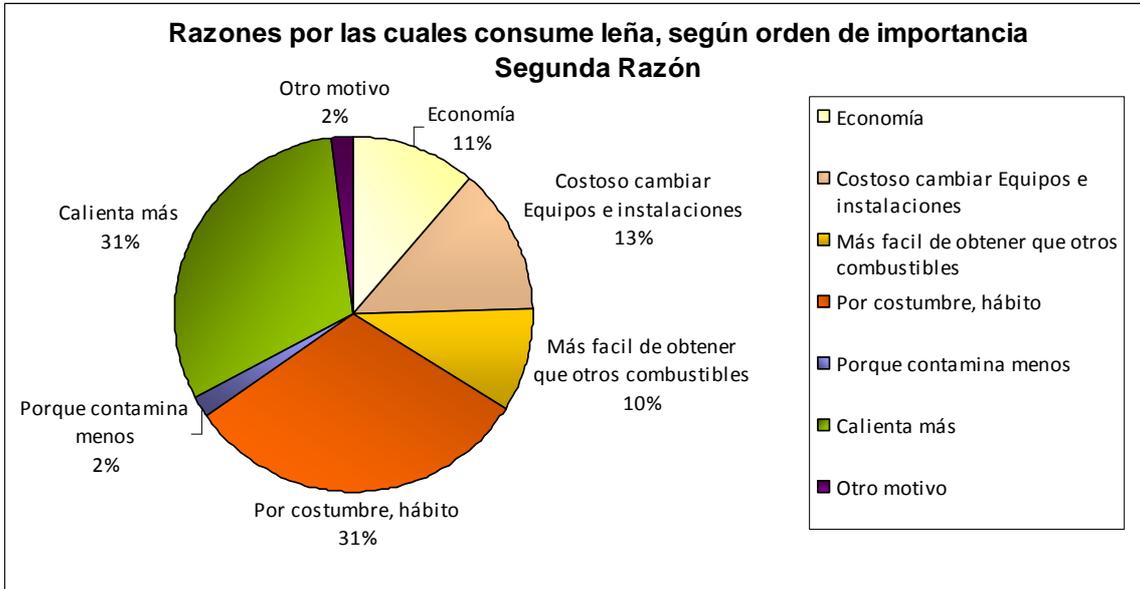


Figura 3-10: Segunda Razón que Motiva el Consumo de Leña Residencial en la Ciudad de Coyhaique.

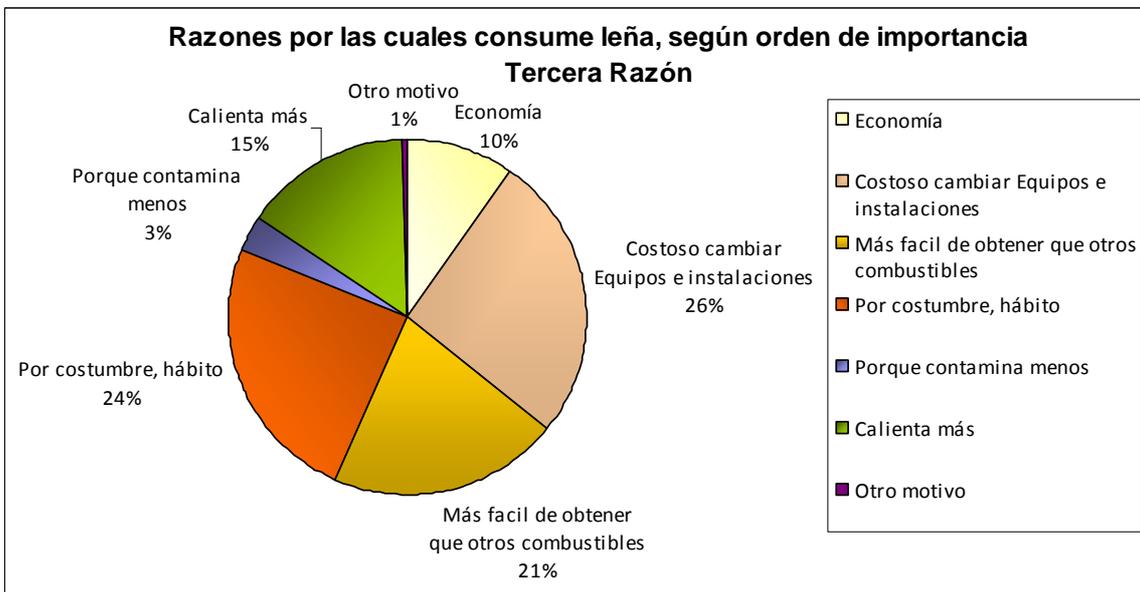


Figura 3-11: Tercera Razón que Motiva el Consumo de Leña Residencial en la Ciudad de Coyhaique.

Por otra parte, los hogares que declararon no ser consumidores de combustibles de madera, expusieron que los motivos para no usar o haber dejado de usar este tipo de combustibles en su mayoría se deben a la falta de espacio para almacenar la leña y a la comodidad.

### 3.2.6 Costos por metro estéreo (MS) de leña para Coyhaique.

En Figura 3-12 se presenta el resultado de los costos por "metro" de leña que los consumidores declararon en la encuesta.

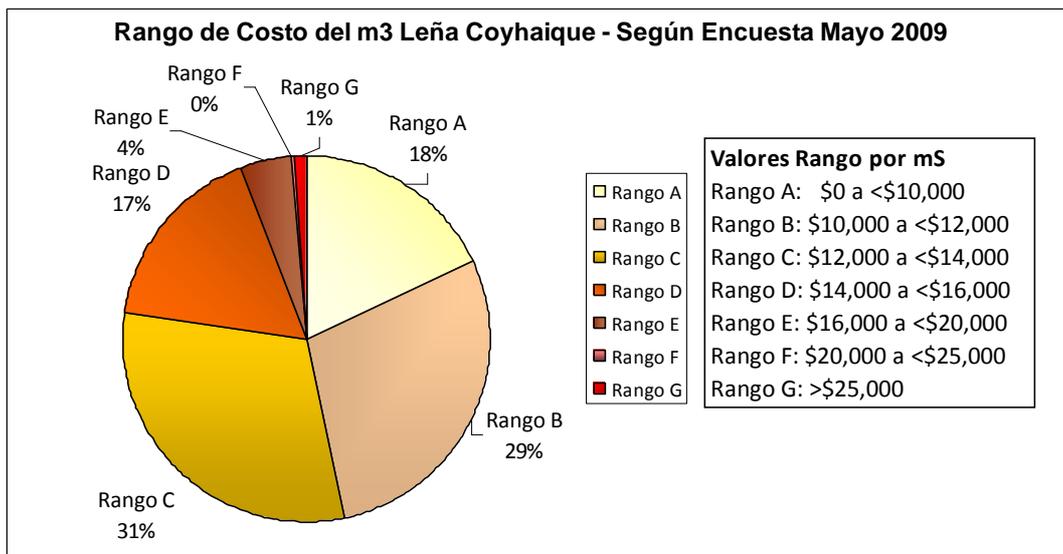


Figura 3-12: Rangos de costos de la leña en Coyhaique por el MS, según encuesta EM-2009.

El costo por "metro" de leña, oscila principalmente entre los \$10,000 y \$16,000 (con un 95%). Variabilidad que depende principalmente de la época del año en que se adquiere el combustible. Según señalaron los consumidores, los precios en verano son más bajos que en el invierno.

El Rango C (comprendido entre \$12 y \$14 mil por metro de leña) es el que



tiene el mayor porcentaje (31%). En segundo lugar se encuentra el Rango B (entre \$10 y \$12 mil) con un 29%. En el caso del intervalo A, cabe señalar que se incluye el costo \$0, ya que existen casos donde el consumidor tenía abastecimiento propio (por ser propietario de algún terreno o por que les eran obsequiados).

### **3.2.7 Distribución por tipo de equipo de Combustión que poseen los consumidores Residenciales.**

Otro dato importante en el análisis de los resultados de la encuesta, es el tipo de equipo que poseen los consumidores en sus hogares. Los factores de emisión utilizados para el Inventario de Emisiones están especificados para: cocina a leña, equipos de combustión lenta y otros como salamandras y chimeneas. Es por este motivo los tipo de artefactos se clasificaron de esta misma manera, para determinar el consumo de leña por artefacto.

En Figura 3-13 se presenta el gráfico de torta con la distribución de propiedad de equipos de combustión a leña. En él, se establecen las diferentes combinaciones de tenencias de artefactos, esto debido a que en un hogar pueden tener uno o varios artefactos de combustión.

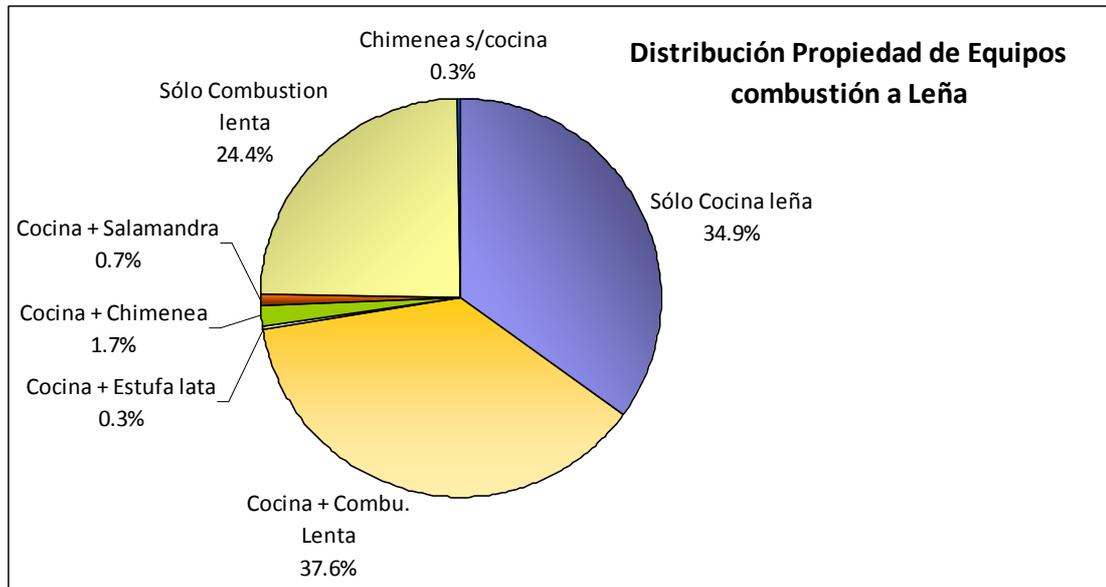


Figura 3-12: Distribución porcentual de la tenencia de equipos por parte de los encuestados.

Del gráfico anterior, se desprende que el 35% de la población posee sólo cocina a leña y 24% sólo lo tiene combustión lenta como únicos equipos de calefacción. También existen las combinaciones entre los distintos equipos tales como: que poseen dos artefactos en el hogar como cocina y combustión lenta (38%) ó cocina más otros como chimeneas y salamandras (2.7%). En resumen un 74% de lo hogares posee una cocina a leña y 65% posee una equipo de combustión lenta. Sólo un 3% posee otros artefactos como chimeneas o salamandras.

### 3.2.8 Antigüedad de los Equipos utilizados a nivel residencial en Coyhaique.

Respecto a la antigüedad de los equipos utilizados de combustión, se puede señalar que en el caso de las cocinas, prácticamente las tres cuartas partes

del universo de cocinas, tiene una antigüedad mayor a los 5 años. Los equipos que más predominan en las residencias de los encuestados son aquellos que tienen entre 5 y 10 años (37%) y aquellos que fueron adquiridos hace más de 10 años (37%) (ambas categorías representan un 74% del total de los equipos), luego siguen los equipos que tienen entre 2 y 5 años de antigüedad con un 23% y finalmente tan solo un 3% posee cocinas adquiridas hace menos de dos años, tal como se muestra en Figura 3-14.

Lo anterior indica que en los consumidores residenciales no se observa un recambio habitual en sus cocinas, ya que mantienen estos equipos durante periodos prolongados, a diferencia de las estufas y equipos de calefacción

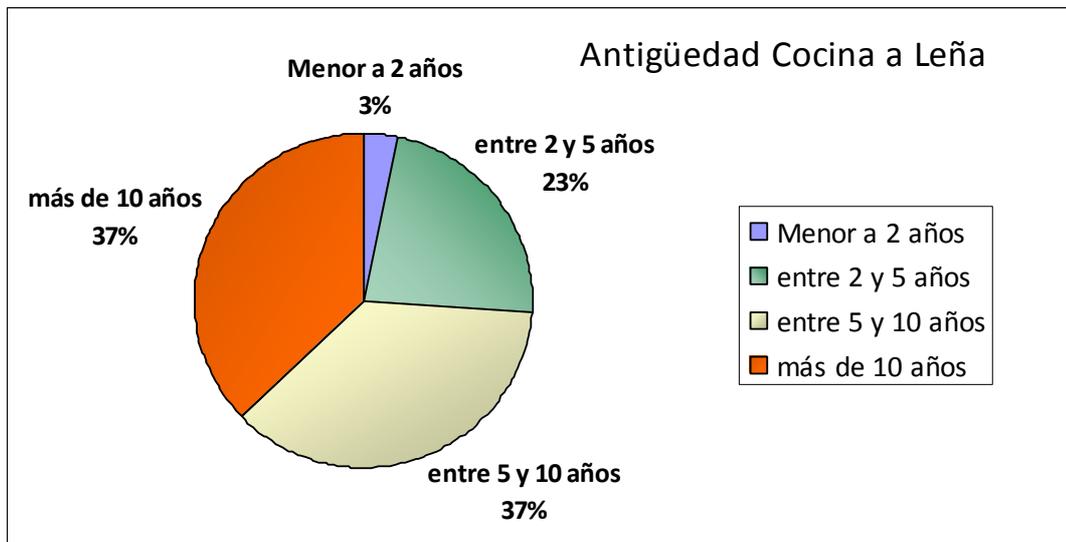


Figura 3-14: Antigüedad de Cocinas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.

Por otro lado, en Figura 3-15 siguiente, vemos que aproximadamente el 50% de las estufas o equipos de combustión lenta poseen una antigüedad menor a los 5 años. Lo que demuestra la tendencia al recambio tecnológico de equipos de calefacción en los hogares de Coyhaique.

En Figura 3-15 se presenta el gráfico de torta con la distribución de la antigüedad de los equipos de combustión lenta.

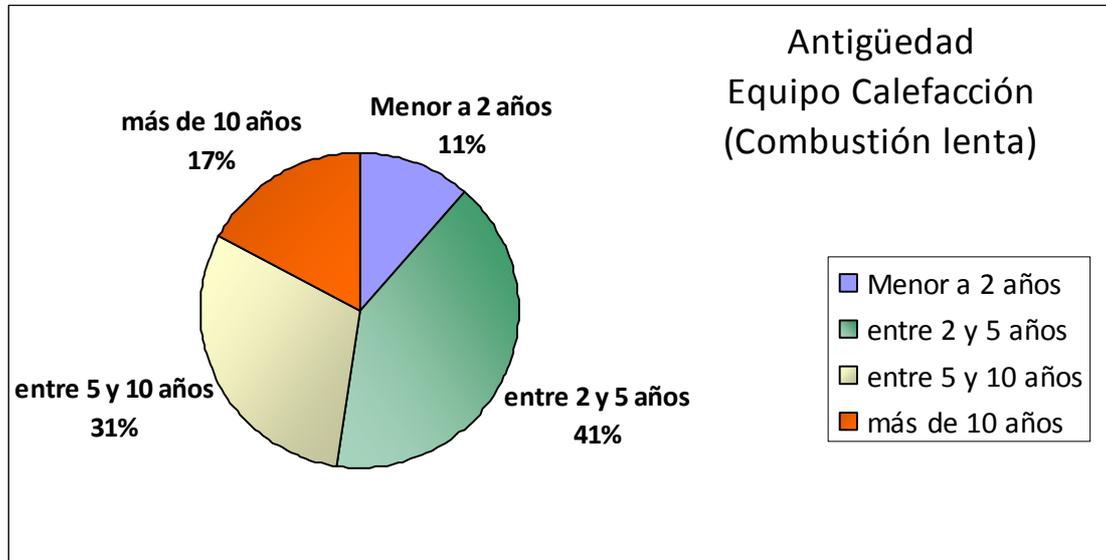


Figura 3-15: Antigüedad de Estufas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.

### 3.2.9 Principales Marcas de Equipos de Combustión utilizados a Nivel Residencial.

Un dato no menos relevante, desde el punto de vista del inventario de emisiones, es el correspondiente a las marcas de los artefactos de combustión, principalmente cocinas y combustión lenta.

En primer lugar, las marcas de cocinas más usadas son Yunke con un 44% de las preferencias del mercado de cocinas, seguida por Amesti<sup>10</sup> y Angol, tal como se muestra en Figura 3-16. En segundo lugar, respecto de las estufas a leña, como vemos en Figura 3-17 las marcas más usadas son

<sup>10</sup> comercializadas en tiendas tales como Casa Alicia.

Amesti, Yunke y Bosca, las que en conjunto representan 58% del total de marcas más usadas.

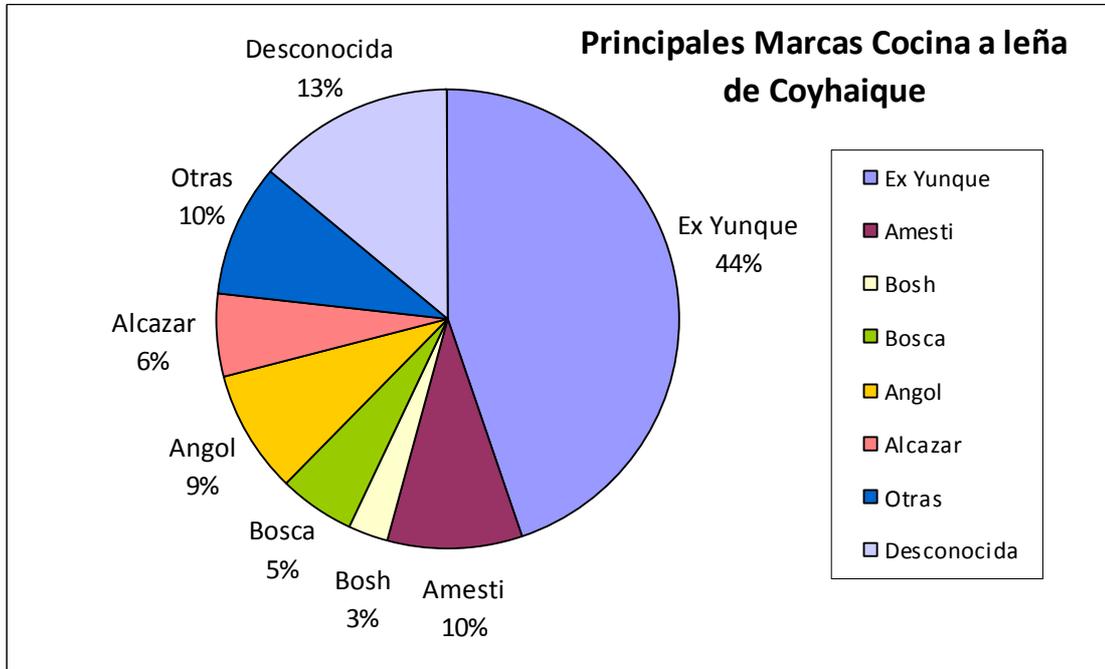


Figura 3-16: Distribución porcentual de las Principales marcas de cocina a leña para Coyhaique.

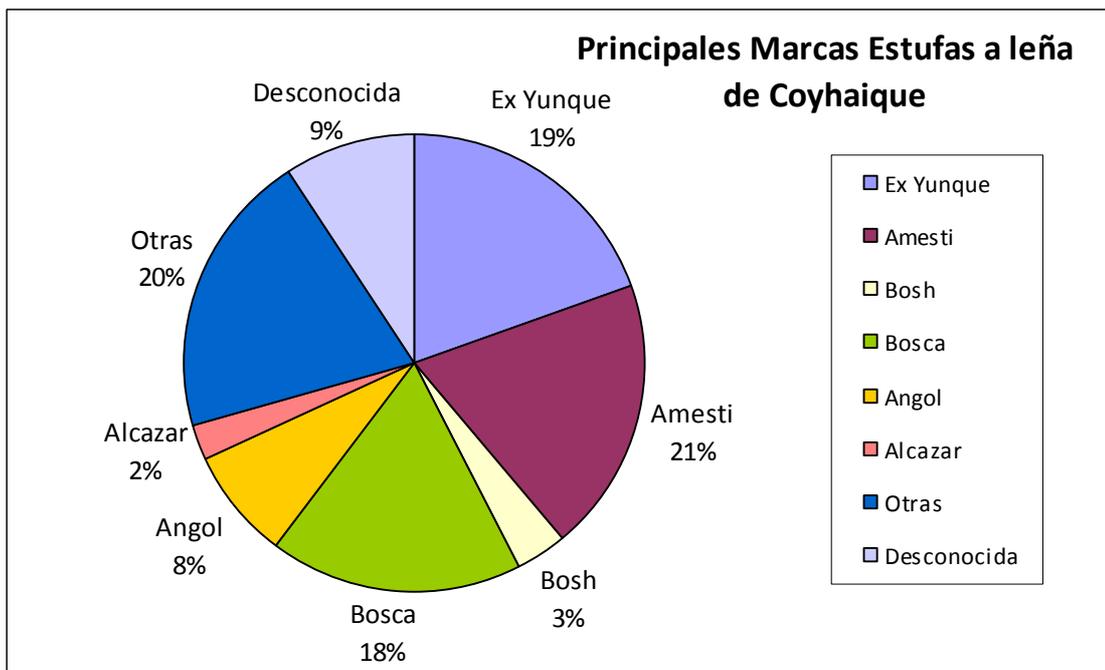


Figura 3-17: Distribución porcentual de las Principales marcas de estufas a leña para Coyhaique.

**3.2.10 Distribución de los Transportes Utilizados en la Comercialización y Traslado de la Leña Consumida por el Sector Residencial.**

Como se dijo anteriormente en la sección de Metodología, la comercialización de la leña se lleva a cabo en base al volumen que es capaz de transportar cada vehículo. Como vemos en Figura 3-18 un 52.8% de los consumidores residenciales compra leña a los transportistas con camiones 3/4, un 24% la adquiere mediante camioneta corta, el 11 % prefiere comprarla a las camionetas denominadas como largas. Finalmente las opciones de transporte con menos preferencia entre los consumidores residenciales se distribuyen entre los camiones largos, las camionetas Kia y la categoría otros con un 8.4, 1.3 y 0.3 % respectivamente.

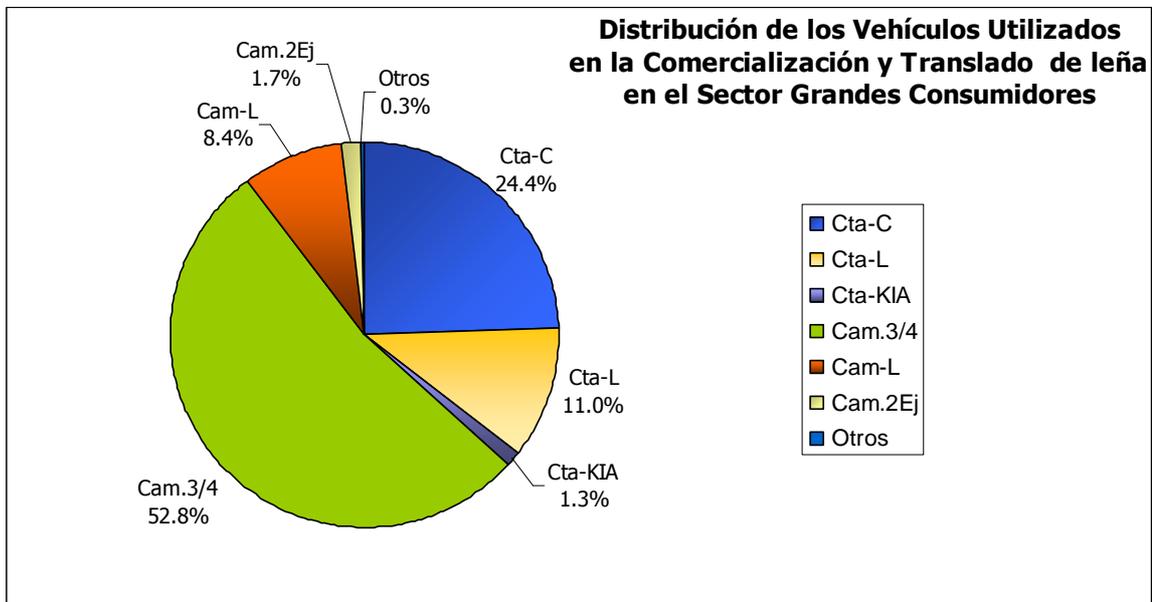


Figura 3-18: Distribución de los Transportes Utilizados en la Comercialización y Traslado de la Leña Consumida por el Sector Residencial.



### **3.2.11 Formalidad de la Adquisición de Leña Consumida en el Sector Residencial.**

La formalidad de la compra de leña en los hogares de la ciudad de Coyhaique se evaluó consultando si recibían algún documento como boleta o factura al realizar la transacción. Los resultados muestran que el rubro es informal ya que la mayor parte de la población no recibe un documento que haga legal su compra.

### **3.2.13 Disposición al Cambio de Combustibles de Madera en el Sector Residencial.**

Respecto de la motivación de los establecimientos a cambiar la leña como combustible, se obtuvo de la encuesta que el 67% No estaría dispuesto a sustituirla y el 33% restante Sí estaría dispuesto, incluyendo a los que lo harían total (17%) o parcialmente (16%), tal como podemos observar en Figura 3-19.

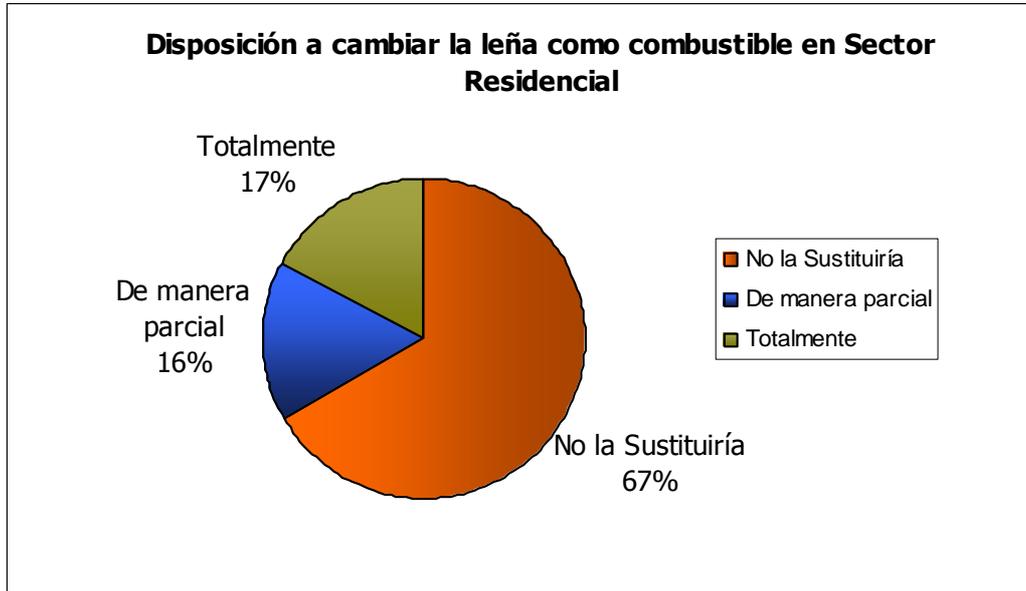


Figura 3-19: Disposición al Cambio de Combustible en el Sector Residencial de Coyhaique.

### 3.3 Resumen de Resultados Sector Residencial

Los principales resultados de la encuesta de consumo residencial son los siguientes:

- Las especies más consumidas como leña son la Lengua y el Ñire, con prácticamente el 98% de la variedad adquirida por los consumidores.
- El consumo que se determinó por medio de la encuesta, corresponde a la percepción del consumidor, de acuerdo a la cantidad de "camionada" o "camionetadas" que adquiere en el año. Por consiguiente, las cantidades obtenidas de la encuesta, en unidades de metro estéreo (MS), deben ser ajustadas mediante factores entregados en la literatura para poder llevarla a metros cúbicos sólidos (m<sup>3</sup>), que es el dato útil para la estimación de las emisiones.



- En términos de consumo de leña se determinó que el 53% de los encuestados se encontraría dentro del rango de 20 a 40 MS. Por otra parte, un 21% de los encuestados se encuentra dentro del rango de inferior de consumo, comprendido entre 0 y 20 MS. Finalmente, el segmento de mayor consumo corresponde al 26% restante, con una tasa anual que se eleva por sobre los 40 mS hasta los 80 MS
- Los precios pagados por los consumidores se encuentran principalmente dentro del rango \$10 mil y \$16 mil por "metro" (equivalente a metro estéreo (MS)).
- Respecto del tipo de artefacto que posee la población, se encontró que el 74% posee una cocina a leña. En forma independiente, los equipos de combustión lenta como primer equipo de combustión tendrían una penetración del 61%. Si consideramos los hogares que poseen dos ó tres de estos equipos, obtenemos que el 4.3% posee una segunda combustión lenta y 0.7% de los encuestados poseen una tercera.
- Las cocinas de fierro presentan una antigüedad superior a los diez años, en cambio las estufas de combustión lenta no superan los cinco años. Lo anterior evidencia el interés de los consumidores por accederla recambio tecnológico.
- Los consumidores residenciales adquieren la leña mayoritariamente en camión  $\frac{3}{4}$  (54%), un 24% la adquiere mediante camioneta corta, el 11 % prefiere comprarla a las camionetas denominadas como largas. Finalmente las opciones de transporte con menos preferencia entre los consumidores residenciales se distribuyen entre los

camiones largos, las camionetas Kia y la categoría otros con un 8.4, 1.3 y 0.3 % respectivamente.

- En el Sector Residencial, se observa una evidente informalidad en la comercialización de la leña, ya que un 98% declara no haber recibido algún documento que acreditara su adquisición.

### **3.4 Sector Grandes Consumidores de Leña.**

El sector Grandes Consumidores está integrado por los subsectores Industrial, Comercial e Institucional. El tamaño de la muestra desagregado por subsectores se presenta a continuación en Tabla 3-5.

Tabla 3-5. Tamaño de la Muestra del Universo Grandes Consumidores considerando los Sectores Industrial, Comercial e Institucional en la Ciudad de Coyhaique.

<b>Sectores</b>	<b>Tamaño de la Muestra (Número de Establecimiento por Sector)</b>
<b>Industrial</b>	<b>18</b>
<b>Comercial</b>	<b>61</b>
<b>Institucional</b>	<b>49</b>
<b>TOTAL</b>	<b>128</b>



En Tabla 3-6 siguiente, se presentan los rubros seleccionados por cada uno de los subsectores (Industrial, Comercial e Institucional), la distribución de la muestra en cada subsector y el universo total que existe para cada uno de ellos.

Tabla 3-6. Actividades Productivas Consumidoras de Combustibles Fósiles y de Madera Encuestadas.

SECTOR	CIU Actividad Productiva	Nº Establec <sup>11</sup> . del Rubro	Nº Establec. Encuestados	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO
<b>Industrial</b>	31115	2	1	Fabricación de Cecinas
	31121	2	1	Fabricación de Productos Lácteos
	31171	16	8	Fabricación de Pan y derivados
	36911	2	1	Fabricación de Cerámicas y Ladrillos
	32132	2	3	Lavanderías y Tintorerías
	34204	7	1	Imprenta y encuadernación
	38197	2	2	Fabricación de Productos Metálicos
	420018	1	1	Captación y Purificación de Agua
<b>Comercial</b>	61311	12	2	Productos alimenticios
	61511	1	1	Distribuidores de gas
	61911	8	3	Comercio Mayorista no clasificado
	62103	75	5	Supermercados
	62121	35	1	Carnicerías
	62162	63	2	Fruterías
	62524	160	4	Bazar, Paquetería y cordonería
	62538	20	1	Ferretería
	62541	5	1	Florería
	62547	13	3	Librería
	62570	18	7	Comercio por menor no clasificado
	63111	97	9	Restoranes, bar, club, pizzería
	63211	17	7	Hoteles, hostería, moteles, cabañas
	63212	24	11	Residencial, Casa de Pensión
95911	33	4	Peluquerías y Salones de belleza	
<b>Institucional</b>	71121	6	2	Trasporte de pasajeros
	71141	6	1	Transporte de carga por carretera
	71911	13	2	Agencia de Turismo
	72001	41	2	Servicios de comunicación
	81011	10	3	Bancos
	91001	77	37	Serv. de Gobierno no clasificados
	93101	9	3	Enseñanza Escuelas Primarias y Secundarias
	93103	7	1	Jardines Infantiles, párvulos
	93106	4	1	Instit. técnicos, profesionales y universidades
	93312	5	2	Hospitales, sanitarios y similares
	94131	9	2	Emisiones de Radio y Televisión

<sup>11</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004

Las secciones siguientes presentan los resultados de las principales consultas realizadas en la encuesta aplicada al Sector Grandes Consumidores, la que apuntó a la caracterización tanto del consumo de leña como a la caracterización de los artefactos utilizados para la combustión.

### 3.4.1 Tipo de Leña consumida en el Sector Grande Consumidores en Coyhaique.

La distribución porcentual por especies de leña para el sector Grandes Consumidor se presenta a continuación en Figura 3-20. En esta imagen podemos ver que un 75% prefiere usar leña de lenga, el 23% utiliza Ñire y el 2% restante compra pino u otras especies.

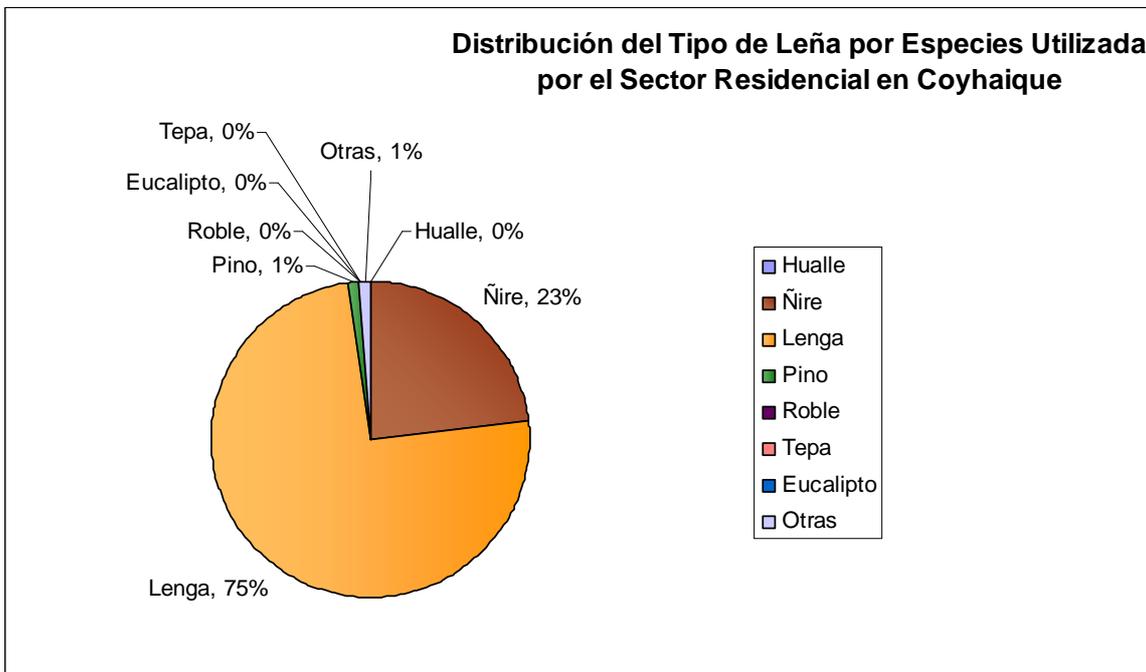


Figura 3-20 Distribución del Uso de leña por tipo de especies utilizadas por los Consumidores Residenciales de Coyhaique.

### 3.4.2 Consumo Total de Combustibles de Madera Según Subsectores Industrial, Comercial e Institucional en Coyhaique.

La determinación de la distribución del consumo de leña en el Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, al igual que en el Sector Residencial, se realizó mediante la adopción de intervalos o rangos de consumo en Metros Estéreo (MS).

De esta manera se logró determinar el porcentaje de consumo de cada establecimiento representado por cada rango. El resultado de este análisis se presenta en Figura 3-21 siguiente.

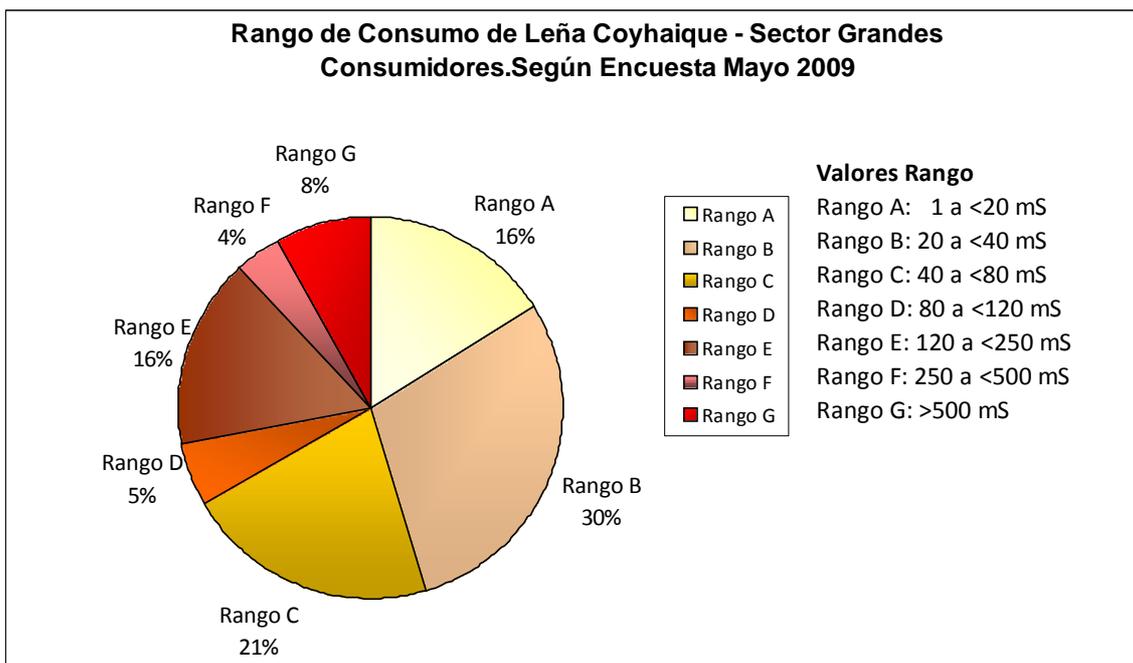


Figura 3-21 Rango de Consumo de leña en el Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, según encuesta EM-2009, en unidades de metro estéreo (MS).

Del análisis de la figura anterior, se desprende que prácticamente un 30% de los establecimientos encuestados declaró consumir entre 20 y 40 MS

(también denominado como "metros"). Un 21% se ubica en el rango C (20 y 40 MS), mientras que un 16% consume de 1 a 20 MS en su establecimiento, Rango A.

Finalmente, el segmento de mayor consumo (Rangos D, E, F y G) correspondería al 33% restante. Estos establecimientos tendrían una tasa anual de consumo que fluctuaría entre 80 MS y más 500 MS.

### 3.4.3 Costos del Metro Estéreo (MS) de leña pagado por los Establecimientos Pertencientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique.

En Figura 3-22, se presenta el rango de precios pagados en el sector de grandes consumidores. De esta figura se desprende que casi el 91% de los precios pagados fluctúan entre \$10,000 y \$16,000.

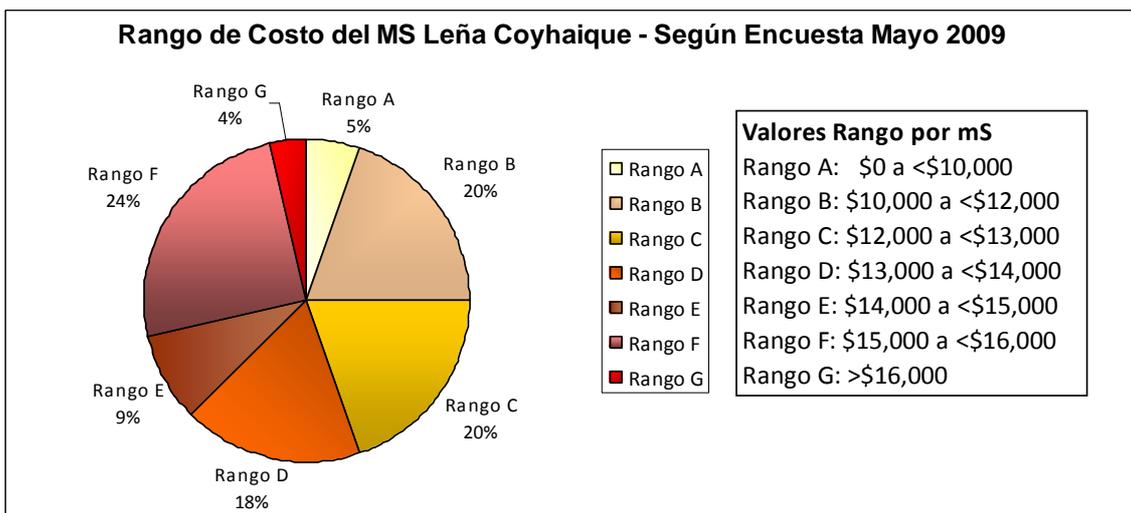


Figura 3-22: Costo por Metro Estéreo (MS) de Leña Pagado por el Sector Grandes Consumidores de la Ciudad de Coyhaique.

**2.3.4 Distribución por Tipo de Equipos de Combustión utilizados en el Sector Grandes Consumidores en Coyhaique.**

Como vemos en Figura 3-23, la mayor parte de los equipos utilizados por el Sector Grandes Consumidores corresponde a las estufas de combustión lenta (62%), seguidas por las calderas, las que representan un 27% del total de equipos usados. En tanto, el 11% restante de los dispositivos se divide entre los hornos, cocinas, salamandras y chimeneas.

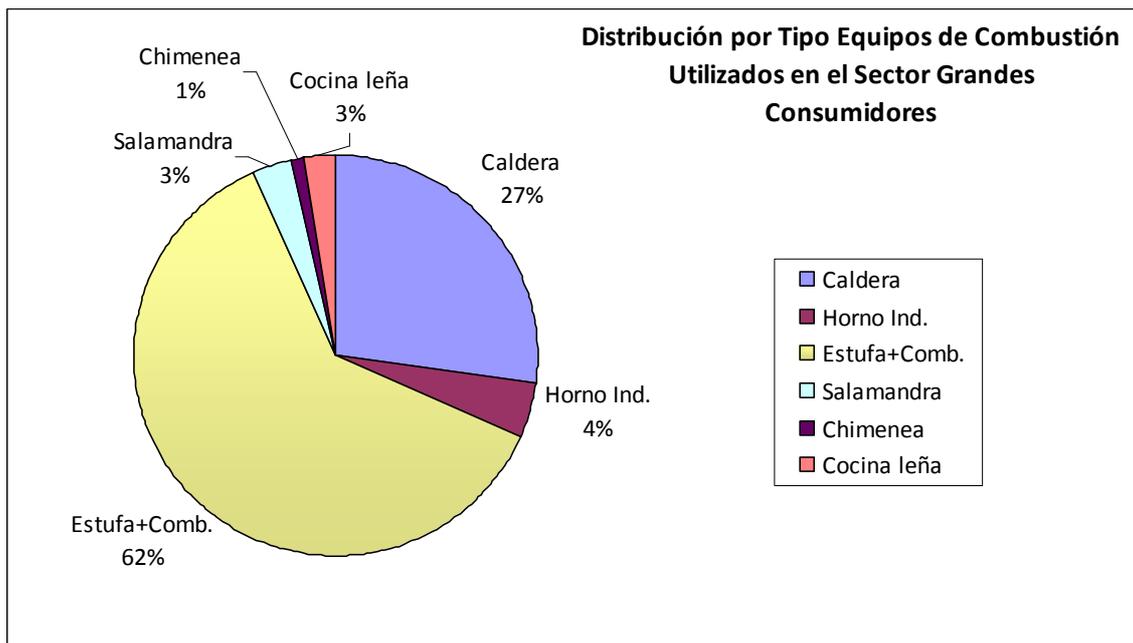


Figura 3-23: Distribución por Tipos de Equipos de Combustión Utilizados en el Sector Grandes Consumidores de la Ciudad de Coyhaique.

### 3.3.5 Distribución de los Transportes Utilizados en la comercialización y Traslado de Leña por los Grandes Consumidores en Coyhaique.

Como es posible observar en Figura 3-24, el 40% del volumen de la leña adquirida por los consumidores del Sector Grandes Consumidores, llega a los establecimientos mediante camión 3/4, le siguen en orden de preferencias el camión largo y camión corto, con un 25 y 15% respectivamente, luego las camionetas corta y larga, en suma con un 8%. Los resultados anteriores indicarían que en el Sector Grandes consumidores, al contrario de los residenciales, la leña se adquiere en grandes volúmenes.

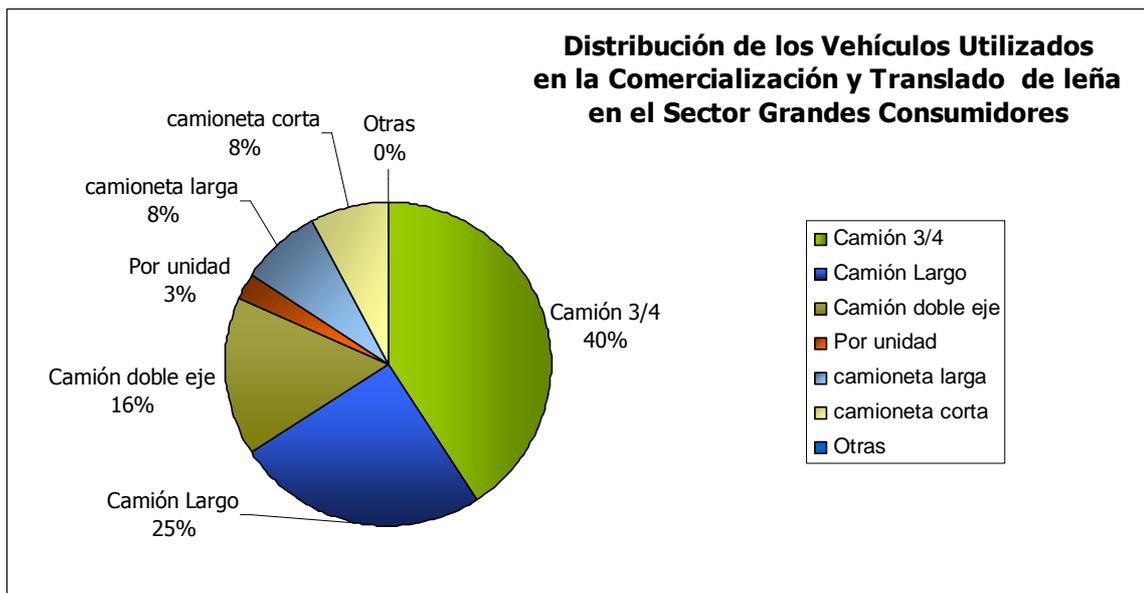


Figura 3-24: Distribución de los Vehículos Utilizados en la Comercialización y Traslado de Leña en el Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique.

**3.3.6 Formalidad de la Adquisición de Leña en los Establecimientos Pertencientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique.**

A diferencia del Sector Residencial, en el Sector Grandes Consumidores se observa una mayor formalidad en la compra de leña, ya que un 49% de los organismos encuestados declaró recibir algún documento, el 3% indicó que "casi siempre" le entregan una boleta o factura al realizar la transacción, mientras que el 1% rara vez recibe un comprobante. El 49% restante declara que nunca recibió un documento que acredite su compra tal como se observa en Figura 3-25 siguiente.

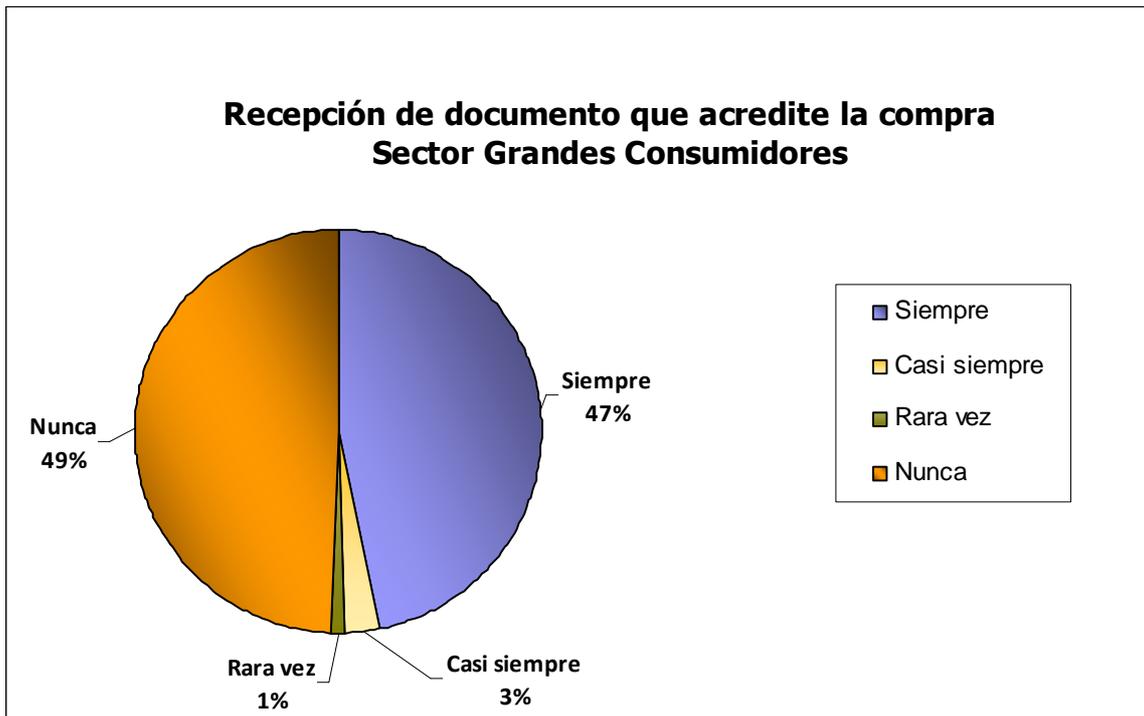


Figura 3-25: Recepción de Documento que Acredite la Compra de Leña en el Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique.

### 3.3.7 Mecanismos de la Adquisición de Leña en los Establecimientos Pertencientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique.

La forma de adquisición de la leña en el Sector Grandes consumidores se realiza aproximadamente en un 31% a través de un solo proveedor, un 25% lo hace a través varios proveedores y un 22% realiza la compra mediante licitación pública o a través de otras formas (ver Figura 3-26). En general los establecimientos que realizan la compra de leña mediante proceso de licitación son en su gran mayoría instituciones estatales.

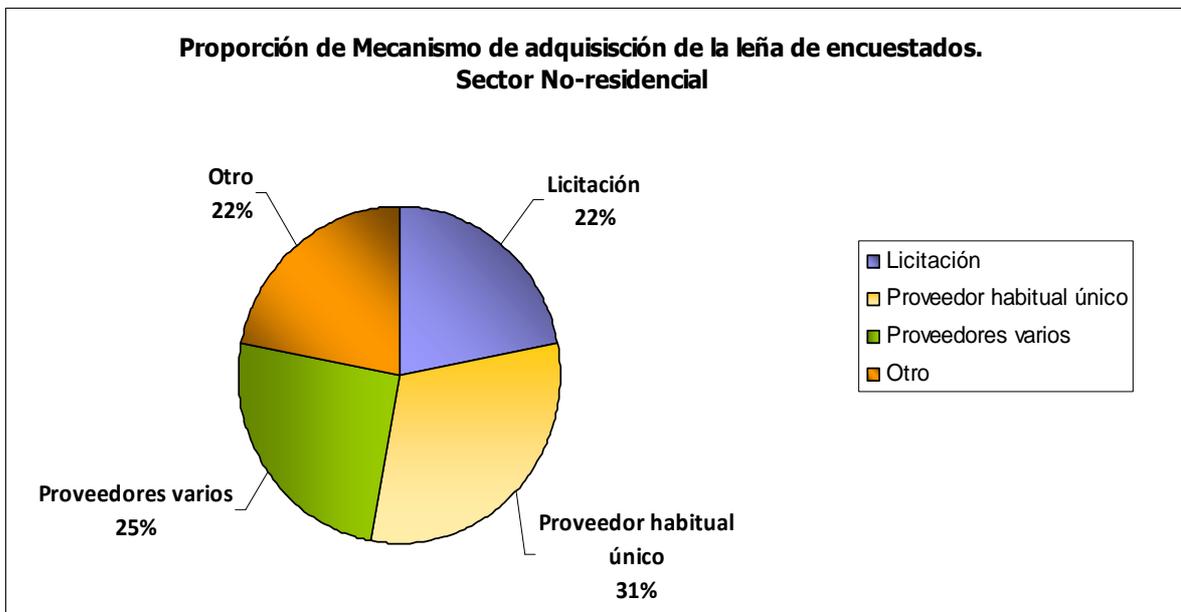


Figura 3-26: Mecanismos de adquisición de leña en los establecimientos pertenecientes al Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique.

### 3.3.8 Distribución del Uso de las Diferentes Fuentes Energéticas Utilizadas en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores de de Coyhaique

En el Sector Grandes Consumidores, además de la leña se utilizan otros combustibles tales como: Petróleo, Gas Licuado, Parafina y Electricidad. Aunque, como vemos en Figura 3-27 la leña sigue siendo el combustible más utilizado en un 41% de los establecimientos, seguida luego por el gas licuado con un 39%, el resto de la distribución porcentual se encuentra integradazo otros combustibles tales como la parafina, el diesel y la electricidad los que son usados en un 9, 6 y 5% de los establecimientos respectivamente.

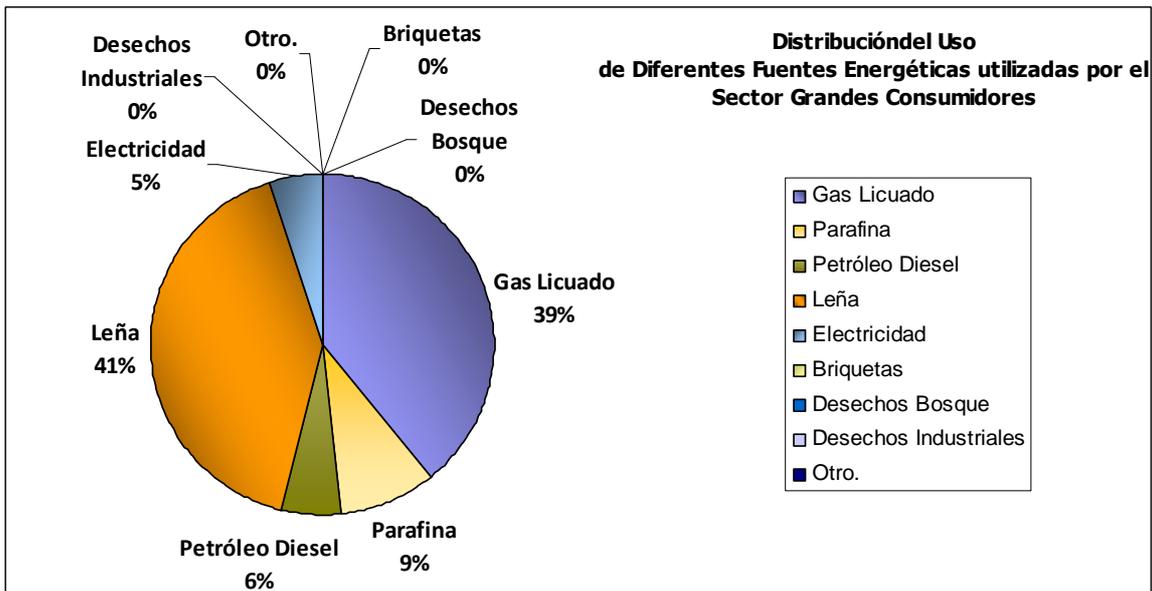


Figura 3-27: Distribución del Uso de Diferentes Fuentes Energéticas Utilizadas en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores de la Ciudad de Coyhaique.

**2.3.9 Disposición al Cambio de Combustibles de Madera en los Establecimientos Pertenecientes al Sector Grandes Consumidores en Coyhaique.**

Respecto de la motivación de los establecimientos a cambiar la leña como combustible, se obtuvo de la encuesta que el 66% No estaría dispuesto a sustituirla y el 34% restante Sí estaría dispuesto, incluyendo a los que lo harían total (25%) o parcialmente (9%), tal como podemos observar en Figura 3-28,

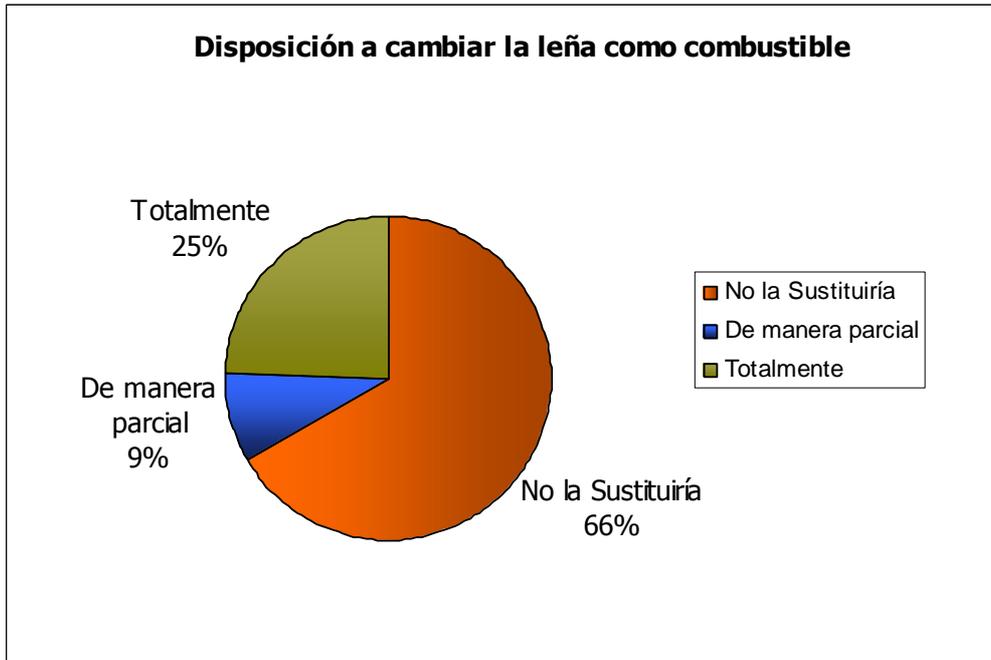


Figura 3-28: Disposición al cambio de combustibles de madera en el Sector Grandes Consumidores de la ciudad de Coyhaique.

Del 66% de los establecimientos encuestados, que utilizan leña, señala que no sustituiría los combustibles de madera señalando, dando como motivos principales los siguientes:



- Por requisito del equipo: 9%
- Por requisito de proceso: 2%
- Por precio, más barato: 30%
- Por abastecimiento propio: 5%
- Fácil de obtener: 12%
- Mayor poder calórico: 42%

Se entiende de este resultado que prácticamente la mitad de los que no sustituirían la leña, lo hace por su poder calorífica y otro porcentaje importante no cambia porque les sale más barato usar leña.

Del 34% restante, que si esta dispuesto a sustituir la leña, encontramos que 26% de los establecimientos del Sector Grandes Consumidores encuestados, señaló que estarían dispuestos a reemplazar la leña de manera parcial, mientras que el 74% la reemplazaría totalmente.

Dentro de las razones que motivan la sustitución de la leña a los encuestados son las siguientes:

- Por precios, Caros: 38%
- Por cambio de tecnología 38%
- las razones ambientales 25%
- Por dificultad en abastecimiento: 0%
- Por seguridad, evitar abastecimiento: 0%
- Falta de espacio para almacenar: 0%

Dentro del porcentaje que reemplazaría la leña, las principales motivaciones están, en orden de prioridad: precios, cambio tecnología y razones ambientales.



Respecto de la pregunta que busca estimar los plazos en los cuales los consumidores sustituirían el combustible de madera, se obtuvo que un 39% lo haría en un plazo de 1 a 2 años, mientras que un 55% lo haría en un lapso igual o mayor a 3 años.



## CAPÍTULO IV

# CARACTERIZACIÓN FUENTES EMISORAS DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS IDENTIFICADAS EN LA ZONA DE COYHAIQUE

### 4.1 Introducción.

En este Capítulo se presenta la caracterización de las diferentes fuentes emisoras de contaminantes consideradas para la elaboración del inventario de emisiones de la ciudad de Coyhaique.

Se entiende por caracterización, el identificar las propiedades y características de las diferentes fuentes emisoras de Coyhaique. Dentro de estas propiedades o características podemos mencionar el consumo de combustible, frecuencia y tiempo de operación, tipos de equipos y/o dispositivos, distancia recorrida, etc.

Las diferentes emisoras de la ciudad de Coyhaique, fueron agrupadas en las siguientes tres categorías:

- Fuentes Fijas de Área y Puntuales,
- Fuentes Móviles, y
- Fuentes Fugitivas.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de estas categorías de clasificación de fuentes emisoras.



a) **Fuentes Fijas de Área:** Éstas corresponden a las fuentes que, debido a su naturaleza, no es posible tratar de manera individual, ya que sus emisiones no están localizadas con precisión en un punto, sino que más bien cubren un área o zona. En esta categoría se encuentran subcategorías de fuentes tales como:

- Residenciales: Son todas aquellas fuentes asociadas a la actividad doméstica o residencial, dónde es posible distinguir uso de combustibles, como la leña, para calefacción y/o cocción de alimentos. Esta subcategoría, corresponde a la principal fuente emisora, siendo responsable de más el 90% de las emisiones de Material Particulado.
- Otras: Esta categoría contempla las fuentes de área no clasificadas en los puntos anteriores, aquí se incluyen actividades como las emisiones biogénicas,

b) **Fuentes Fijas Puntuales:** Estas fuentes corresponden a aquellas que descargan gases y partículas a la atmósfera a través, de ductos o chimeneas. Por ejemplo, establecimientos comerciales (restaurantes, panaderías, etc.), Industrias que posean procesos de combustión con equipos tales como calderas y hornos, entre otros.

c) **Fuentes Móviles en Ruta y Fuera de Ruta:** Son aquellas que incluyen diversos tipos de vehículos con motor de combustión interna. Este tipo de fuentes se clasifica de acuerdo al tipo de operación en dos grupos:

- Vehículos en Ruta:



- Carga (camiones y vehículos comerciales).
  - Transporte de pasajeros (buses y taxis).
  - Particulares (vehículos livianos y motocicletas).
- 
- Vehículos fuera de Ruta:
    - Maquinaria agrícola.
    - Maquinaria pesada y de construcción.
- d) **Fuentes Fugitivas o Difusas:** Esta clase de fuentes considera aquellas que, dada su naturaleza, no son controladas o lo son parcialmente con efectividad variable y donde la emisión se genera en forma esporádica, dependiendo de la naturaleza y condiciones de operación. Ejemplos de fuentes fugitivas de material particulado son los siguientes:
- Incendios y quemas agrícolas, las que en localidades como Coyhaique, con entorno rural y agrícola, puede llegar a ser una importante fuente de material particulado respirable.
  - Erosión Eólica: Corresponde a áreas o sitios eriazos cuya superficie se encuentra expuesta al proceso erosivo del viento.
  - Construcción: Se relaciona a emisiones fugitivas asociadas a actividades de construcción de caminos y edificios (habitacionales, industriales y comerciales).
  - Emisiones de Polvo resuspendido: Concierno a aquellas emisiones vinculadas a la resuspensión de polvo fino contenido en la superficie de calles pavimentadas y no



pavimentadas, producto de la circulación de vehículos.

- También se considerarán las emisiones evaporativas de gases relacionados con la carga y manejo de combustible en estaciones de servicio, entre otras.

En Tabla 4-1, se presentan las fuentes emisoras identificadas en la zona de Coyhaique e incluidas en este inventario de emisiones atmosféricas. Como vemos en esta tabla se incluyen las categorías: Fuentes Fijas Areales, Fuentes Fijas Puntuales, Fuentes móviles y Fuentes Fugitivas. En la sección siguiente se analizan en detalle cada uno de estos grupos de fuentes para Coyhaique.



Tabla 4-1: Fuentes emisoras que se incluirán en Inventario de Emisiones Atmosféricas de Coyhaique.

<b>I. a) FUENTES FIJAS AREALES</b>	<b>Fuentes Residenciales</b>	<b>Combustión Residencial y Comercial</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Leña</li><li>• Kerosene</li><li>• Gas</li></ul>
<b>I. b) FUENTES FIJAS PUNTUALES</b>	<b>Industrias y Servicios</b>	Total Industrias y Servicios que hayan declarado sus emisiones según el D.S N°138 en la Ciudad de Coyhaique. Sumado a las que fueron consultadas en encuestas de mayo del 2009
<b>II. FUENTES MÓVILES</b>	<b>Fuentes Móviles en Ruta</b>	<b>Vehículos livianos y Pesados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Vehículos Livianos Particulares.</li><li>• Vehículos Livianos Comerciales.</li><li>• Vehículos de Alquiler.</li><li>• Taxis Colectivos.</li><li>• Buses de Transporte Público.</li><li>• Buses de Transporte Interurbano y Rural.</li><li>• Camiones livianos, medianos y pesados.</li><li>• Motocicletas.</li></ul>
	<b>Fuentes Móviles Fuera de Ruta</b>	<b>Maquinarias Pesada</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Maquinaria Vehicular Agrícola.</li><li>• Maquinaria Vehicular Pesada y de Construcción.</li></ul>

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 4-1: Fuentes emisoras que se incluirán en Inventario de Emisiones de Coyhaique (Continuación).

<b>III. FUENTES FUGITIVAS</b>	<b>Quemas e Incendios</b>	<b>Quemas Agrícolas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Quemas Agrícolas Legales</li><li>• Quemas Agrícolas ilegales</li></ul>
		<b>Incendios</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Forestales</li><li>• Urbanos</li></ul>
	<b>Construcción y Demolición</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Construcción de Edificios y Caminos</b></li></ul>
	<b>Evaporativas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Expendio de Combustibles en Estaciones de Servicio</b></li></ul>
	<b>Polvo Resuspendido</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Calles Pavimentadas</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Calles No Pavimentadas</b></li></ul>		

Fuente: Elaboración Propia



## **4.2 Fuentes Fijas Tipo Área.**

A continuación se presenta la información resultante para la caracterización de los equipos de combustión residencial utilizados en Coyhaique, recopilada a través de la realización de la encuesta "Demanda de Leña y Caracterización de Equipos de Calefacción en la Ciudad de Coyhaique" presentada anteriormente en Capítulo III. Esta encuesta fue llevada a cabo con el objetivo de determinar el consumo de leña y caracterizar los principales equipos de calefacción usados en esta ciudad, para poder elaborar un inventario de emisiones de MP10, MP2.5, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y otras sustancias de interés, para la ciudad de Coyhaique tales como Dioxinas y Furanos, entre otros componentes tóxicos que se derivan de la combustión de la madera.



#### **4.2.1 Caracterización de Equipos de Combustión residencial.**

La caracterización de los equipos de combustión utilizados por los consumidores residenciales de Coyhaique, se obtuvo del análisis de los resultados de la encuesta realizada por el equipo consultor durante el mes de Mayo del año 2009.

Conocer el o los tipos de equipos utilizados para cocinar o calefaccionar es fundamental para la estimación de las emisiones, ya que los factores de emisión se han desarrollado en forma específica para cocinas a leña, equipos de combustión lenta y para otros tales como salamandras y chimeneas. Por este motivo los artefactos se clasificaron para estas mismas categorías, determinándose el consumo de leña por artefacto.

En Figura 4-1 se presenta el gráfico de torta con la distribución por tipo de equipos de combustión a leña caracterizados mediante la encuesta. En esta figura, se establecen las diferentes combinaciones de artefactos usados, ya que en un hogar pueden tener uno o varios artefactos de combustión.

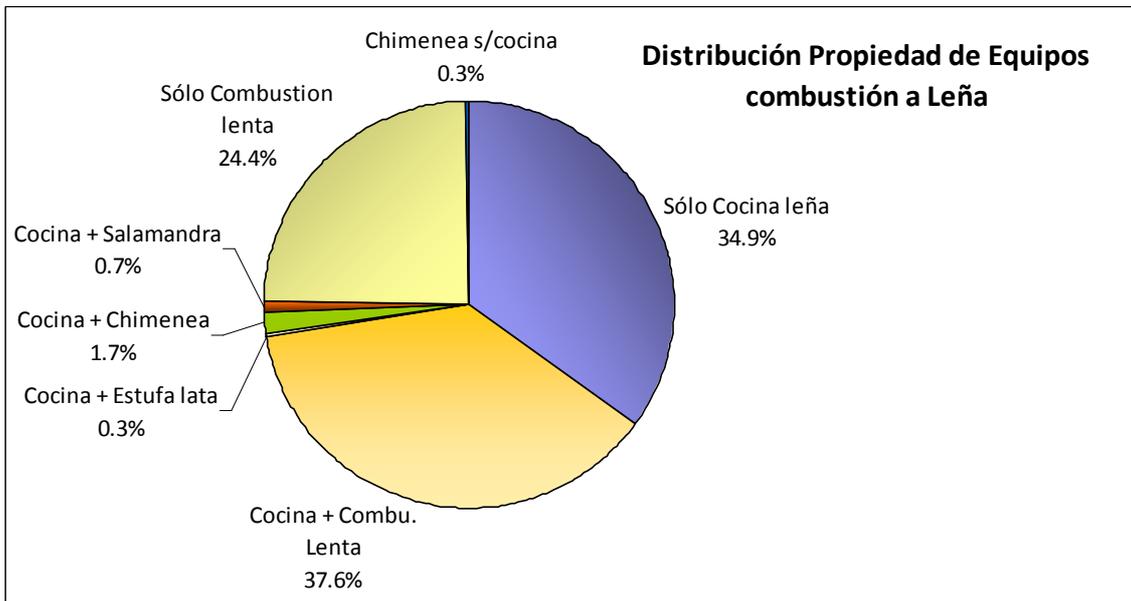


Figura 4-1: Distribución porcentual de la tenencia de equipos por parte de los encuestados.

Del gráfico anterior, se desprende que el 35% de la población posee sólo cocina a leña y 24% sólo lo tiene combustión lenta como únicos equipos de calefacción. También hay hogares en los que existen las combinaciones entre los distintos equipos, estos poseen dos artefactos en el hogar como cocina y combustión lenta (38%) ó cocina más otros como chimeneas y salamandras (2.7%). En resumen un 74% de lo hogares posee una cocina a leña y 62% posee a lo menos un equipo de combustión lenta. Sólo un 3% posee otros artefactos como chimeneas o salamandras.

De los resultados obtenidos de la distribución de equipos, es posible estimar la cantidad de equipos de combustión presentes en Coyhaique, los que alcanzarían un total levemente superior a 22,500 "unidades", de acuerdo a lo presentado en Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Cantidad de Equipos de combustión residencial de Coyhaique, estimados sobre base de encuesta.

<b>Equipo de Combustión</b>	<b>Cantidad de Encuestados</b>	<b>% Equivalente</b>	<b>Cantidad de Equipos Totales</b>
Cocina a Leña	222	74%	<b>11,671</b>
Estufa de Lata	1	0.3%	<b>52</b>
Chimenea	10	2.0%	<b>314</b>
Salamandra	2	0.7%	<b>105</b>
Combustión Lenta (1) <sup>a</sup>	183	60.8%	<b>9,577</b>
Combustión Lenta (2)	13	4.3%	<b>680</b>
Combustión Lenta (3)	2	0.7%	<b>105</b>
	<b>433</b>		<b>22,504</b>

<sup>a</sup> Se consideran Combustión Lenta 1, 2 y 3, atendiendo a la razón que en una casa puede existir una segunda e incluso una tercera estufa.

Los resultados de Tabla 4-2, muestran que las cocinas a leña alcanzan un total de 11,671 unidades, mientras que los equipos de combustión lenta alcanzarían un total aproximado de 10,300 unidades.

Respecto de la antigüedad de los equipos utilizados para combustión, se puede señalar que en el caso de las cocinas, prácticamente las tres cuartas partes del universo de cocinas, tiene una antigüedad mayor a los 5 años. Siendo las mayores de 10 años un 37% del total, tal como se muestra en Figura 4-2.

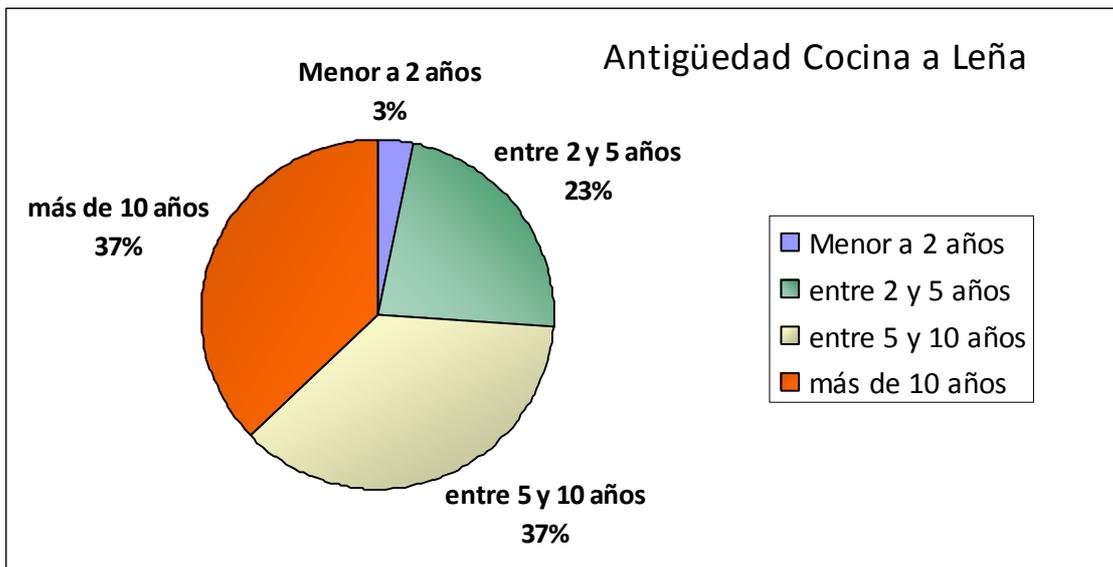


Figura 4-2: Antigüedad de Cocinas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.

Por otro lado, tal como vemos en Figura 4-3 siguiente, aproximadamente el 50% de las estufas o equipos de combustión lenta poseen una antigüedad menor a los 5 años. Lo que demuestra la tendencia al recambio tecnológico de equipos de calefacción en los hogares de Coyhaique.

En Figura 4-3 se presenta el gráfico de torta con la distribución de la antigüedad de los equipos de combustión lenta.

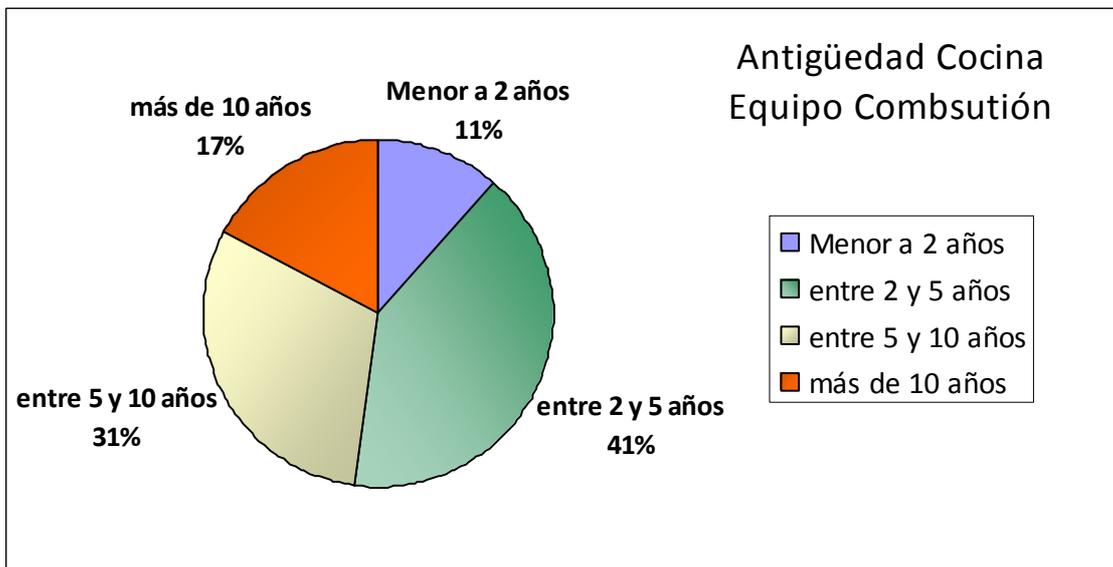


Figura 4-3: Antigüedad de Estufas a Leña, según propietarios encuestados en Coyhaique.

Un dato menos relevante, desde el punto de vista del inventario de emisiones, es el correspondiente a las marcas de los artefactos de combustión, principalmente cocinas y combustión lenta.

En primer lugar, la marca más usada de cocinas es la Yunke, seguida por Amesti y Angol, con un 63% del mercado de cocinas, tal como se muestra en Figura 4-4. En segundo lugar, según Figura 4-5, las marcas más usadas en estufas a leña son Amesti, Yunke y Bosca con un 58% del total de marcas disponibles.

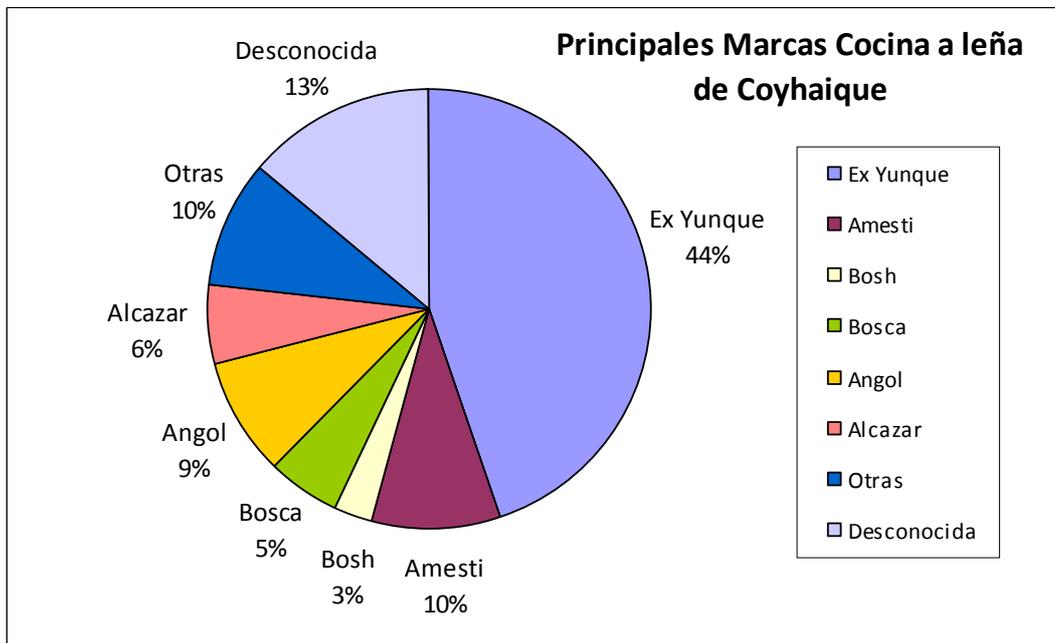


Figura 4-4: Distribución porcentual de las Principales marcas de cocina a leña para Coyhaique.

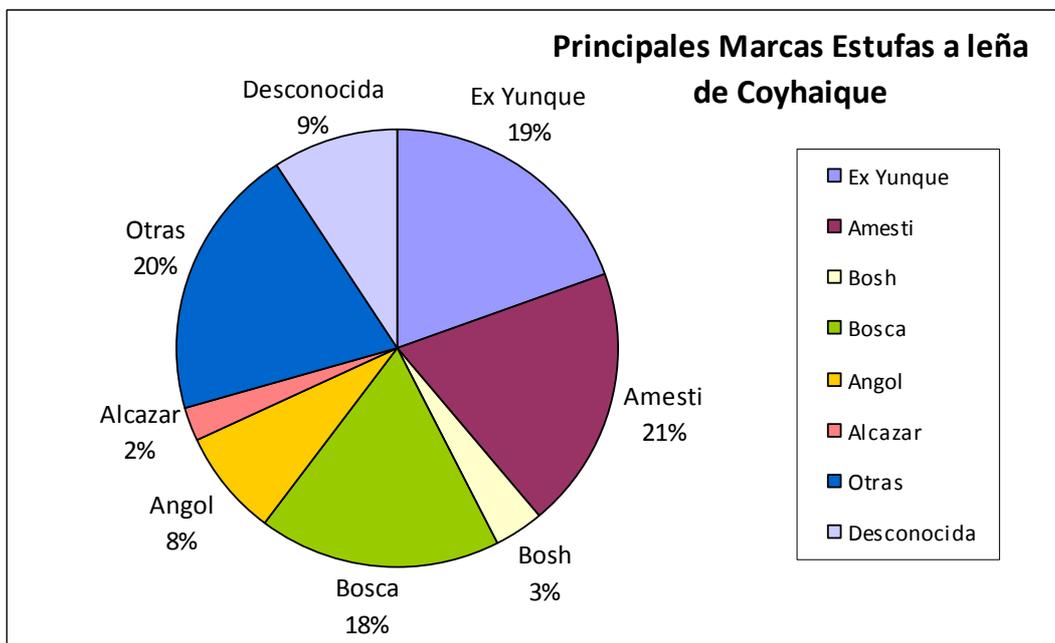


Figura 4-5: Distribución porcentual de las Principales marcas de estufas a leña para Coyhaique.



#### **4.2.2 Determinación del nivel de Consumo de combustibles de madera en el sector residencial.**

La cuantificación del consumo de combustibles de madera se realizó por el método de "declaración del usuario", determinado en la encuesta realizada en mayo del presente año. Debido a que los encuestados muchas veces entregaban los valores de su consumo en unidades no convencionales o más bien locales, se generó la necesidad de buscar antecedentes que permitieran transformar las unidades en las cuales se comercializan comúnmente los combustibles de madera en la ciudad de Coyhaique a unidades estándar de volumen ( $m^3$ ) o de masa (toneladas). Debido a las razones expuestas anteriormente, se utilizó como referencia el estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, en el cual se encuentran contenidos antecedentes tales como: relación entre volúmenes declarados y reales de leña según medio de transporte, factores de conversión de unidades locales de comercialización de combustibles de madera al Sistema Internacional y contenido de humedad de la leña entre otros. Estos antecedentes se presentan con mayor detalle en las secciones siguientes.

##### **4.2.2.1 Unidades de Medida Utilizadas.**

Las unidades de medida utilizadas en la ciudad de Coyhaique<sup>12</sup> están asociadas por una parte, al volumen o "metros" de leña (Metro Estéreo) y por otra con los medios de transporte empleados para transportar los combustibles de madera. Dentro de las unidades más utilizadas se

---

<sup>12</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004



encuentran la "camionada" y la "camionetada", cada una de las cuales corresponde a un volumen apilado de leña que depende del espacio de carga de cada vehículo (camioneta corta, camioneta larga y camión  $\frac{3}{4}$ , etc).

Esta capacidad de carga es específica para cada medio de transporte y se mide en metros estéreos (MS), definidos como un cierto volumen de leña apilado, con dimensiones de un metro por lado. Un metro estéreo difiere de un metro cúbico sólido ( $m^3$ ) debido a que el metro estéreo contiene espacios libres entre los troncos, no así el  $m^3$  sólido.

A continuación, se presentan antecedentes de la relación volumen declarado y volumen real de leña según el tipo de transporte utilizado.

#### **4.2.2.2 Comparación entre Volúmenes Declarados y Reales de Leña Según el Tipo de Transporte.**

Según el Estudio de INFOR<sup>13</sup>, se comprobó que existen diferencias importantes entre el volumen de carga "declarado" por los transportistas que comercializan leña y el volumen de "carga real" del vehículo utilizado para el transporte. Esta diferencia fue comprobada por INFOR, al efectuar mediciones en terreno del volumen (metros estéreos) y del peso (toneladas) de las cargas de leña de siete tipos de vehículos diferentes utilizados para el transporte y comparar dichos valores con el volumen estéreo declarado por los propios transportistas. A continuación en Figura 4-6 se presentan los tipos de vehículos utilizados para el transporte de

---

<sup>13</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004

leña, extraídos de del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, mientras que en Tabla 4-3, se presentan los volúmenes de carga *declarado* y *real* para cada tipo de vehículo de transporte.

**Camioneta Corta****Camioneta Larga****Camioneta KIA****Camión  $\frac{3}{4}$  (Tres Cuartos)****Camión Largo****Camión Doble Eje**

**Fuente: Estudio Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR.**

Figura 4-6: Medios de Transporte Utilizados para la Comercialización y Transporte de Leña en la Ciudad de Coyhaique. Imagen extraída del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR.

Tabla 4-3. Volúmenes de Carga Declarado y Real de la Leña Transportada por los Diferentes Tipos de Vehículos.<sup>14</sup>

TIPO DE VEHÍCULO	TIPO DE PERODUCTO	VOLUMEN DE CARGA DECLARADO (Metros Estéreos)	VOLUMEN DE CARGA REAL (Metros Estéreos)	VOLUMEN DE CARGA REAL (m <sup>3</sup> sólidos)
<b>Camioneta Corta</b>	Leña en chocos	2.5	1.8	1.0
<b>Camioneta Larga</b>	Leña en chocos	2.5	2.3	1.3
<b>Camioneta KIA</b>	Leña en chocos	5.0	4.8	2.7
<b>Camión ¾</b>	Leña en chocos	15.0	12.5	7.0
<b>Camión Largo 1</b>	Leña de metro	20.0	20.0	13.6
<b>Camión Largo</b>	Leña de metro	22.0	22.0	17.1
<b>Camión Doble Eje</b>	Leña de metro	30.0	29.1	19.8

**Fuente: Estudio Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén” de INFOR.**

Como vemos en Tabla 4-3, la carga declarada por las camionetas, en ninguno de los casos coincide con el volumen real. En cambio para los camiones, el volumen declarado concuerda con el volumen de carga o volumen real.

Por otra parte, INFOR establece una relación entre la capacidad de carga (según las dimensiones del vehículo) y el volumen de carga real en metros estéreos (MS). Para el caso de las camionetas este factor tiene un valor de 0.81, lo que quiere decir que aproximadamente un 81% del volumen cúbico de carga, corresponde al volumen estéreo de leña transportado en una camioneta que comercializa leña en chocos. En tanto, para los camiones este factor asume un valor de 0.9, lo que significa que el 90%

<sup>14</sup> Antecedentes extraídos del Estudio “Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén” de INFOR, 2004

del volumen cúbico de carga corresponde al volumen estéreo de leña que puede ser transportado por un camión que comercializa "leña de metro".

#### 4.2.2.3 Contenido de Humedad y Peso de las Diferentes Especies de Leña.

Los contenidos de humedad y pesos para cada una de las especies de leña, determinados por INFOR en el estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" y utilizados como base para la conversión de m<sup>3</sup> sólidos de leña a toneladas, se presentan a continuación en Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Peso y Contenido de Humedad de las Diferentes Tipos de Leña Según Especies.<sup>15</sup>

<b>ESPECIES</b>	<b>ESTADO DE HUMEDAD</b>	<b>Contenido de Humedad<sup>a</sup> (CH) %</b>	<b>Densidad (P<sub>CH%</sub>) kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Ñirre</b>	Seca	24	591.5
	Semihúmeda	45	691.7
	Húmeda	80	858.6
<b>Lenga</b>	Seca	24	700
	Semihúmeda	45	812.0
	Húmeda	80	1,008.0
<b>Coigue</b>	Seca	24	650.0
	Semihúmeda	45	754.0
	Húmeda	80	936.0
<b>Otras</b>	Seca	24	647.2
	Semihúmeda	45	752.6
	Húmeda	80	934.2

**Fuente: Estudio Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR.**

<sup>a</sup> Contenido de Humedad sobre Base Humeda.

<sup>15</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004

#### **4.2.2.4 Factores de Conversión de Unidades Locales de Comercialización de Combustibles de Madera al Sistema Internacional.**

Según INFOR, cuando se conoce el peso de un metro estéreo de leña (determinado mediante su pesaje en una romana) y el peso en m<sup>3</sup> sólidos, a un mismo contenido de humedad, es posible determinar el factor de conversión de metro estéreo a m<sup>3</sup> sólido, por medio de la Ecuación 1, detallada a continuación:

$$F_{ms / m^3} = \frac{\text{Peso 1 MS verde (kg)}}{\text{Peso 1 m}^3 \text{ verde (kg)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

La Ecuación anterior se aplicó a todos los medios de transporte de leña, con lo cual se obtuvo un factor promedio para la conversión de MS a m<sup>3</sup> sólidos correspondiente a **0.56** para la leña en "chocos", esto equivale a que en promedio 1 metro estéreo de leña en chocos corresponde a 0.56 m<sup>3</sup> sólidos con corteza.

Para la "leña de metro" el factor obtenido y aplicado por INFOR corresponde a 0.68 m<sup>3</sup> sólidos con corteza. Este factor presenta un valor mayor respecto del obtenido para la leña en "chocos" debido a que son trozos de leña de mayor tamaño.

A continuación en Tabla 4-5, se presentan los factores de conversión de MS a m<sup>3</sup> sólidos con corteza, según el tipo de leña.

Tabla 4-5. Factores de Conversión de Metros Sólidos (MS) a m<sup>3</sup> sólidos con corteza, según el tipo de leña<sup>16</sup>.

Tipo de Vehículo	Tipo de Leña	Especie	Peso Verde de 1m <sup>3</sup> sólido (kg)	Peso de 1metros estéreo	Factor de Conversión MS a m <sup>3</sup> sólido con corteza
Camioneta corta	chocos	Ñirre	692	374.3	0.541
Camioneta corta	chocos	Lenga	725	406.5	0.561
Camioneta Larga	chocos	Ñirre	654	374.8	0.73
<b>PROMEDIO</b>	chocos	-	690.3	385.8	0.56
<b>Camión Largo</b>	leña de metro	Lenga	710.0	480.0	0.68

Fuente: Estudio Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén” de INFOR.

#### 4.2.2.5 Factores de Carga de leña para diferentes medios de transporte

INFOR obtuvo el factor de carga de cada vehículo utilizando los volúmenes de carga real de los transportes evaluados (expresados en m<sup>3</sup> sólidos de leña) y la capacidad de carga de cada transporte de acuerdo a sus dimensiones, lo que se traduce en la siguiente expresión:

$$F_{Carga} = \frac{\text{Volumen de Carga en } m^3 \text{ sólidos}}{\text{Capacidad de Carga según dimensiones del vehículo, } m^3} \quad \text{Ecuación 2}$$

La importancia de determinar este factor se basa principalmente en que conociendo las dimensiones del espacio de carga del vehículo, es posible determinar el volumen sólido de leña transportado.

A continuación en Tabla 4-6, se presentan los Factores de Carga para los diferentes tipos de vehículos utilizados para el transporte de leña.

<sup>16</sup> Antecedentes extraídos del Estudio “Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén” de INFOR, 2004

Tabla 4-6. Factores de Carga para los diferentes Tipos de Vehículos<sup>17</sup>

Tipo de Vehículo	Especie (E)	Volumen de Carga Real (metros estéreos) (A)	Factor de Conversión (metros estéreos a m <sup>3</sup> sólidos) (B)	Volumen de Carga Real (m <sup>3</sup> sólidos) (A*B=E)	Capacidad de Carga según Dimensiones (m <sup>3</sup> ) (D)	Factor de Carga (E/D)
Camioneta corta	Lenga	1.94	0.56	0.109	2.4	0.45
Camioneta corta	Ñirre	1.68	0.56	0.94	1.98	0.48
Camioneta Larga	Lenga	2.00	0.56	1.12	2.66	0.42
Camioneta Larga	Ñirre	2.31	0.56	1.29	2.85	0.45
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.56</b>			<b>0.45</b>
Camión Largo	Lenga	20	0.68	13.6	22.0	0.63
Camión Largo	Lenga	25	0.68	17.0	27.77	0.61
Camión Doble Eje	Lenga	30	0.68	20.4	32.14	0.63
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.68</b>			<b>0.62</b>

Fuente: Estudio Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR.

Como vemos en la tabla anterior, para las camionetas el factor de carga promedio es igual a **0.45**, mientras que para los camiones es **0.62**.<sup>18</sup>

Los valores obtenidos por INFOR para los factores de carga, presentados en Tabla 4-6, muestran que un metro cúbico (m<sup>3</sup>) de capacidad de carga de leña en "chocos", equivale realmente a 0.45 m<sup>3</sup>. Por otro lado, un m<sup>3</sup> de capacidad de carga en "leña de metro" equivale a 0.62 m<sup>3</sup> sólidos. A partir de estos datos, se determinó los volúmenes de carga real, en Metros Estéreos (MS) y m<sup>3</sup> sólidos con corteza para los diferentes vehículos en los que se comercializa la leña en la ciudad de Coyhaique, los que se presentan a continuación en Tabla 4-7.

<sup>17</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004

<sup>18</sup> Ejemplo: Si tenemos una camioneta con una capacidad de carga equivalente a 2.4 m<sup>3</sup>, la cantidad de leña que puede contener es de aproximadamente 1.09 m<sup>3</sup> sólidos de leña (2.4 m<sup>3</sup>\*0.45) ó (1.09 m<sup>3</sup>/0.56). La misma metodología se aplica a los camiones.

Tabla 4-7. Equivalencia entre Capacidad de Carga, Metros Estéreos (MS) y Metros cúbicos sólidos con corteza ( $m^3$  scc), por Tipo de Vehículo.<sup>19</sup>

Tipo de Vehículo	Especie (E)	Volumen de Carga Real Según las Dimensiones ( $m^3$ )	Volumen de Carga Real (Metros Estéreos MS)	Volumen de Carga Real ( $m^3$ sólidos)
<b>Camioneta corta</b>	chocos	2.2	1.8	1.0
<b>Camioneta Larga</b>	chocos	2.9	2.3	1.3
<b>Camioneta KIA</b>	chocos	5.9	4.8	2.7
<b>Camión 3/4</b>	chocos	15.5	12.5	7.0
<b>Camión Largo 1</b>	leña de metro	22.0	20.0	13.6
<b>Camión Largo 2</b>	leña de metro	27.6	25.0	17.1
<b>Camión Doble Eje</b>	leña de metro	32.0	29.1	19.8

Fuente: Estudio Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR.

<sup>19</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004

#### 4.2.2.6 Estimación del total de leña consumido en el sector residencial de Coyhaique.

Tomando en cuenta los resultados de la encuesta de consumo residencial más las consideraciones relativas a la transformación de unidades de medida del combustible de madera, fue posible establecer los rangos de consumo global y promedio de leña por vivienda de Coyhaique (considerando el hecho que más del 99% de los encuestados, declaró utilizar leña como combustible). El resultado de esta estimación en metros cúbicos sólidos se presenta en Tabla 4-8.

Tabla 4-8: Consumo anual en m<sup>3</sup> scc de combustible de madera en el sector residencial, según especie.

Consumo por Tipo de Leña	% Relativo <sup>a</sup>	Rango de Consumo Total <sup>b</sup>		Consumo Promedio Total (m <sup>3</sup> /año)	Rango de Consumo por vivienda <sup>c</sup>		Consumo Promedio por Vivienda (m <sup>3</sup> /año)
		Inferior (m <sup>3</sup> /año)	Superior (m <sup>3</sup> /año)		Inferior (m <sup>3</sup> /año)	Superior (m <sup>3</sup> /año)	
Lenga	67	129,521	191,057	160,289	8.2	12.1	10.2
Ñirre	31	59,928	188,012	123,970	3.8	11.9	7.9
Otras	2	3,866	12,130	7,998	0.2	0.8	0.5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>193,316</b>	<b>391,199</b>	<b>292,257</b>	<b>12.3</b>	<b>24.8</b>	<b>18.6</b>

<sup>a</sup> Consumo relativo sobre base resultados encuesta Enviromodeling (EM)– Mayo 2009.

<sup>b</sup> La encuesta EM-2009, caracterizó el consumo de la población de Coyhaique mediante rangos o intervalos, por lo que los resultados consideran tanto el valor mínimo (Inferior) como el máximo (superior) del rango.

<sup>c</sup> Se consideró un total de 15,753 viviendas, según Censo 2002. INE.

**Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.**

El rango de consumo que se obtuvo para Coyhaique oscila entre 12.3 y 24.8 m<sup>3</sup> anuales por vivienda, lo que entrega un valor promedio de **18.6 m<sup>3</sup>/año·vivienda**.

### 4.2.3 Caracterización del Consumo de combustibles de madera en el sector residencial.

Los resultados de la encuesta realizada en Coyhaique no son concluyentes respecto de la cuantificación mensual del consumo de leña. Esto significa que no fue posible determinar el nivel, en toneladas mensuales, de consumo de combustible de madera. Sin embargo, si fue posible obtener, sobre la base de la percepción de los consumidores, la proporción en la utilización de madera tanto para cocinar como calefaccionar, normalizada al mes de máximo consumo, tal como se muestra en Figura 4-7.

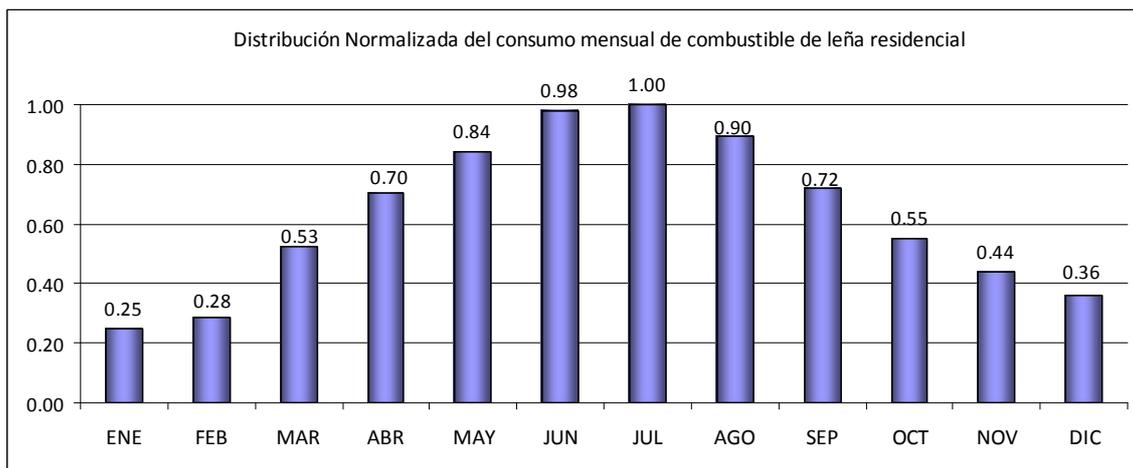


Figura 4-7: Ciclos normalizado del consumo de leña en el sector residencial.

Se entiende de Figura 4-7 que el mes que representa el mayor consumo del año es Julio (1.0). Los otros meses, por ejemplo Abril, que posee un valor de 0.70 significa que el consumo de este mes corresponde a un 70% del consumo de Julio.

Otra conclusión que es posible agregar es que los meses “calurosos”, Enero, Febrero se consume prácticamente un cuarto de lo que se consume en los meses más fríos, Junio y Julio.

Como corolario a lo señalado anteriormente, en Figura 4-8 se presenta la proporción mensual de consumo de leña en el sector residencial.

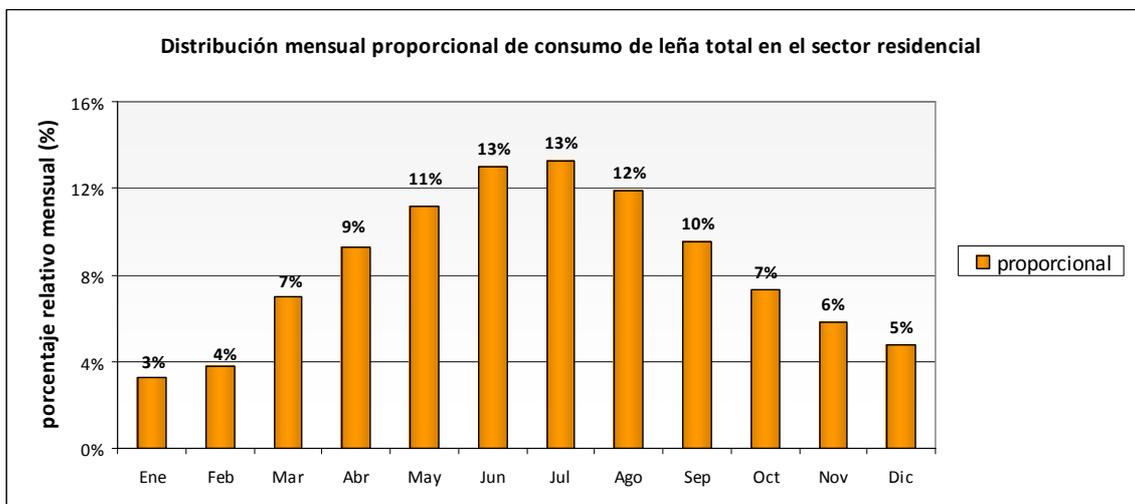


Figura 4-8: Distribución mensual proporcional de consumo de leña en el sector residencial.

Esta proporción es de gran utilidad para la determinación de un ciclo mensual de emisiones, el que puede ser ingresado al modelo de dispersión utilizado para validar el Inventario de Emisiones.

### 4.3 Fuentes Fijas Puntuales.

Se consideró como puntuales fijas a las actividades productivas que consumen grandes cantidades de combustibles en sus procesos y cuyos residuos gaseosos son descargados por una chimenea. Existen también una



gran cantidad de pequeños establecimientos comerciales y de servicios que utilizan equipos de calefacción muy similares a los empleados en el sector residencial (que podrían ser considerados dentro del grupos de fuentes fijas areales). Sin embargo, se adoptó esta clasificación para separar de forma clara las características del consumo y emisiones atmosféricas del sector residencial y de Grande Consumidores.

Respecto de las regulaciones existentes hoy en día a nivel nacional para este tipo de fuentes, el Ministerio de Salud, mediante el Decreto Supremo N° 138 del año 2005, establece la obligación de entregar los antecedentes necesarios para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes como: calderas (vapor o agua caliente); producción de celulosa; fundiciones primarias y secundarias; centrales termoeléctricas; producción de cemento, cal o yeso; producción de vidrio; producción de cerámica; siderurgia; petroquímica, asfaltos y equipos electrógenos.

Dentro de los datos ingresados a este formulario 138, se tienen los niveles de actividad de sus fuentes, niveles de actividad de la fuente, considerando aquellas fuentes con y sin combustión, además se entrega la información relevante respecto a la fuente emisora, tales como ducto de la chimenea, diámetro, etc. La información proporcionada por el Servicio de Salud con el DS138, fue utilizada tanto para la caracterización de las fuentes y para el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas.

También, el Servicio de Salud ha generado un registro con las calderas, hornos y grupos electrógenos existentes en Coyhaique. Sin embargo, este registro sólo incluye información referente al propietario del equipo y el



número de equipos que posee. La información faltante es el tipo combustible y ciclos de operación de estos artefactos.

Por medio de la encuesta realizada por el equipo consultor en Mayo del presente año, también se obtuvo información para la caracterización sobre los equipos de combustión, que se complementó con lo entregado por la Seremi de Salud.

#### **4.3.1 Caracterización del Consumo de Combustibles del Sector Grandes Consumidores.**

A diferencia del sector residencial, donde sobre el 99% utiliza leña como el principal combustible, la matriz energética del sector de Grandes consumidores, que incluye Servicios, Comercio e Industria, es más amplia, siendo la penetración de la leña, el gas licuado y el petróleo correspondiente a un 40%, 34% y 14% respectivamente, tal como se muestra en Figura 4-8.

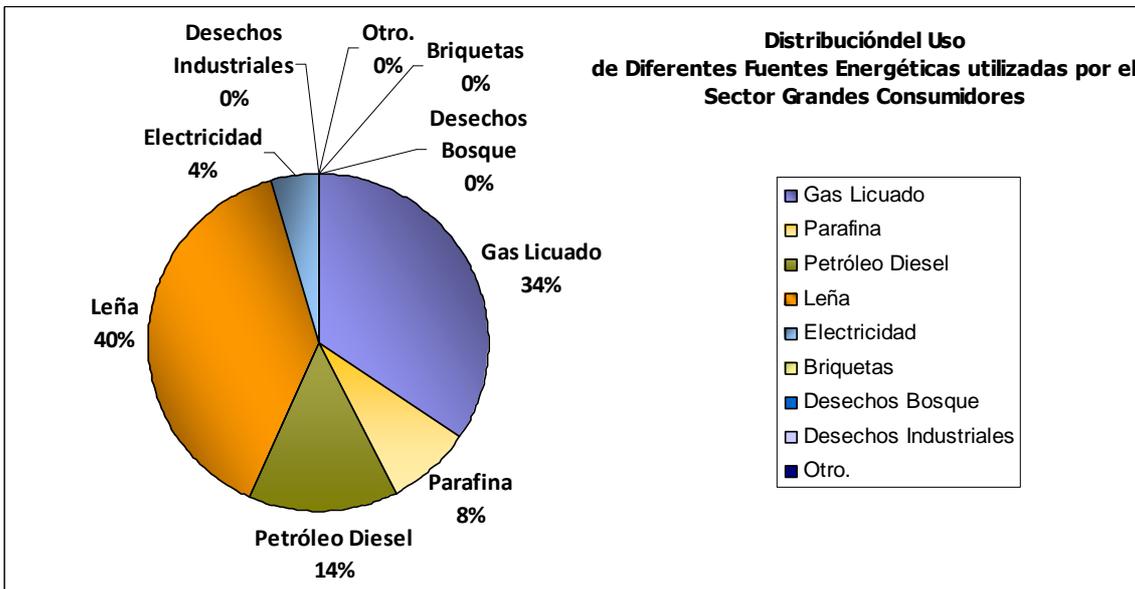


Figura 4-8: Distribución en el uso de Diferentes Fuentes Energéticas en el Sector de Grandes Consumidores, según encuesta EM-2009.

Debido a la diversidad de rubros, niveles de operación y dimensiones existente, se dificulta la estimación global de consumo en este sector. La gran variabilidad en los niveles de consumo de los diferentes rubros, no permiten realizar extrapolaciones con buena confianza estadística.

Por ejemplo, los rangos de consumo de combustible de madera, presenta mínimos de 3 metros estéreo (MS) hasta más de 500 (MS) por año.

### 4.3.2 Caracterización del los Ciclos de Operación de los Equipos de Combustión Existentes en el Sector Grandes Consumidores.

En Figura 4-9, siguiente se presenta la distribución de los meses de inicio y término del funcionamiento de los equipos de combustión existentes en el Sector Grandes Consumidores.

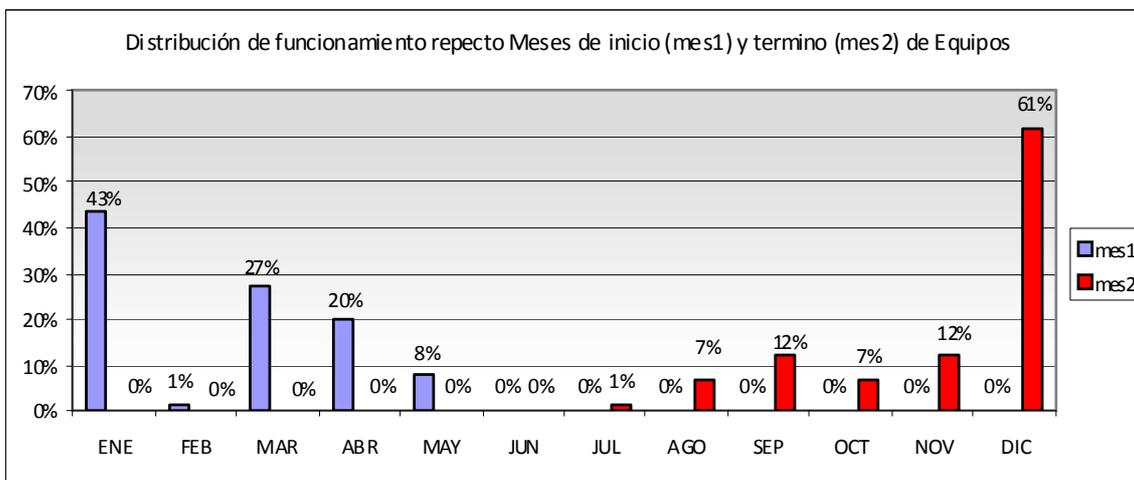


Figura 4-9: Distribución de los meses inicio y término del funcionamiento de los equipos de combustión existentes.

En este gráfico se muestra en color azul los meses en los cuales se inicia el uso de equipos de combustión del Sector Grandes Consumidores, mientras que las barras de color rojo representan los meses en que se dejan de usar dichos equipos. Del análisis de la Figura anterior es posible concluir que el 43% de los establecimientos que integran el Sector Grandes Consumidores comienza a utilizar sus equipos de combustión en el mes de Enero, un 27% lo hace en Marzo, mientras que un 20% inicia su uso en Abril, en tanto el 8% restante comienza en el mes de Mayo.

Al ver la Figura 4-9, podemos ver que la mayoría de los establecimientos deja de utilizar equipos de combustión en el mes de Diciembre (61%), un 12% lo hace en los meses de Septiembre y Octubre, mientras que un 7% lo hace Agosto y Noviembre, tan solo un 1% deja de usar equipos de combustión en Julio.

A continuación en Figura 4-10 se muestra la distribución de los equipos de combustión del Sector Grandes Consumidores, que se encuentran en funcionamiento a lo largo del año, respecto del total disponible.

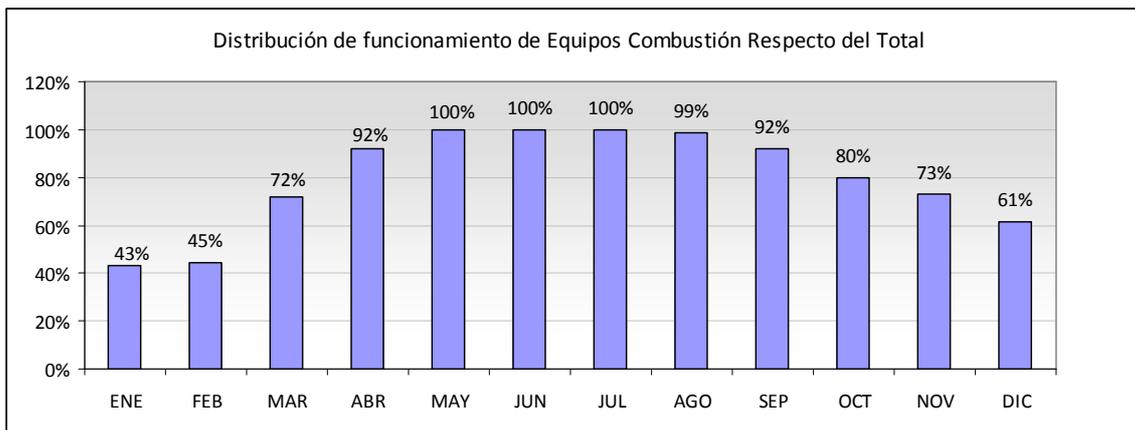


Figura 4-10: Distribución de los Equipos de Combustión del Sector Grandes Consumidores que se Encuentran funcionamiento a lo largo del Año.

De la figura anterior, se desprende la observación que durante el periodo Mayo-Julio, se encuentra en funcionamiento el 100% de los equipos de combustión del Sector Grandes Consumidores. Desde agosto en adelante comienza a bajar, paulatinamente, el uso de equipos de combustión, hasta llegar a que el 61% del total de equipos de combustión disponibles, lo que se relaciona en forma clara con el aumento de la temperatura.



### **4.3.3 Caracterización del Consumo de Combustibles de Leña en el Sector Grandes Consumidores.**

La determinación de la distribución del consumo de leña en el Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, al igual que en el Sector Residencial, se realizó mediante la adopción de intervalos o rangos de consumo en Metros Estéreo (MS).

Los intervalos adoptados, en unidades de metros estéreos (MS), para el análisis del consumo son los siguientes:

- Rango A: de 0 a <20 mS.
- Rango B: de 20 a <40 mS.
- Rango C: de 40 a <80 mS.
- Rango D: de 80 a <120 mS.
- Rango E: de 120 a <250 mS.
- Rango F: de 2500 a <500 mS.
- Rango G: >500 mS.

De esta manera se logró determinar el porcentaje de consumo de cada establecimiento representado por cada rango. El resultado de este análisis se presenta en Figura 4-11 siguiente.

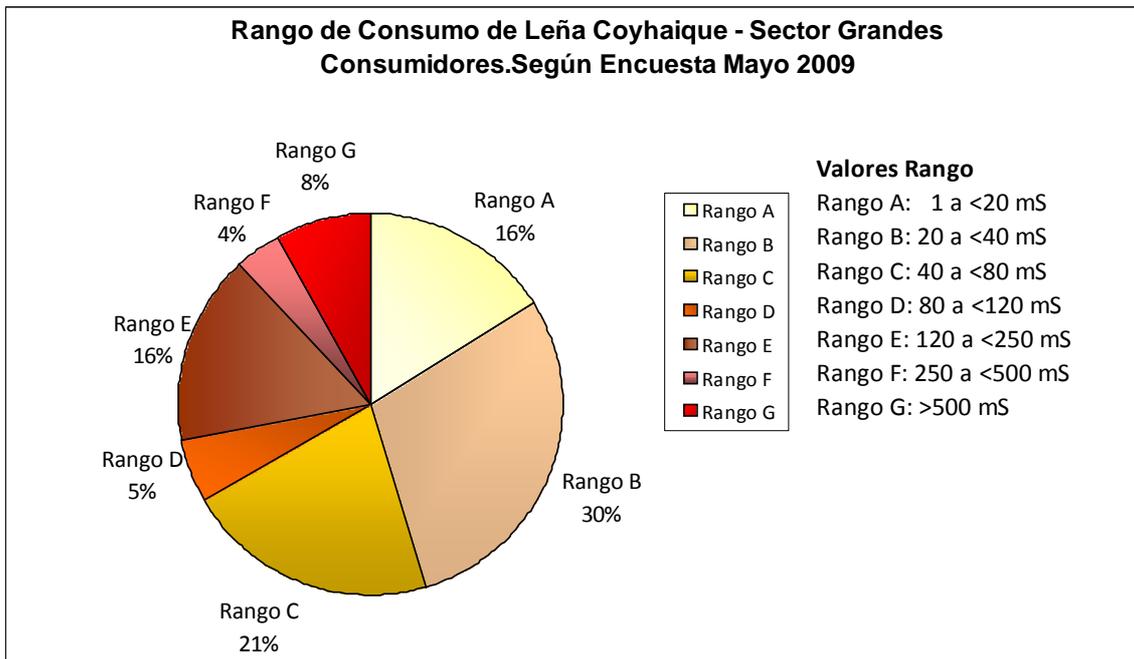


Figura 4-11: Rango de Consumo de leña en el Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, según encuesta EM-2009, en unidades de metro estéreo (MS).

Del análisis de Figura 4-11, se desprende que prácticamente un 30% de los establecimientos encuestados declaró consumir entre 20 y 40 MS (también denominado como "metros"). Un 21% se ubica en el rango C (20 y 40 MS), mientras que un 16% consume de 1 a 20 MS en su establecimiento, Rango A.

Finalmente, el segmento de mayor consumo (Rangos D, E, F y G) correspondería al 33% restante. Estos establecimientos tendrían una tasa anual de consumo que fluctuaría entre 80 MS y o más 500 MS.

A continuación en Figura 4-12 se presenta la distribución de los equipos más utilizados en los establecimientos pertenecientes al Sector Grandes Consumidores.

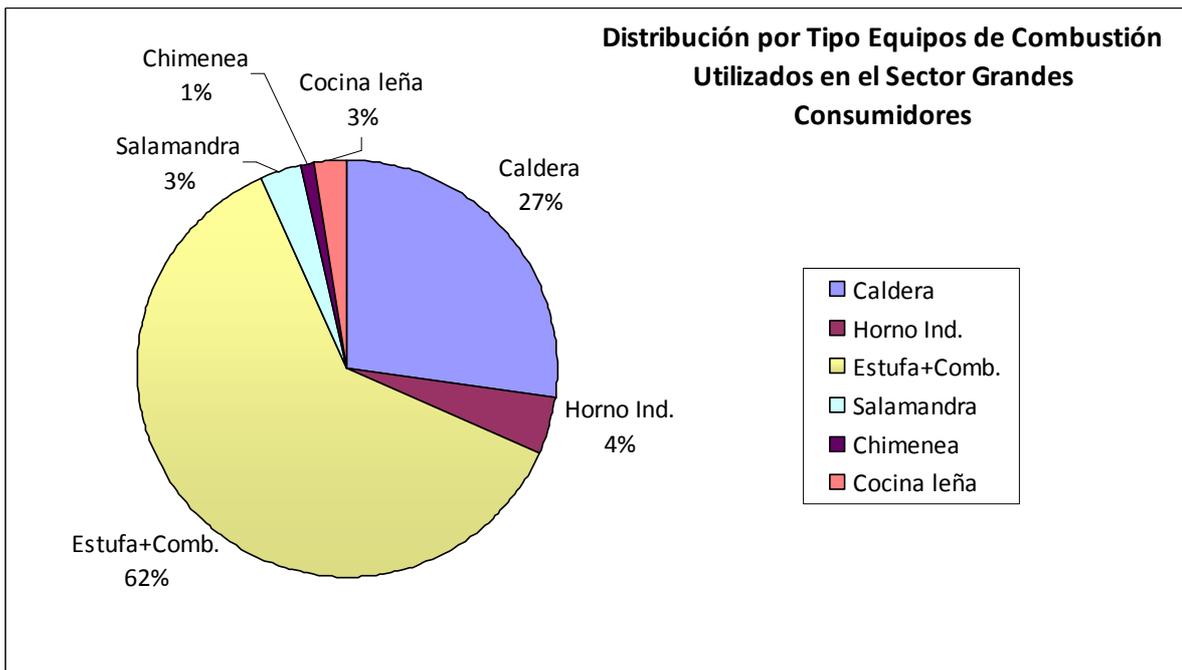


Figura 4-12: Distribución del Tipo de Equipos de Combustión Utilizados en Establecimientos del Sector Grandes Consumidores de Coyhaique, según encuesta EM-2009.

Como vemos en Figura 4-12, la mayor parte de los equipos utilizados por el Sector Grandes Consumidores corresponde a las estufas de combustión lenta (62%), seguidas por las calderas, las que representan un 27% del total de equipos usados. En tanto, el 11% restante de los dispositivos se divide entre los hornos, cocinas, salamandras y chimeneas.

En relación al uso de combustibles de leña en el Sector Grandes consumidores, como vemos en Figura 4-13, un 44% de los establecimientos encuestados declaró que utiliza leña durante todo el año, un 36% lo hace entre 6 a 12 meses, mientras que el 12% restante la usa por un periodo de 6 meses. Tan solo un 8% del Sector grandes consumidores consume leña por un lapso menor a 6 meses.



Figura 4-13: Distribución del Tipo del Número de Meses en que los Establecimientos del Sector Grandes Consumidores de Coyhaique Consumen Leña, según encuesta EM-2009.

La variación del consumo de leña declarada en encuesta EM-2009 por los Grandes Consumidores, podría representar el doble del consumo de leña durante los meses fríos (Abril – Septiembre) respecto de los meses más cálidos, tal como es posible observar en Figura 4-14.

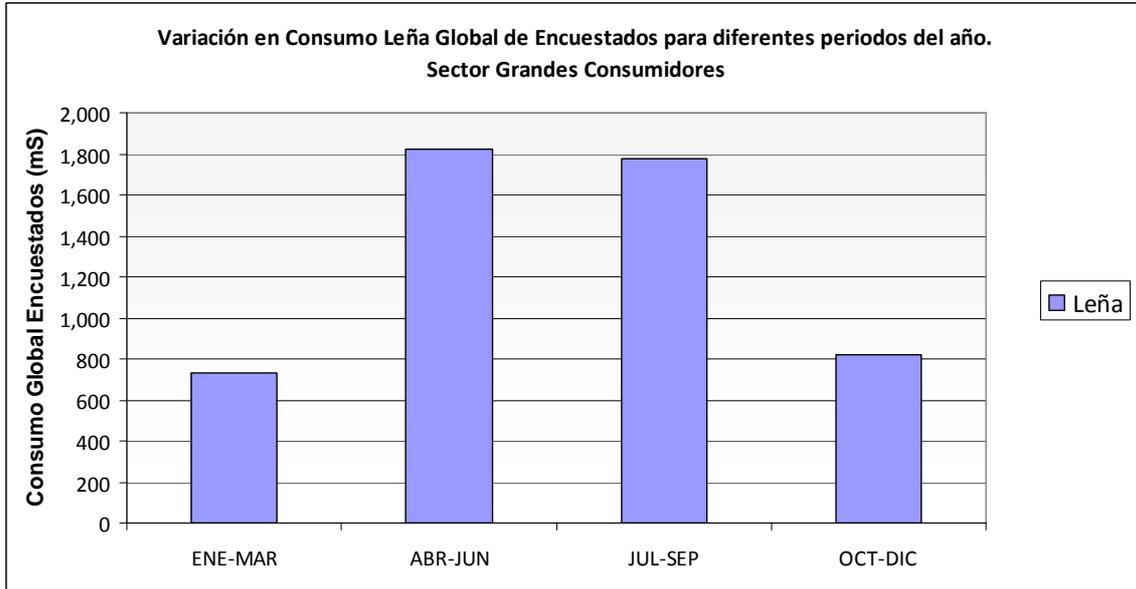


Figura 4-14: Variación del Consumo de Leña declarado en EM-2009 por los Establecimientos del Sector Grandes Consumidores de Coyhaique.<sup>20</sup>

#### 4.3.4 Equipos de Combustión registrados por la SEREMI de Salud de Aysén.

De acuerdo a un catastro entregado por la Seremi de Salud de la Región de Aysén a la consultora Enviro modeling Ltda. fue posible determinar que en la ciudad de Coyhaique existen un total 88 establecimientos que en total poseen 113 equipos de combustión, los que se dividen entre las categorías Calderas (de vapor, calefacción y agua caliente), grupos electrógenos, generadores de vapor y energía, hornos e incineradores. Siendo las calderas, los equipos con mayor predominio en los establecimientos de los subsectores Industrial, comercial e institucional, tal como vemos en la Tabla 4-9, siguiente.

<sup>20</sup> Esta Figura representa la variación del consumo de leña declarado en encuesta EM-2009 por el Sector Grandes Consumidores, no el consumo total de dicho sector.

Tabla 4-9: Catastro de Calderas, Grupos Electrónicos, Generadores, Hornos e Incinerados entregado por la Seremi de Salud de la Región de Aysén.

<b>Tipo de Equipo</b>	<b>Nº de Establecimientos que Usan este Equipo</b>	<b>Nº de Equipos Existentes Según Registro Seremi Salud</b>
<b>Caldera de Vapor</b>	15	21
<b>Caldera de Calefacción</b>	50	59
<b>Caldera Agua Caliente</b>	3	7
<b>Grupo Electrónico</b>	8	8
<b>Generador de Energía</b>	3	3
<b>Generador de Vapor</b>	3	8
<b>Horno</b>	5	6
<b>Incinerador</b>	1	1
<b>Total</b>	88	113

Fuente: Registros Seremi de Salud de Aysén.

#### **4.3.5 Gastos en diferentes combustibles por parte de los Grandes Consumidores.**

Una de las preguntas realizadas en la encuesta llevada a cabo por el equipo consultor de Enviromodeling, en Mayo del presente año, correspondía al gasto económico mensual en combustibles por parte de los subsectores comerciales, industriales e institucionales.

Al comparar las respuestas, se pudo observar que existe una variación entre el dinero invertido en la compra de combustibles en meses calurosos respecto de los meses fríos.

Por otra parte, al comparar el gasto realizado por el sector de grandes consumidores en combustibles fósiles, en términos absolutos, el gasto en

petróleo es el más elevado dentro de todos, alcanzando los \$337 millones en meses fríos y \$209 millones en meses calurosos. Este dato no incluye a la Central Tehuelche que consume más de tres veces lo que consumen el total de encuestados de Coyhaique.

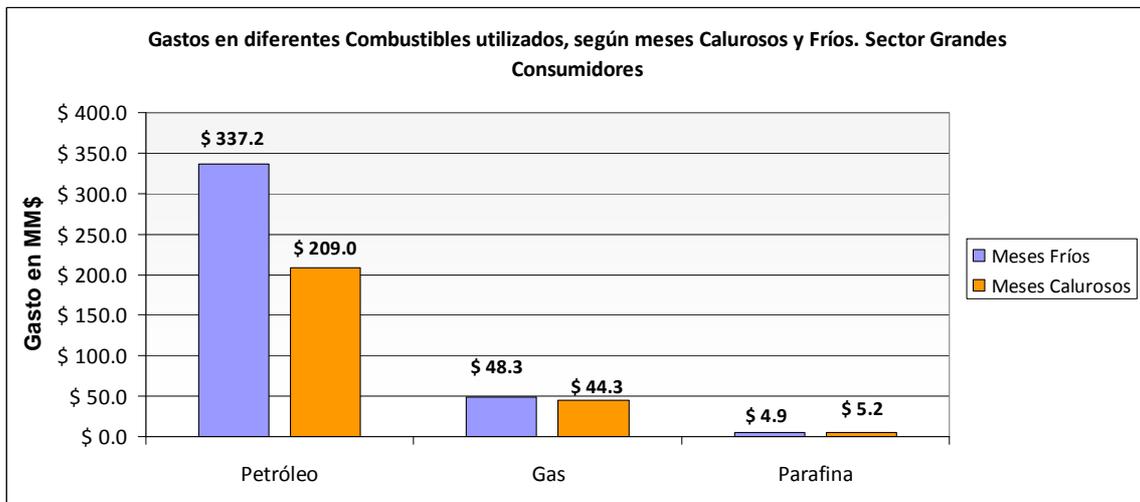


Figura 4-15: Gasto en combustible fósiles en el sector de Grandes Consumidores (no incluye Central Térmica Tehuelche)

#### 4.4 Fuentes Móviles.

Las fuentes móviles son aquellas que emiten contaminantes mientras están en movimiento y cambian constantemente de ubicación en el espacio. A este grupo pertenecen los medios de transporte terrestre, acuático y aéreo, impulsados por motores de combustión interna o eléctrica.

Se clasifican de acuerdo al tipo de infraestructura vial utilizada en:



- Fuentes Móviles en Ruta
- Fuentes Móviles Fuera de Ruta

A continuación se detalla en primer lugar, los aspectos generales de ambos tipos de clasificación de Fuentes Móviles, y en segundo lugar la caracterización del Parque vehicular de la ciudad de Coyhaique.

#### **4.4.1 Fuentes Móviles en Ruta.**

Fuente móvil en Ruta corresponden a todas aquellas que transitan por carreteras y calles de la ciudad como automóviles particulares, buses, camiones, motocicletas, entre otras. Existen diferencias significativas en el parque automotriz de una zona respecto a otra, debido a la heterogeneidad en los años, modelos, además con distintos tipos de combustibles utilizados por los distintos vehículos.

En la mayoría de las grandes áreas urbanas, los vehículos con motor son los principales generadores de las emisiones de COT, CO, NOx, SOx, PM y contaminantes tóxicos. La clasificación vehicular de las fuentes móviles en ruta se realiza considerando los siguientes criterios:

- Modalidad de uso: Considera el tipo de uso que se da a los vehículos como por ejemplo vehículos de carga, Transporte de pasajeros y vehículos particulares.
- Tipo de combustible: Se distinguen entre tres tipos de combustibles posibles, diesel, gasolina y gas natural.
- Tecnología: Considera la existencia de sistemas de control de emisiones y tipo de motor.



- Categoría vehicular: Se agrupan de acuerdo a características comparables (Peso bruto vehicular, peso neto de marcha, etc).

Dentro de las fuentes móviles en ruta, considerando las características de las flotas locales y la información disponible, de SECTRA, se tiene que se han definido 61 categorías de vehículos en ruta, las cuales se listan a continuación en Tabla 4-10.



Tabla 4-10: Clasificación Vehicular utilizada por SECTRA.

<b>Vehículos livianos de pasajeros (VLP)</b>	1. Vehículos Particulares Catalíticos Tipo 1
	2. Vehículos Particulares Catalíticos Tipo 2
	3. Vehículos Particulares No Catalíticos
	4. Vehículos Particulares Gas
	5. Vehículos Particulares Otros
<b>Vehículos livianos comerciales (VLC)</b>	6. Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 1
	7. Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 2
	8. Vehículos Comerciales No Catalíticos
	9. Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1
	10. Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2
	11. Vehículos Comerciales Gas
	12. Vehículos Comerciales Otros
<b>Vehículos livianos de pasajeros (VLP)</b>	13. Vehículos de Alquiler Catalíticos Tipo 1
	14. Vehículos de Alquiler Catalíticos Tipo 2
	15. Vehículos de Alquiler No Catalíticos
	16. Vehículos de Alquiler Gas
	17. Vehículos de Alquiler Otros

Tabla 4-10: Clasificación Vehicular utilizada por SECTRA (continuación).

<b>Taxis colectivos</b>	18. Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1
	19. Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2
	20. Taxis Colectivos No Catalíticos
	21. Taxis Colectivos Gas
	22. Taxis Colectivos otros
<b>Buses licitados urbanos</b>	23. Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 1
	24. Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 2
	25. Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 3
	26. Buses Licitados Urbanos Diesel Convencional
	27. Buses Licitados Urbanos Híbridos
	28. Buses Licitados Urbanos Gas
	29. Buses Licitados Urbanos Otros
<b>Buses licitados rurales e interurbanos</b>	30. Buses Interurbanos Diesel Tipo 1
	31. Buses Interurbanos Diesel Tipo 2
	32. Buses Interurbanos Diesel Tipo 3
	33. Buses Interurbanos Diesel Convencional
	34. Buses Interurbanos Otros
	35. Buses Rurales Diesel Tipo 1
	36. Buses Rurales Diesel Tipo 2



Tabla 4-10: Clasificación Vehicular utilizada por SECTRA (continuación).

<b>Buses licitados rurales e interurbanos</b>	37. Buses Rurales Diesel Tipo 3
	38. Buses Rurales Diesel Convencional
	39. Buses Rurales Otros
<b>Otros Buses</b>	40. Buses Particulares
<b>Camiones Livianos</b>	41. Camiones Livianos Diesel Tipo 1
	42. Camiones Livianos Diesel Tipo 2
	43. Camiones Livianos Diesel Tipo 3
	44. Camiones Livianos Diesel Convencional
	45. Camiones Livianos Gas
	46. Camiones Livianos Otros
<b>Camiones Medianos</b>	47. Camiones Medianos Diesel Tipo 1
	48. Camiones Medianos Diesel Tipo 2
	49. Camiones Medianos Diesel Tipo 3
	50. Camiones Medianos Diesel Convencional
	51. Camiones Medianos Gas
	52. Camiones Medianos Otros

Tabla 4-10: Clasificación Vehicular utilizada por SECTRA (continuación).

<b>Camiones Pesados</b>	53. Camiones Pesados Diesel Tipo 1
	54. Camiones Pesados Diesel Tipo 2
	55. Camiones Pesados Diesel Tipo 3
	56. Camiones Pesados Diesel Convencional
	57. Camiones Pesados Otros
<b>Motocicletas</b>	58. Motos de Dos Tiempos Tipo 1
	59. Motos de Dos Tiempos Tipo 2
	60. Motos de Cuatro Tiempos Tipo 1
	61. Motos de Cuatro Tiempos Tipo 2

**Fuente:** Actualización del Modelo de cálculo de Emisiones Vehiculares MODEM. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica.

#### 4.4.2 Fuentes móviles Fuera de Ruta.

Las fuentes móviles fuera de ruta, es decir, las que no circulan por carreteras ni caminos de la ciudad, incluyen a los vehículos diseñados para ser utilizados fuera de caminos públicos (por ejemplo: aeronaves, locomotoras, embarcaciones, palas mecánicas, grúas y equipo de construcción), así como otras fuentes de emisión móviles (por ejemplo: generadores eléctricos portátiles).

Este tipo de vehículos utiliza combustibles puros como gasolina, diesel, gas, o mezcla con otros componentes. Los tipos de maquinarias consideradas en este estudio corresponden a maquinaria agrícola y a maquinaria de

construcción que operan dentro de Coyhaique. Otras fuentes, como embarcaciones y aeropuerto internacional Balmaceda están demasiado alejados para ser considerados.

#### 4.4.3 Parque Vehicular Coyhaique.

La evaluación del Parque Vehicular de Coyhaique ha experimentado un aumento gradual en los últimos 8 años de aproximadamente un 15%, pasando de un total de 8,922 vehículos motorizados el año 2001 a 11,885 vehículos en el 2008, tal como se muestra en Figura 4-16.

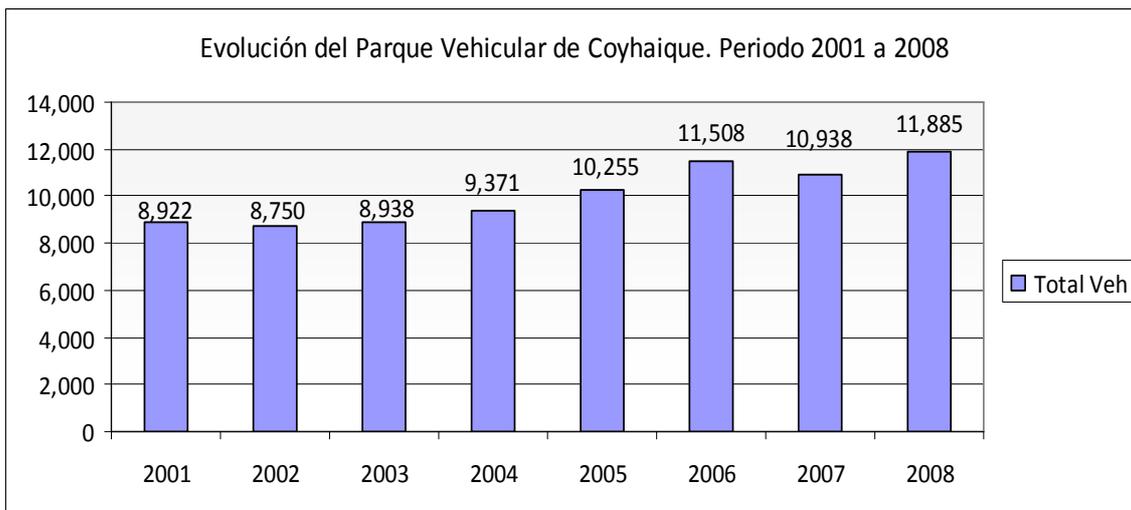


Figura 4-16: Evolución del Parque Vehicular de Coyhaique, para el periodo 2001-2008.

De acuerdo a los datos provistos por el Departamento de Tránsito de la Municipalidad de Coyhaique, se tiene que para el año 2008 el Parque Vehicular está compuesto en un 85% por vehículos particulares, 7% de vehículos de transporte colectivo y un 8% por transporte de carga.

Respecto del aumento parcial de las tres grandes categorías (Particulares, Transporte colectivo, carga) en igual periodo de tiempo, cabe señalar que principalmente los vehículos particulares son los que presentan un aumento significativo en su cantidad. Esta afirmación se desprende de lo presentado en la Figura 4-17 siguiente.

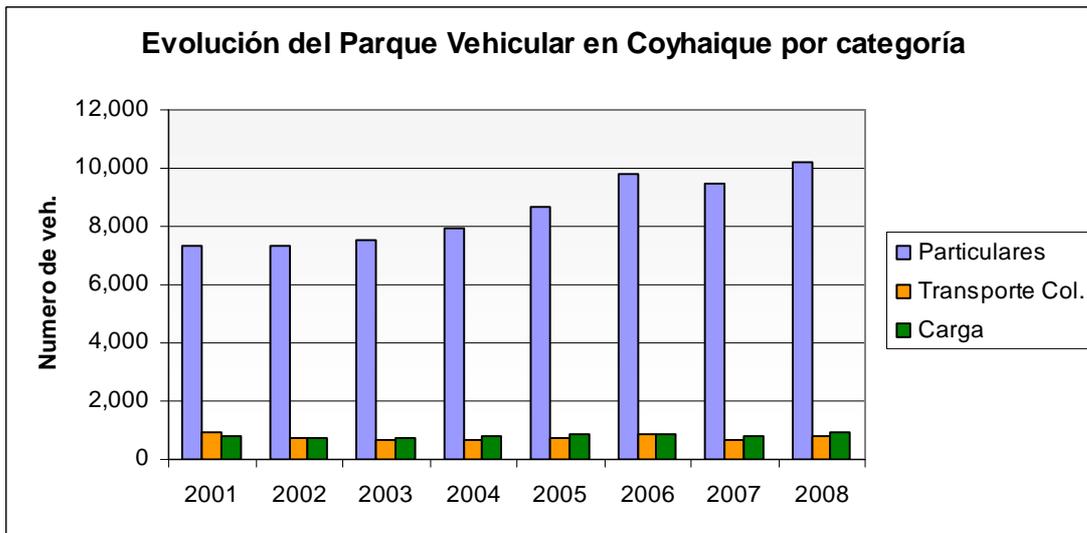


Figura 4-17: Evolución del Parque Vehicular de Coyhaique, para el periodo 2001-2008, separado por categoría.

A continuación se presenta, en Tablas 4-11a, b y c y en Figura 4-18 a 4-20, el detalle del número de vehículo según categoría, combustible y por tecnología de control de emisiones (convertidor catalítico). Un resumen de la composición del parque vehicular de Coyhaique para el año 2008 se presenta en Tabla 4-12.

Tabla 4-11a: Numero de vehículos Particulares por tipo de combustible en Coyhaique. Año 2008.

Tipo de Vehículo	Bencinero	Diesel	Total
1. Automóvil particular	2162	35	<b>2197</b>
2. Station Wagon	1462	1843	<b>3305</b>
3. Jeep	821	63	<b>884</b>
4. Furgón	120	85	<b>205</b>
5. Casa rodante automotriz	0	0	<b>0</b>
6. Minibus	0	0	<b>0</b>
7. Camioneta	2202	1319	<b>3521</b>
8. Motocicleta	72	0	<b>72</b>
9. Otros	8	12	<b>20</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>6847</b>	<b>3357</b>	<b>10204</b>

Fuente: Departamento de Tránsito, Municipalidad de Coyhaique.

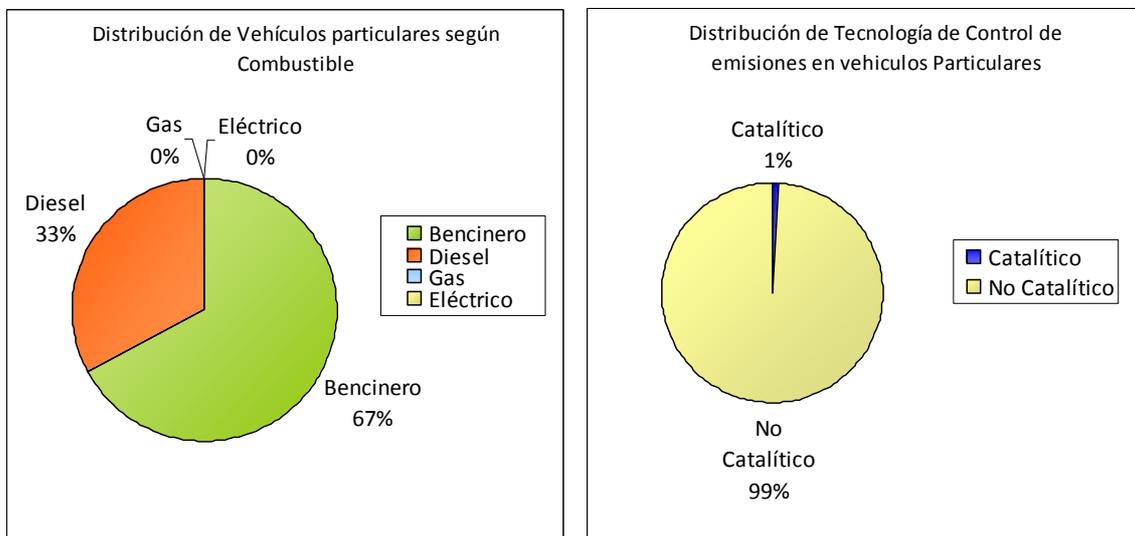


Figura 4-18: Distribución de vehículos particulares según combustibles y tecnología de control de emisiones.

Tabla 4-11b: Numero de vehículos de Transporte por tipo de combustible en Coyhaique. Año 2008.

Tipo de Vehículo	Bencineros	Diesel	Total
13. Taxi básico	90	1	<b>91</b>
14. Taxi colectivo	314	35	<b>349</b>
15. Taxi turismo	0	0	<b>0</b>
16. Minibús	7	86	<b>93</b>
17. Minibus (escolar y de trabajadores)	25	89	<b>114</b>
18. Taxibus	0	1	<b>1</b>
19. Bus articulado	0	0	<b>0</b>
20. Bus	6	119	<b>125</b>
21. Bus, transporte escolar o trabajadores	0	0	<b>0</b>
22. Otros	0	0	<b>0</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>442</b>	<b>331</b>	<b>773</b>

Fuente: Departamento de Tránsito, Municipalidad de Coyhaique.

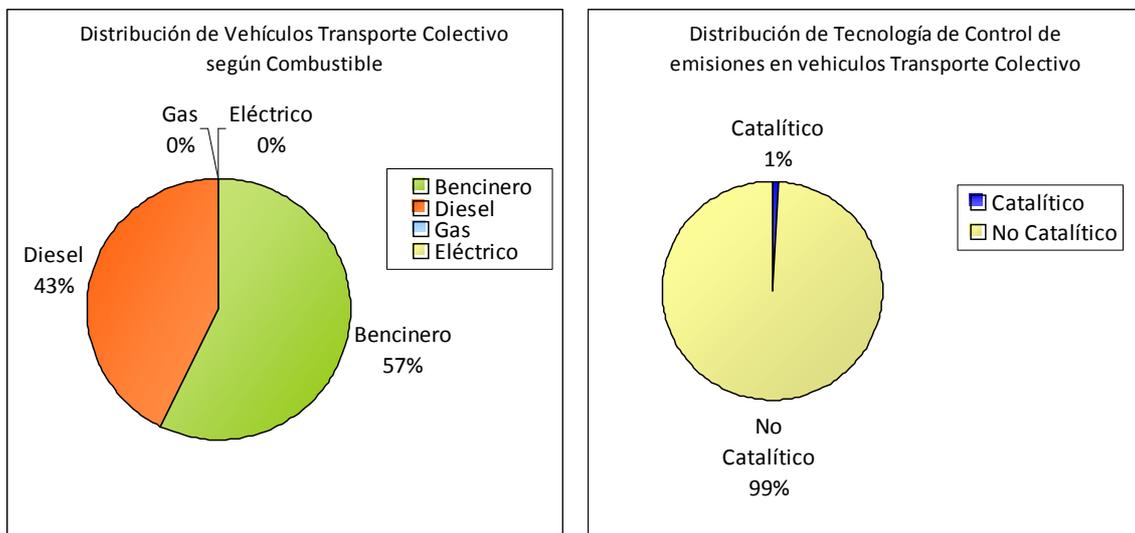


Figura 4-19: Distribución de vehículos de transporte Colectivo según combustibles y tecnología de control de emisiones.

Tabla 4-11c: Numero de vehículos de carga por tipo de combustible en Coyhaique. Año 2008.

Tipo de Vehículo	Bencinero	Diesel	Total
23. Camión simple	16	676	<b>692</b>
24. Tractocamión	1	121	<b>122</b>
25. Camión grúa	0	2	<b>2</b>
26. Camión aljibe	0	0	<b>0</b>
27. camión cámara frigoríficas o térmicas	0	0	<b>0</b>
28. Camión tolva	0	0	<b>0</b>
29. Otros camiones	0	0	<b>0</b>
30. Tractor agrícola	0	18	<b>18</b>
31. Maquinaria automotriz espec.	36	38	<b>74</b>
32. Otros	0	0	<b>0</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>53</b>	<b>855</b>	<b>908</b>

Fuente: Departamento de Tránsito, Municipalidad de Coyhaique.

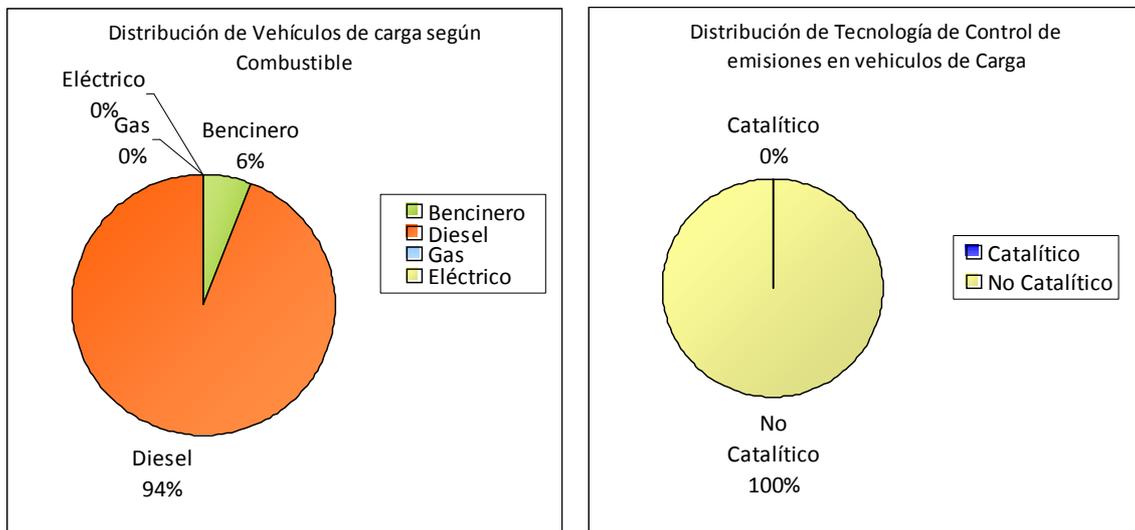


Figura 4-20: Distribución de vehículos de carga según combustibles y tecnología de control de emisiones.

Tabla 4-12: Tabla resumen con el numero total de vehículos por categoría y tipo de combustible de Coyhaique, para el año 2008.

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Bencinero</b>	<b>Diesel</b>	<b>Gas</b>	<b>Total</b>
Particulares	6,847	3,357	0	<b>10,204</b>
Transporte Colectivo	442	331	0	<b>773</b>
Carga	53	855	0	<b>908</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7,342</b>	<b>4,543</b>	<b>0</b>	<b>11,885</b>

**Fuente:** Departamento de Tránsito, Municipalidad de Coyhaique.

#### **4.4.4 Perfil de Circulación de Parque Vehicular de Coyhaique.**

El perfil de circulación del Parque Vehicular de Coyhaique se obtuvo del estudio "**Análisis del Sistema de Transporte Urbano de Coyhaique**" realizado por la empresa TRASA Ingeniería Ltda. en el año 2005, por encargo de MIDEPLAN. En este estudio se realizaron conteos de flujos, los que entregaron un perfil como el presentado en la Figura 4-18. Este perfil se encuentra normalizado a la hora punta (18:00 hrs).

El conteo se flujos se realizó en 14 puntos de control, los que se presentan en Figura 4-21. El resultado de los conteos en cada uno de los puntos de control se presenta en Figura 4-22.

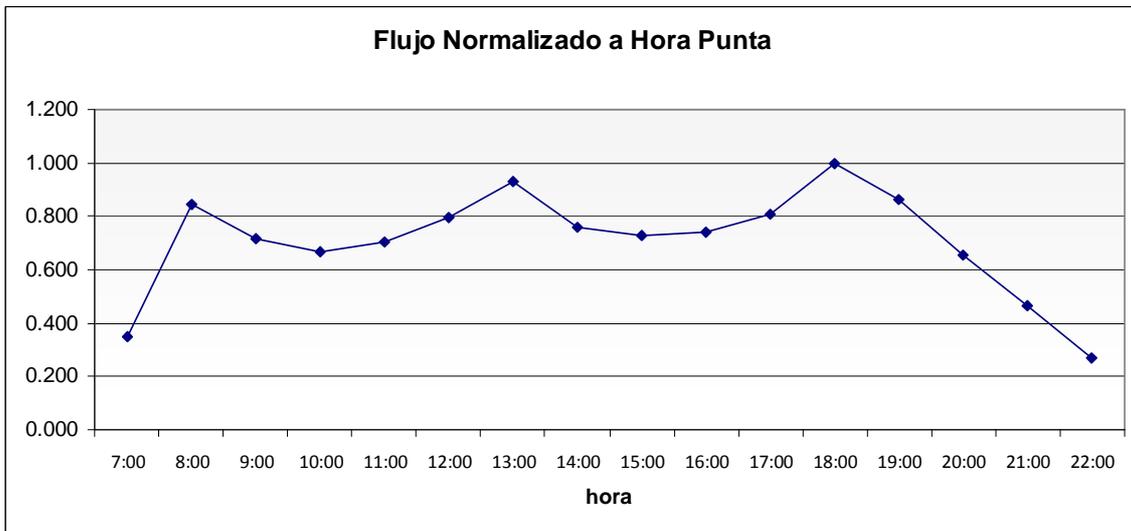


Figura 4-21: Perfil promedio de Circulación Normalizado a Hora Punta (entre 7:00 de la mañana y las 22:00 hrs).

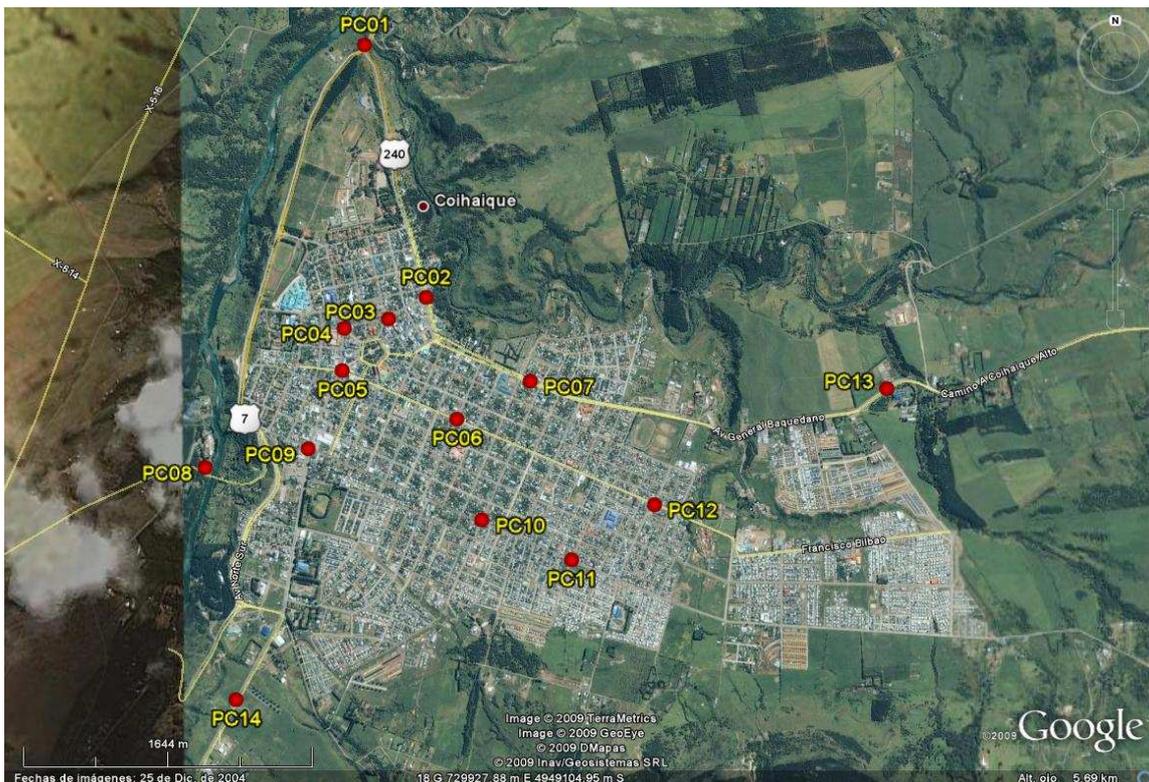


Figura 4-22: Ubicación de los 14 Punto de control utilizados en el conteo de vehículos en Coyhaique (estudio MIDEPLAN, 2006).

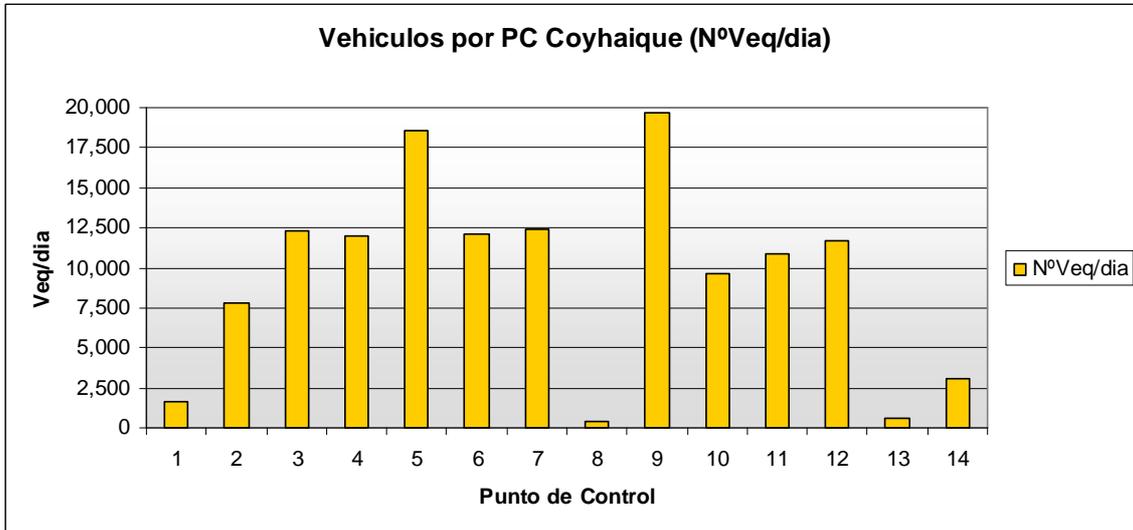


Figura 4-23: Resultado de conteo de vehículos equivalente en cada punto de control, según estudio MIDEPLAN, 2006.

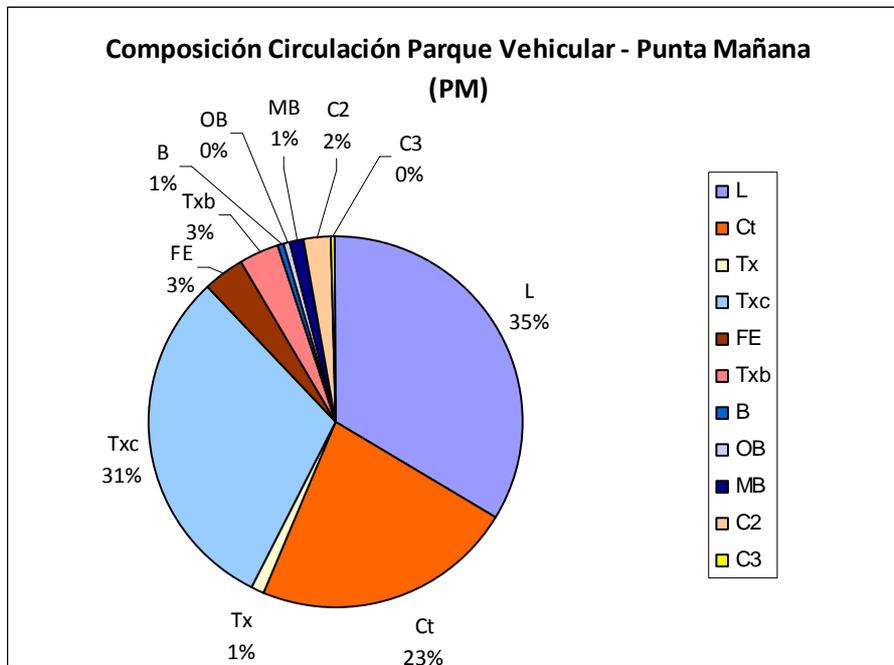
Como se observa en Figura 4-23, los puntos que presentan la mayor cantidad de vehículos equivalente<sup>21</sup> al día son los puntos de control 9 (Almirante Simpson con Av. Ogana) y 5 (Bilbao con Prat). En estos nodos circulan cerca de 20 mil y 18 mil vehículos diarios respectivamente.

Por el contrario, en los puntos de control ubicados en las salidas de Coyhaique, Puntos 1 (Camino a Puerto Aysén), 8 (Camino a Lago Atravesado), 13 (camino a Coyhaique Alto) y 14 (Av. Ogana camino a Balmaceda), presentan un flujo significativamente inferior que el resto de los puntos de control.

<sup>21</sup> Vehículo Equivalente se refiere a que cada vehículo se multiplica por un factor de equivalencia, por ejemplo: vehículo particular liviano equivale a 1.0, taxi básico = 1.0, taxi colectivo = 1.25, Furgón escolar = 1.25, camión 2 ejes = 2.0, camión +2 ejes = 2.5, minibús = 1.5 y microbús = 2.0. Por este motivo, el gráfico presentado en Figura 4-23 no refleja el numero de vehículos, en términos unitarios, que fueron contados en el punto de control, si no al equivalente.

De estos resultados se infiere que la gran mayoría del parque vehicular de Coyhaique circula dentro del radio urbano

De los resultados de este estudio, fue posible obtener una caracterización de la distribución de los vehículos en circulación de Coyhaique, los que son presentados en Figuras 4-24 y 4-25 para Punta Mañana (PM) y Fuera Punta (FP) respectivamente.



L	Vehículos livianos particulares.	B	Buses.
Ct	Camioneta.	Ob	Otros buses.
Tx	taxi básico.	Mb	Micro bus.
Txc	taxicolectivo.	C2	Camión de dos ejes.
Fe	Furgón escolar.	C3	Camión de más de dos ejes.
Txb	Taxibus.		

Figura 4-24: Composición del Flujo Vehicular en horario Punta Mañana (PM).

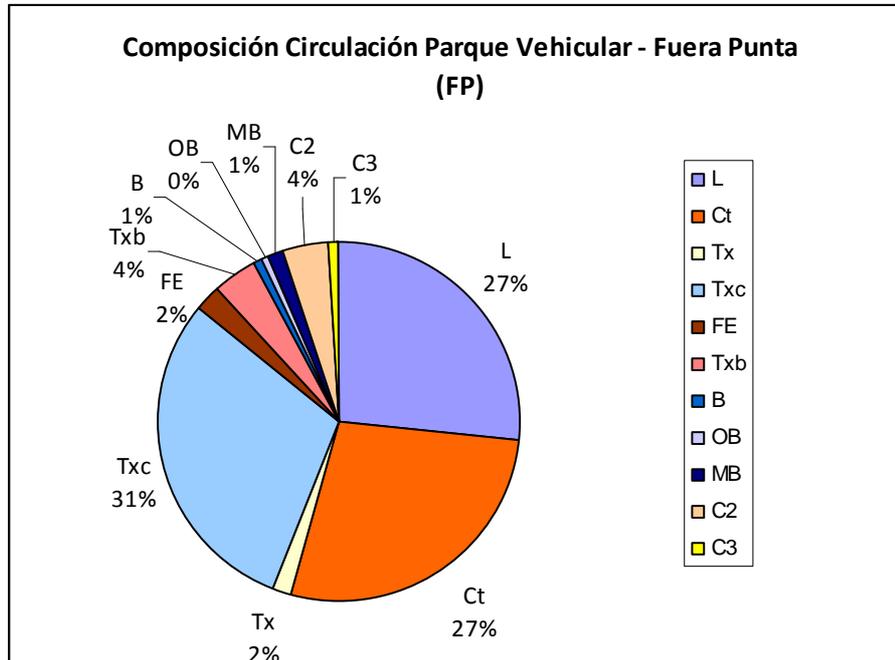


Figura 4-25: Composición del Flujo Vehicular en horario Fuera de Punta (FP).

Como se observa en ambas figuras, la distribución de flujo vehicular se comporta de manera relativamente homogénea para ambos horarios (PM y FP). La principal diferencia se aprecia en la proporción de Vehículos livianos particulares, que baja del horario PM de un 35% a un 27% en FP. Por el contrario, la camionetas aumentan en el horario FP de un 23% a un 27%. Los demás componentes del parque vehicular se mantienen en un rango de variación entre 0 a 2%.

#### 4.4.5 Distribución de Combustible.

A continuación en Tabla 4-13, se presentan los volúmenes de combustibles distribuidos en Coyhaique por las diferentes empresas, de acuerdo los datos entregados por ellas mismas.

Tabla 4-13: Volumen de Combustibles distribuidos en Coyhaique en m<sup>3</sup>.

<b>Distribuidora</b>	<b>Gasolinas<sup>a</sup> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Diesel (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Kerosene (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Copec</b>	503	707	72	<b>1,282</b>
<b>Esso</b>	135	150	10	<b>295</b>
<b>Shell</b>	1,280	1,560	s.i.	<b>2,840</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,918</b>	<b>2,417</b>	<b>82</b>	<b>4,417</b>

**Fuente:** Datos declarados por empresas distribuidoras.

<sup>a</sup> Estos valores corresponden al Total de Gasolinas distribuida por las empresas, para las cuales no se cuenta con antecedentes suficiente que permita distribuir el consumo por octanaje (93, 95 y 97).  
s.i.: Sin Información.

## 4.5 Fuentes Fugitivas.

### 4.5.1 Quemados e Incendios Forestales.

A continuación en Tabla 4-13, se presentan los volúmenes de combustibles De las fuentes fugitivas o difusas más relevantes, se encuentra la relativa a las quemados agrícolas y forestales. Para las cuales se tiene el registro que mantiene la CONAF, respecto de la autorización de quemados, obteniéndose la ubicación, hectáreas intervenidas y tipo de material que será quemado.

La Figura 4-26 siguiente se presenta una distribución de los sectores en los cuales se realizaron quemas agrícolas y forestales durante el año 2008.

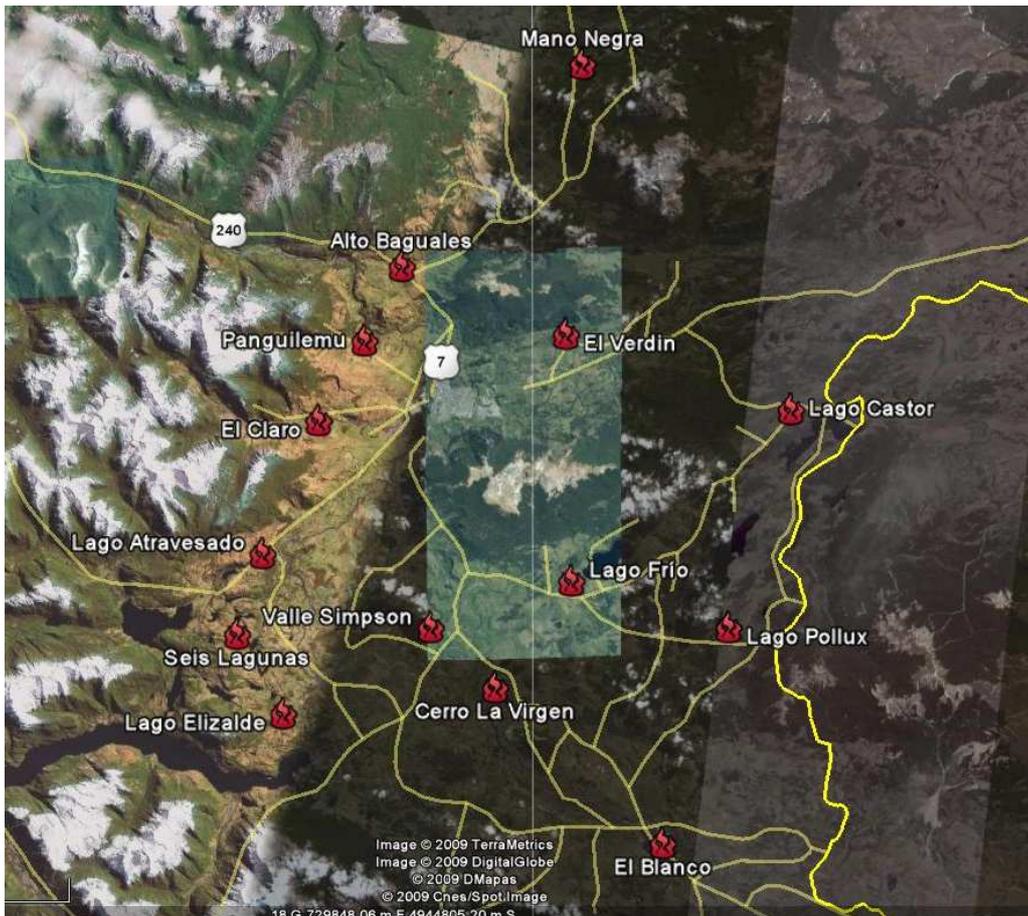


Figura 4-26: Ubicación de los sectores donde se realizaron quemas agrícolas y forestales autorizadas, en el año 2008.

En total, para el año 2008, se autorizaron un total de 111 quemas Agrícolas y 64 Quemias forestales, cubriendo un total de 455 y 346 hectáreas respectivamente. El detalle de las quemias se presenta en Tabla 4-14.

Tabla 4-14: Cantidad de Quemas Agrícola y Forestales autorizadas y hectáreas intervenidas para el año 2008.

<b>Tipo de Quema</b>	<b>Detalle</b>	<b>cantidades</b>
<b>Quemas Agrícolas</b>	Numero de Quemas Autorizadas	<b>111</b>
	Hectárea Quemadas por tipo de material Agrícola	
	Ramas y material leñosos en terrenos agrícolas	109
	De desechos de podas	2
	<b>Total Hectáreas intervenidas</b>	<b>455</b>
<b>Quemas Forestales</b>	Numero de Quemas Autorizadas	<b>64</b>
	Hectárea Quemadas por tipo de material Forestal	
	Desechos podas y raleos de Pino insigne	1
	Desechos podas y raleos Otras especies	3
	Vegetación muerta para recuperar suelos	60
	<b>Hectáreas intervenidas</b>	<b>346</b>

**Fuente:** CONAF.

#### **4.5.2 Construcción y Demolición.**

Respecto de otras fuentes fugitivas de polvo como la Construcción, los datos relevantes de caracterizar es la cantidad de metros cuadrados o superficie construida y el tiempo de duración de la obra.

La información provista por el Departamento de Obras Municipales, de la Ilustre Municipalidad de Coyhaique, se puede resumir en la extensión de 250 permisos de construcción los que se presentan a continuación en Tabla 4-15:

Tabla 4-15: Cantidad de permisos concedidos de obras en Coyhaique y cantidad de metros cuadrados construidos para el año 2008.

<b>Item</b>	<b>Detalle</b>	<b>cantidades</b>
<b>Permisos</b>	<b>Comerciales</b>	<b>10</b>
	<b>Habitacionales</b>	<b>216</b>
	<b>Oficina</b>	<b>2</b>
	<b>Otros</b>	<b>14</b>
	<b>Público</b>	<b>8</b>
	<b>Total de Permisos</b>	<b>250</b>
<b>Superficie</b>	Superficie Total Construida, en m <sup>2</sup>	<b>66,178</b>

**Fuente:** Departamento de Obras Municipales. I. Municipalidad de Coyhaique.

#### **4.6 Caracterización de las emisiones del proceso de combustión de leña.**

Los procesos de combustión resultan en un complejo conglomerado de emisiones atmosféricas y, en varios casos, de residuos sólidos. Las especies químicas que se pueden detectar en las emisiones dependen del tipo de combustible que está siendo quemado, sin embargo muchas de estas sustancias, pueden tener efectos nocivos en la salud de la población expuesta.

Prestando especial atención las emisiones producto de la combustión de leña, principal fuente de emisiones atmosféricas de Coyhaique, podemos señalar que los principales contaminantes son: Material Particulado, Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Hidrocarburos Volátiles, Material



Orgánico Policíclico<sup>22</sup> (dentro de los cuales se encuentran principalmente los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos ó PAH por sus siglas en inglés), aldehídos y constituyentes minerales. Los residuos sólidos, por su parte, incluyen materiales inertes del combustible (ceniza), madera no quemada o parcialmente quemada y materiales formados durante la combustión.

La combustión incompleta del combustible resulta en la producción de Monóxido de Carbono (CO) y la gran mayoría del Material Particulado (MP). Los óxidos de nitrógeno (NOx) provienen tanto del combustible como de la combinación del nitrógeno con el oxígeno del aire en la cámara de combustión. Los constituyentes minerales en el MP son liberados de la matriz de la madera durante la combustión. Por otro lado, los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH), resultan de la combinación de especies de radicales libres formado en la llama. La síntesis de estas moléculas es dependiente de un gran número de variables en la combustión.

El Azufre y las trazas de metales en la madera no son suficientes como para generar problemas de contaminación. Las cenizas, por su parte, son relativamente no tóxicas (incluso puede ser utilizadas como aditivo para el suelo, debido a su alto contenido de potasio).

Tal como se mencionaba anteriormente la toxicidad del humo, producto de la combustión de madera, se debe principalmente a la combustión incompleta de los productos la pirólisis de la lignina y de la celulosa (cuyas

---

<sup>22</sup> Materia Orgánica Policíclica (POM por sus siglas en inglés) incluye compuestos orgánicos con más de un anillo de benceno y que tenga un punto de ebullición mayor o igual a 100 °C. Un grupo de siete hidrocarburos aromáticos policíclicos (7-PAH), que han sido identificados por la EPA como probable cancerígeno Humano (benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, 7,12-dimetilbenzo(a)antraceno, criseno, indeno(1,2,3-cd)pireno) son usados como representativos, respecto de la peligrosidad, del gran grupo de compuestos denominados POM.

estructuras moleculares se presentan en Figuras 4-27 y 4-28 respectivamente), componentes abundantes de la biomasa.

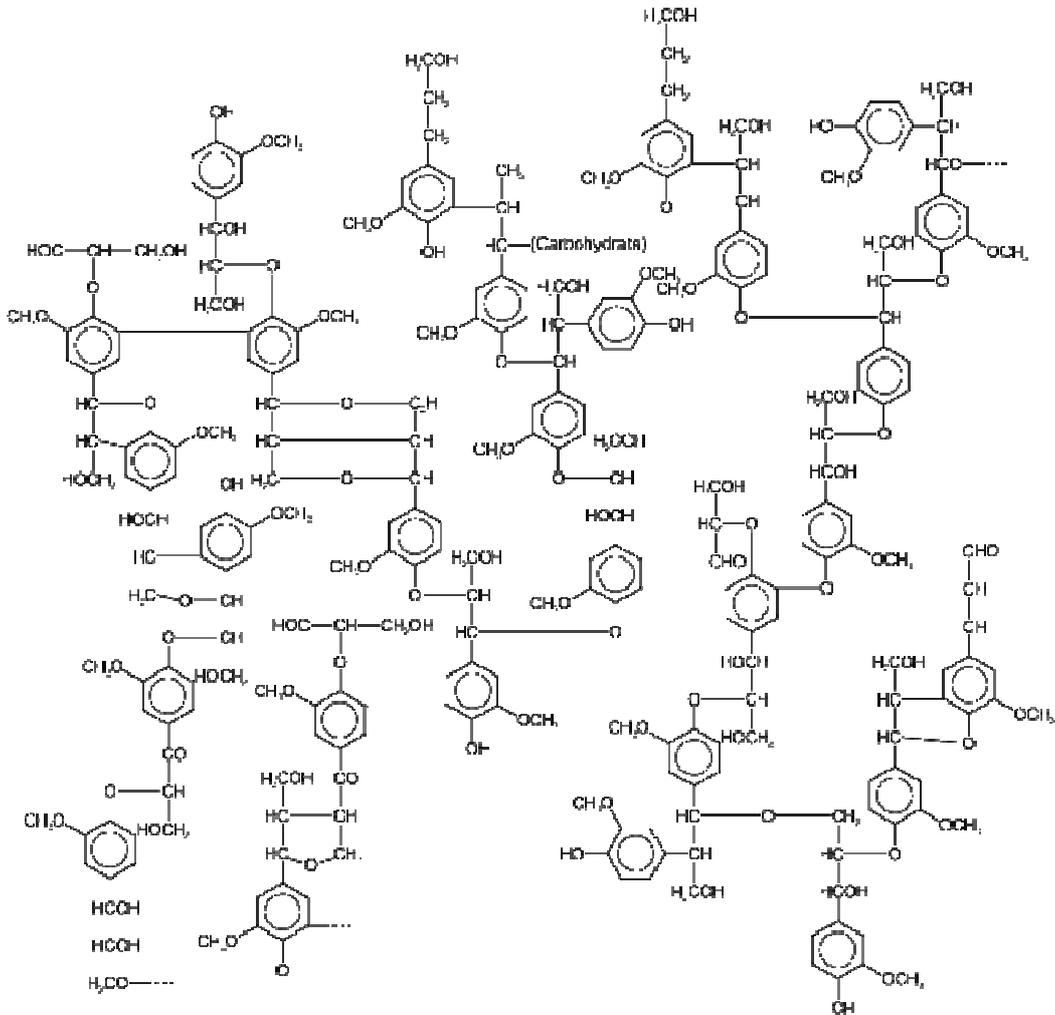


Figura 4-27: Estructura molecular de la lignina.

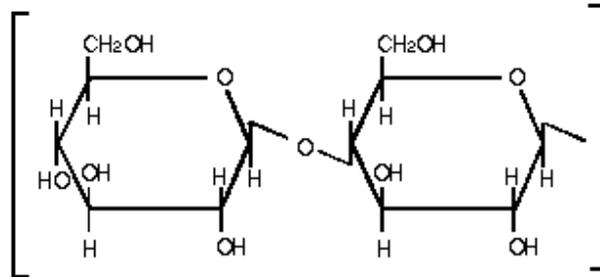


Figura 4-28 Estructura molecular de la celulosa.

Como se mencionó anteriormente, la combustión incompleta de estas complejas estructuras moleculares, son la principal materia prima para la formación de Hidrocarburos Policíclos Aromáticos (PAH), que lo que le adhieren características tóxicas al humo resultante de la combustión.

Según un estudio realizado en la Universidad de Umeå en Suecia<sup>23</sup>, sobre emisiones de Particulado y gases de la combustión residencial de biomasa, se establece que la combustión de leña es considerada como una de las principales fuente a la concentración ambiental de hidrocarburos (por ejemplo COV y PAH) y de Material Particulado (MP). Por otro lado, la exposición a estos contaminantes ha sido asociada con efectos adversos a la salud.

Este estudio, entrega un además un rango de valores para factores de emisión de PAH<sub>TOTAL</sub> para estufas a leña entre 1,300 a 220,000 µg/MJ. Realizando la estimación para Coyhaique, resulta una emisión total entre 5.6 y 952 ton/año<sup>24</sup>. Si consideramos el factor que entrega la EPA, de 0.038

<sup>23</sup> Boman, Cristoffer. "Particulate and gaseous emissions from residential biomass combustion". Umeå Universitet, Suecia. 2005.

<sup>24</sup> Considerando que le Lengua y Ñire tienen un poder calorífico aproximado de 4,400 kcal/kg. (Para realizar conversión se considera que 283.85 kcal equivalen a 1 Mega Joule - MJ).



gr PAH/kg de leña quemada<sup>25</sup>, se obtiene una emisión de 8.9 ton/año. Lo que se acerca al valor inferior obtenido utilizando los factores del estudio sueco. Un estudio realizado en Canadá<sup>26</sup>, utiliza factores de emisión de COV y PAH para estufas de 21.3 y 0.276 gr/kg respectivamente. Aplicando estos factores en el escenario de Coyhaique resulta una emisión aproximada de 5,000 ton/año de COV y 65 ton/año de PAH.

Tal como se aprecia, todos los estudios concuerdan respecto de los principales contaminantes emitidos en el humo de la combustión de leña. Sin embargo, existe una gran variabilidad en la cuantificación de estos contaminantes. Según el estudio canadiense, la participación relativa que tendrían los 4 contaminantes de interés, según tipo de artefacto, sería la que se especifica en Tabla 4-15 siguiente:

Tabla 4-15: Proporción relativa de los cuatro contaminantes de mayor interés para emisiones producto de combustión residencial de leña, según estudio Canadiense.

<b>Especie</b>	<b>Chimeneas</b>	<b>Estufas</b>
<b>PM2.5</b>	<b>18%</b>	<b>9%</b>
<b>CO</b>	<b>76%</b>	<b>77%</b>
<b>COV</b>	<b>6%</b>	<b>14%</b>
<b>PAH</b>	<b>0.04%</b>	<b>0.2%</b>
	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Germain, A. 2005.

<sup>25</sup> Residential Wood Combustion; Emissions and safety Guidebook. EPA.1985.

<sup>26</sup> André Germain. Impact of Residential Wood Store Replacement on Air Emissions in Canada. 2005



Se concluye de tabla anterior que la fracción de PM2.5 varía entre un 9 y 17% de las emisiones totales, mientras que los COV oscilan entre 6 y 14%. El cuociente CO/COV resultante para chimeneas es de 12, mientras que para estufas es de 5.4.

Según los factores de emisión considerados en el proyecto SINCA de CONAMA, estas proporciones serían similares para las estufas (combustión lenta), pero muy diferentes en Chimeneas, tal como se observa en Tabla 4-16. Para Estufas la proporción CO/COV es de 4.4, mientras que para Chimeneas resulta en 1.1. Lo que significa que las emisiones de CO y COV estarían prácticamente equiparadas en este tipo de artefacto. La emisión de COV alcanzaría un total de más de 48 mil toneladas anuales en el caso de Coyhaique, con los factores considerados por el SINCA. Lo que sería alrededor de 9 veces más que lo estimado con factores del estudio canadiense.

Tabla 4-16: Proporción relativa de los cuatro contaminantes de mayor interés para emisiones producto de combustión residencial de leña, según proyecto SINCA.

<b>Especie</b>	<b>Chimeneas</b>	<b>Estufas</b>
<b>PM2.5</b>	<b>7%</b>	<b>9%</b>
<b>CO</b>	<b>49%</b>	<b>74%</b>
<b>COV</b>	<b>44%</b>	<b>17%</b>
<b>PAH</b>	-	-
	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Proyecto SINCA, CONAMA.**

Otro hecho importante de destacar, es que las partículas finas (en un rango de 100-300 nm) dominan en todos los casos el Material Particulado (MP) con un 80-95% como MP<sub>1</sub> (también denominado MP ultrafino). Esto significa que prácticamente el 90% del Material Particulado Respirable (MP<sub>10</sub>) proveniente de la combustión de la leña corresponde a MP Ultrafino (MP<sub>1</sub>).

Finalmente, el estudio sueco caracterizó el contenido de PAH en el humo de la combustión de leña, y determinó que existen los siguientes compuestos, distribuidos entre particulado y fase semi-volátil durante diferentes condiciones de muestreo, los que se presentan en Tabla 4-15 siguiente:

Tabla 4-15: Resumen de los principales compuestos PAH caracterizados en el humo de la combustión de leña.

PAH siempre presente en forma de particulado	Siempre encontrada como fase Semi volátil	No detectado en ninguno de los casos
Dibenzothiofeno	2-Metilfluoreno	9-metilantraceno
9,10-Dimetilantraceno	3,6-Dimetilphenantreno	Indeno(1,2,3)fluoranteno
Benzo(a)fluoreno		Dibenzo(a,h)antraceno
2- 4- y 1-Metilpireno		
Benzo(g,h,i)fluoranteno		
Benzo(c)phenantreno		
Criseno		
Benzo(b+k)fluoranteno		
Benzo(e)pireno		
Benzo(a)pireno		
Perileno		
Indeno(1,2,3)pireno		
Benzo(ghi)perileno		
Coroneno		

Fuente: Boman. C. 2005.

En Figura 4-29, se presentan las estructuras moleculares que corresponden a los PAH más peligrosos conocidos, para los cuales se ha

determinado que existen evidencias suficiente como para ser considerados como potenciales y/o posibles cancerígenos en humanos.

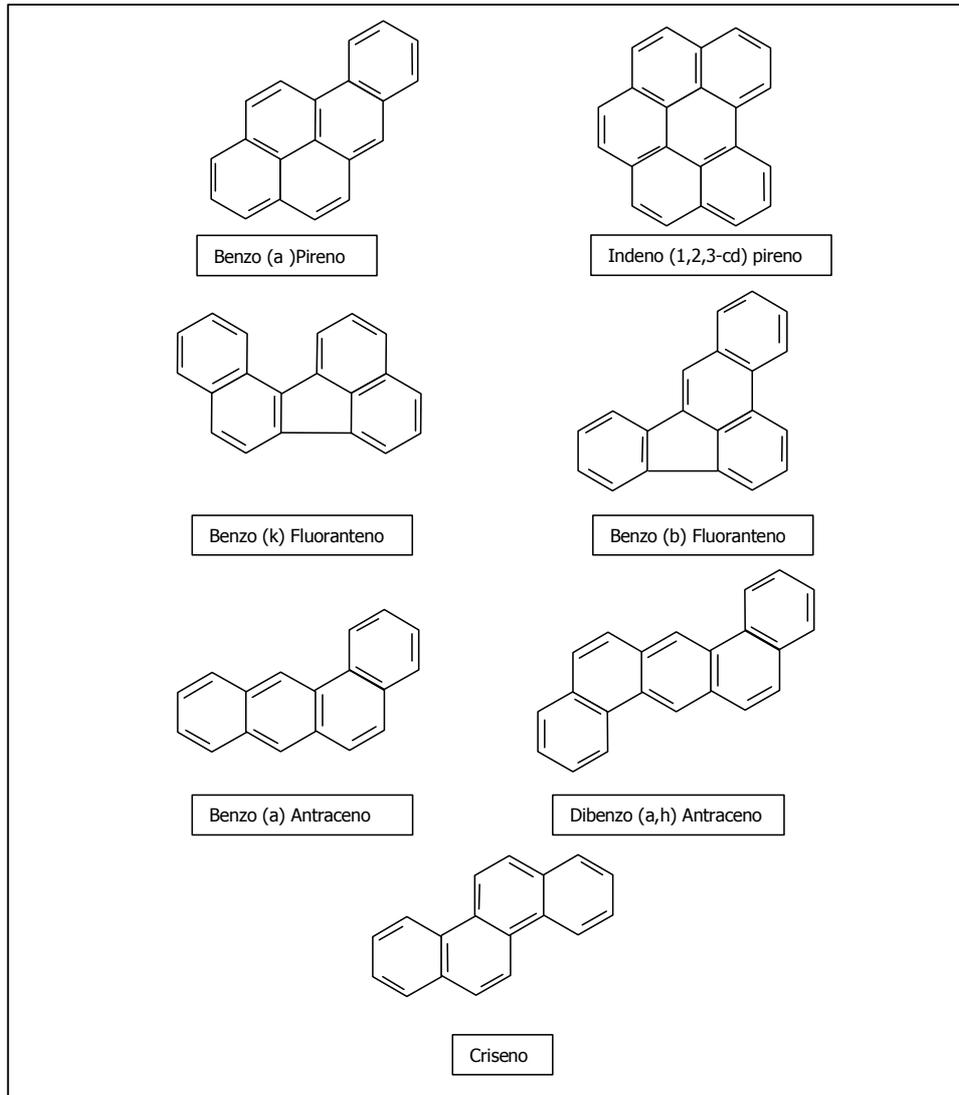


Figura 4-29 Estructura molecular de los 7- PAH más peligrosos.



Por otro lado, los contaminantes más comunes encontrados dentro de los COV son entre otros: Benceno, etilbenceno, estireno, tolueno y xileno. Para lo cuales existen pruebas suficientes para considerarlos como contaminantes peligrosos para la salud.

A pesar de la evidencia científica existente, que establece la peligrosidad de los algunos de los componentes del humo de la combustión de leña, no existen antecedentes para el presente estudio, que permitan correlacionar el aumento de la tasa de mortalidad y/o morbilidad producto de enfermedades respiratorias no-infecciosas o aparición de tumores o cáncer (a la laringe, pulmonar, leucemia, etc.) producto de la exposición de la población de Coyhaique a estos niveles de contaminación en la ciudad.

Sin embargo cabe señalar, que el estudio sueco citado anteriormente, indica que el cambio en el uso de leña a otro combustible, como pellets, puede ser una solución para reducir en forma significativa los niveles de emisión de contaminantes tóxicos. Se determinó que la reducción sería de 1,300-220,000 ug/MJ a 2-300 ug/MJ, lo que significa una disminución aproximada de 700 veces.

Finalmente, según antecedentes entregados por estudios realizados a internacional y a nivel nacional<sup>27</sup>, otro producto de la combustión incompleta de la biomasa, que reviste gran interés desde el punto de vista de la salud de la población, son las dioxinas y furanos (D/F).

---

<sup>27</sup> Inventario Nacional de Fuentes de Emisión de Dioxinas y Furanos. Universidad de Concepción. 2002.



Las dioxinas y furanos (D/F) son contaminantes considerados tóxicos, persistentes y bioacumulables. Debido a su extraordinaria persistencia ambiental y capacidad para acumularse en los tejidos biológicos, las dioxinas y los furanos están programados para ser virtualmente eliminados en países como Canadá, según los comunicó el Consejo Ministerial para el Medio Ambiente (CCME) de este país (visitar sitio [www.ccme.ca](http://www.ccme.ca)).

Al igual que par los PAH, las emisiones de D/F se encuentran influenciadas por condiciones tales como: cambios en la composición del combustible, carga del combustible e inyección de aire a la cámara de combustión (Boman, C. 2005). Lo que hace que los factores de emisión se encuentren dentro de rangos muy amplios, que hacen menos válida su representación estadística.

Por ejemplo, Environmental Canada reportó en el 2002 emisiones de D/F de una estufa de leña certificada por la EPA en un rango de 0.74 y 0.26 ng-EQT/kg (nanogramos de Equivalente Tóxico<sup>28</sup> por kilogramos de combustible quemado). De lo anterior cabe señalar que las emisiones de D/F, se determinan respecto al estándar de toxicidad de la "mezcla" de D/F y no a la masa, por lo que el impacto o la exposición a estas sustancias también se encuentra asociado al EQT.

---

<sup>28</sup> Equivalente Tóxico ó EQT, es una medida relativa al nivel de toxicidad de la dioxina más tóxica conocida (2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-Dioxina ó TCDD), la cual tiene un factor de 1. Esto significa que el resto de las especie sólo tienen una fracción de la toxicidad de la TCDD. Por ejemplo, el EQT de la 2,3,7,8-TCDF (tetraclorodibenzo furano) es de 0.1, lo que significa que 10 ug/m<sup>3</sup> de TCDF tendrían igual toxicidad que 1 ug/m<sup>3</sup> de TCDD.



## **CAPÍTULO IV**

### **INVENTARIO EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE COYHAIQUE.**

#### **5.1 Introducción.**

En este Capítulo se presenta la estimación de las emisiones atmosféricas para la ciudad de Coyhaique. La estimación para los principales procesos emisores identificados para la ciudad de Coyhaique, entre los cuales se encuentran, en orden de importancia: emisiones de gases y partículas producto del consumo de leña en el sector residencial y de grandes consumidores (dentro de los que se incluyen los sectores Industrial, Comercial y Servicios o Institucional) principalmente para calefacción, quema de combustible fósil para calefacción y procesos, emisiones vehiculares y quemas agrícolas y forestales.

La combustión residencial de leña, principal fuente emisora, se entiende por aquel proceso a través del cual se descompone térmicamente combustible dendroenergético (madera) mediante el uso de artefactos de combustión domiciliarios, tales como calefactores, cocinas a leña, chimeneas, salamandras, entre otras, con objeto de generar la energía calórica necesaria para calefaccionar ambientes y/o para la cocción de alimentos.

Las principales emisiones atmosféricas producto de la combustión de madera corresponden a: Material Particulado (MP), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos Nitrosos (N<sub>2</sub>O), compuestos orgánicos, residuos minerales, y



en menor grado óxidos de azufre (SOx)<sup>29</sup>. El nivel de emisiones, tanto de gases y partículas, posee gran variabilidad y depende de factores tales como: composición del combustible y contenido de humedad, diseño del equipo de combustión (calefactor o cocina), hábitos y prácticas de operación, como también la mantención del equipo, entre otros factores.

En primer lugar, se presenta la metodología de cálculo de emisiones. En segundo lugar, se presentan los factores de emisión utilizados para realizar la estimación, y, finalmente se presentan los resultados obtenidos para los diferentes grupos consumidores de leña (residencial, industrial, comercial e Industrial).

## 5.2 Metodología de Cálculo.

### 5.2.1 Metodología de Cálculo de Emisiones.

De acuerdo a lo señalado en el primer informe de Avance, la metodología utilizada para la estimación de emisiones de contaminantes, para cada fuente, en la zona de Coyhaique, corresponde a la establecida por US EPA y está representada mediante la ecuación 3 siguiente:

$$Em_i : FE_i * NA_i * \left[ 1 - \frac{EC_i}{100} \right]$$

**Ecuación 3**

<sup>29</sup> Inventario de Emisiones Atmosféricas para las ciudades de Chillán y Los Ángeles. Informe Final. Universidad de Temuco, Escuela de Ingeniería Ambiental. 2008.



Donde:

Em: Emisión de contaminante  $i$  (kg/día)

FE: Factor de Emisión  $i$  (masa de contaminante liberada por unidad de masa procesada).

NA: Nivel de Actividad del proceso emisor de  $i$ .

EC: Eficiencia de Control de Emisiones (%)

Respecto de obtención de la información necesaria para realizar los cálculos, podemos señalar, por un lado, que la fuente de datos correspondiente al Nivel de Actividad es el resultado de la encuesta sobre consumo de leña realizada por EnviroModeling Ltda. en mayo del 2009, cuyos valores finales fueron contrastados con otros estudios realizados en la zona. Por otro lado, los factores de emisión, valor representativo que busca relacionar la cantidad liberada a la atmósfera, de un contaminante en específico, con la actividad asociada a la generación de dicho contaminante, corresponden a los utilizados en los últimos Inventarios de Emisiones desarrollados en otras ciudades de Chile, tales como Santiago, Concepción y Chillán.

A continuación se presentan los factores de emisión utilizados para este estudio y las diferentes consideraciones adoptadas para la estimación.

### 5.2.2 Transformación Unidades para combustibles de Madera.

Una de las principales dificultades en la obtención del nivel de actividad del uso de combustible de madera (toneladas de leña consumida), es transformar de forma correcta las unidades.

En primer lugar, la unidad con la cual se mide la madera consumida en los hogares es el metro estéreo (MS), comúnmente denominado como "metro". Este tipo de unidad de volumen, posee espacios en su interior por lo que no refleja el volumen "real" de madera que hay dentro del metro cúbico. Utilizando el estudio de INFOR como base, se obtuvo el factor de corrección entre el metro estéreo (MS) y el metro cúbico sólido con corteza (m<sup>3</sup> scc).

En Tabla 5-1, se presentan los factores de corrección de MS a m<sup>3</sup> scc, según tipo de vehículo de transporte.

Tabla 5-1: Factores de corrección de MS a m<sup>3</sup> scc.

vehículo	Factor	Valor del factor
<b>Camionetas</b>	Fcta	0.56
<b>Camiones</b>	Fcam	0.68

Los factores de Tabla 5-1 se aplican a la cantidad de MS declarada por el consumidor para llevarlo a m<sup>3</sup> sólidos, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Volumen_{Leña\_m^3scc} = Volumen_{MS} \times f_{conv} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$Volumen_{Leña\_m3scc}$  : Volumen Sólido de Madera, en m3.

$Volumen_{MS}$  : Volumen percibido o declarado, en MS.

$F_{conv}$  : Factor de conversión.

Esto significa que, dependiendo del tipo de vehículo en el cuál es transportada la leña, se debe multiplicar el volumen declarado (por ejemplo: 3 “metros” de una camioneta) por el factor (0.56) para obtener el volumen en metros cúbicos sólidos (1.68 m3 scc).

Con el valor en m3 sólido, es posible obtener un acercamiento más realista a la masa de la madera. A su vez, la masa depende del contenido de humedad que posee, lo que hace variar su densidad. En Tabla 5-2 siguiente, se presentan distintos valores de densidad de las principales especies consumidas en Coyhaique, según niveles de humedad.

Tabla 5-2: Valores de densidad según especie de madera, para distintos niveles de humedad.

Equipo	Densidad por Contenido de Humedad (en base seca)			Densidad Media (kg/m3)
	Seca (24%)	Semi Húmeda (45%)	Húmeda (80%)	
Lenga	650	754	936	<b>780</b>
Ñire	700	812	1008	<b>840</b>
Coihue	592	692	858	<b>714</b>



Finalmente, para obtener la cantidad de masa de leña relativa al volumen es necesario multiplicar la densidad por el volumen sólido.

En términos generales, para efectos de la estimación de la masa de leña consumida en el sector residencial, se consideró que el 56% de la leña consumida se encuentra dentro del rango "seca" y como "semi-húmeda" el 44% restante. En cambio, para los Grandes Consumidores, se consideró que el total de la leña consumida corresponde a leña seca.

## **5.3 Emisiones Residenciales.**

### **5.3.1 Antecedentes para estimación de emisiones.**

La estimación de las emisiones, tal como se señaló anteriormente, se obtienen del producto entre el Factores de Emisión (FE), propios del tipo de equipo de combustión, y los niveles de actividad del proceso emisor (consumo de leña).

Dado que estos antecedentes son necesarios en la estimación de las emisiones se detallan a continuación, la distribución del tipo de equipo de combustión a leña y el consumo de leña corregido de metro estéreo a m<sup>3</sup> sólidos con corteza.

### **5.3.2 Tipos de Equipos de Combustión a Leña Residencial**

De acuerdo a los resultados presentados en Capítulo 3, del presente informe, sobre caracterización de las fuentes emisoras, la distribución de la propiedad de Equipos de combustión a leña, obtenidos a partir de la

encuesta realizada por Enviro modeling, permitió determinar la proporción de usuarios que poseen cocinas a leña, equipos de combustión lenta y salamandras y/o chimeneas dentro de sus hogares. A continuación en Figura 5-1, se presenta la distribución obtenida como producto de la encuesta realizada en Mayo del 2009 por el equipo consultor.

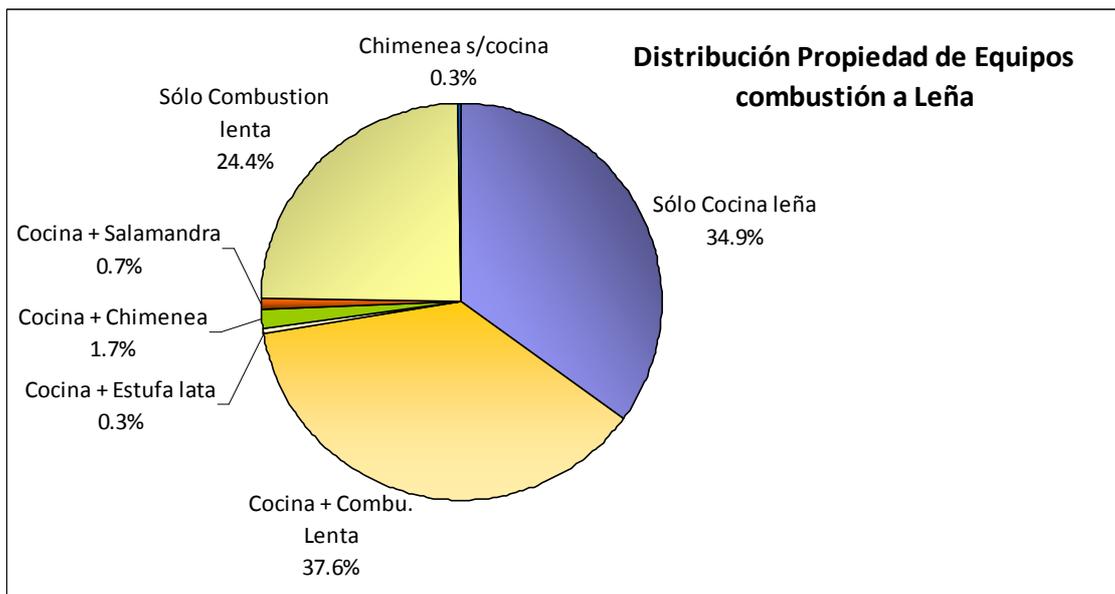


Figura 5-1: Distribución de la propiedad de equipos de combustión a leña de la ciudad de Coyhaique.

Del gráfico anterior, se desprende que el 35% de la población posee sólo cocina a leña y el 24% sólo tiene combustión lenta como único equipo de calefacción. También existen combinaciones en la posesión de los distintos equipos, dentro de los cuales se encuentran: los que poseen dos artefactos en el hogar como cocina y combustión lenta (38%) ó cocina más otros como chimeneas y salamandras (2.7%). En resumen un 74% de lo hogares posee una cocina a leña y 65% posee un equipo de combustión lenta. Sólo un 3% posee otros artefactos como chimeneas o salamandras.



### 5.3.3 Factores de Emisiones combustión Residencial de Leña.

Hoy en día existe una gran variedad de Factores de Emisión (FE) utilizados para la estimación de emisiones de gases y partículas producidas por la combustión de leña. Estos factores se respaldan en estudios realizados *in-situ* y dependen de variables locales y de los métodos de medición utilizados.

Otros Inventarios de Emisiones elaborados en Chile, concluyen que la cuantificación de las emisiones de Material Particulado, fracción respirable y fina, debe ser por medio de factores que estén en función del tipo de equipo de combustión y del grado de humedad del combustible, siendo este último el principal factor o el más influyente en la estimación de las emisiones<sup>30</sup>.

En Chile, se han desarrollado FE específicos, al grado de diferenciar los niveles de emisión dependiendo de los dos factores mencionados anteriormente, esto quiere decir tanto por tipo de artefacto utilizado para la combustión, como por el contenido de humedad de la leña.

En Tabla 5-3 siguiente se presentan los FE seleccionados para este proyecto. Estos fueron obtenidos a partir del estudio "Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas" disponibles para la RM y las comunas de Temuco y Padre Las Casas, elaborados por DICTUC, entre el 2007 y 2008.

---

<sup>30</sup> Inventario de Emisiones Atmosféricas para las ciudades de Chillán y Los Ángeles. Informe Final. Universidad de Temuco, Escuela de Ingeniería Ambiental. 2008.

Estos factores están asociados a tres grupos distintos de equipos o artefactos utilizados en la combustión, estos son: cocina a leña, combustión lenta y salamandra/chimenea tradicional. Debido a la relevancia del contenido de humedad de la leña, es que estos factores se encuentran a su vez, especificados por rango de Humedad en porcentaje sobre base húmeda<sup>31</sup>: 0-20%, 21-30% y un tercer rango considerado como "mala operación" (correspondiente a la reducción de la inducción de aire al equipo).

Tabla 5-3: Factores de Emisión Material Particulado asignados a cada artefacto por contenido de Humedad.

Equipo	Contaminante	Factores de Emisión según contenido de Humedad <sup>a</sup> (gr/Kg)		
		0-20% <sup>b</sup>	21-30%	Mala Operación
Cocina	MP	20.00	32.20	101.3
	MP10	19.20	30.90	97.1
	MP2.5	18.60	30.10	94.3
Combustión Lenta	MP	15.70	25.30	79.3
	MP10	15.00	24.20	76.0
	MP2.5	14.60	23.50	73.9
Salamandra/chimenea	MP	18.10	29.20	91.5
	MP10	17.30	27.90	87.7
	MP2.5	16.80	27.10	85.2

<sup>a</sup> Contenido de humedad sobre base húmeda.

<sup>b</sup> Según los estudios indicados, este rango humedad (leña seca) se considera como operación típica. Sin embargo, el INFOR en 2004 determinó que el contenido de humedad promedio de la madera comercializada en Coyhaique es semi-húmeda (45% Humedad).

<sup>c</sup> La unidad de medida del FE es gr/kg, lo que corresponde a gramos de MP por cada kilogramo de madera consumida (quemada), lo que es equivalente a expresarlo en kg/ton de leña quemada.

**Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.**

<sup>31</sup> La Base Húmeda corresponde a la escala relativa de humedad, donde 0% corresponde al mínimo de contenido de agua, también llamado de "equilibrio", que es de un 20% sobre base seca.



Del análisis de la tabla anterior se desprende que, en términos generales, la variación del contenido de humedad de la leña, de 0-20 a 21-30% en base húmeda, genera un incremento de las emisiones en aproximadamente un 40% para los tres tipos de equipos de combustión. Por otro lado, el proceso de combustión en condiciones de "mala operación", aumentan en un 70% las emisiones respecto del rango con mayor humedad.

Como resultado de la encuesta, se determinó que los consumidores utilizan la leña en sus diferentes grados de humedad (seca, semihúmeda y húmeda), sin embargo, esto se considera como una medida subjetiva que no refleja estrictamente la distribución en el consumo en sus diferentes grados de humedad. Por este motivo, se considera en la estimación preliminar que el 50% de los consumidores queman leña en el rango de 0-20 y el 50% restante lo hace en el rango 21-30. Esto a la espera de obtener mejores antecedentes que permitan definir una mejor distribución del consumo.

A continuación en Tabla 5-4 se presentan los factores de emisión para los contaminantes CO, NO<sub>x</sub>, COV y SOX por tipo de equipo de combustión considerando el contenido de humedad de la leña



Tabla 5-4: Factores de Emisión de CO, NOx, COV y SOx Asignados a Cada Artefacto Considerando Contenido de Humedad de la Leña.

Equipo	Contaminante	Factores de Emisión según contenido de Humedad de la leña <sup>a</sup> (gr/Kg)		
		0-20%	21-30%	Mala Operación
Cocina	CO	126.30	401.00	-
	NOx	1.30	1.30	-
	COV	114.50	363.50	-
	SOx	0.20	0.20	-
Combustión Lenta	CO	115.40	366.40	584.7
	NOx	1.40	1.40	1.4
	COV	26.50	84.10	134.3
	SOx	0.20	0.20	0.2
Salamandra/chimenea	CO	126.30	401.00	-
	NOx	1.30	1.30	-
	COV	114.50	363.50	-
	SOx	0.20	0.20	-

<sup>a</sup> Ver Notas al Pie, de Tabla 5-3 anterior.

### 5.3.4 Nivel de Actividad. Consumo de Leña Promedio Total y por Vivienda.

En Tabla 5-5, se presentan los valores obtenidos para el consumo de leña residencial, en unidades de toneladas al año.

Tabla 5-5: Consumo anual en toneladas de combustible de madera en el sector residencial, según especie.

Consumo por Tipo de Leña	% Relativo <sup>a</sup>	Rango de Consumo Total <sup>b</sup>		Consumo Promedio Total (ton/año)	Rango de Consumo por vivienda <sup>c</sup>		Consumo Promedio por Vivienda (ton/año)
		Inferior (ton/año)	Superior (ton/año)		Inferior (ton/año)	Superior (ton/año)	
Lenga	67	101,027	149,024	125,026	6.4	9.5	7.9
Ñirre	31	50,339	157,930	104,135	3.2	10.0	6.6
Otras	2	2,761	8,661	5,711	0.2	0.5	0.4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>154,127</b>	<b>315,615</b>	<b>234,871</b>	<b>9.8</b>	<b>20.0</b>	<b>15</b>

<sup>a</sup> Consumo relativo sobre base resultados encuesta Enviromodeling (EM)– Mayo 2009.

<sup>b</sup> La encuesta EM-2009, caracterizó el consumo de la población de Coyhaique mediante rangos o intervalos, por lo que los resultados consideran tanto el valor mínimo (Inferior) como el máximo (superior) del rango.

<sup>c</sup> Se consideró un total de 15,753 viviendas, según Censo 2002. INE.

**Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.**

En la tabla anterior, es posible observar que el consumo total promedio es de 234,871 toneladas por año, de las cuales 149,024 toneladas son de Lenga, 104,135 de Ñirre y las 5,711 restantes, corresponden a otras especies como Coigue.

Por otra parte, anualmente el consumo promedio por vivienda oscila entre 9.8 y 20.0 toneladas, lo que entrega un promedio de **15 ton/año**.

### 5.3.5 Cálculo Emisiones Atmosféricas atmosféricos del sector Residencial.

Las emisiones por tipo de artefacto de combustión y las emisiones totales, estimadas para la ciudad de Coyhaique incluidas en este inventario de emisiones atmosféricas, se presentan a Tablas 5-6 y 5-7 siguientes.



Tabla 5-6: Emisiones de MP en fracciones gruesa, respirable y fina, CO, NOx, COV y SOx en toneladas anuales, por tipo de Equipo.

Equipo	Contaminante	Emisiones		Emisiones Promedio (ton/año)
		Inferior (ton/año)	Superior (ton/año)	
<b>Cocina</b>	MP	2,897	5,932	2,897
	MP10	2,780	5,693	2,780
	MP2.5	2,702	5,532	2,702
	CO	30,105	61,649	45,877
	NOx	148	304	226
	COV	27,291	55,885	41,588
	SOx	23	47	35
<b>Combustión Lenta</b>	MP	2,020	3,823	2,020
	MP10	1,931	3,655	1,931
	MP2.5	1,877	3,553	1,877
	CO	24,424	46,225	35,325
	NOx	142	269	205
	COV	5,607	10,611	8,109
	SOx	20	38	29
<b>Salamandra/ chimenea</b>	MP	106	217	106
	MP10	101	207	101
	MP2.5	98	201	98
	CO	1,215	2,488	1,852
	NOx	6	12	9
	COV	1,101	2,255	1,678
	SOx	1	2	1.4

Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.

Como vemos en Tabla 5-6, el grupo de las cocinas a leña presenta las mayores emisiones anuales de material particulado grueso y fino, luego le siguen los equipos recombustión lenta, y finalmente, las menores emisiones se presentan en el grupo de las salamandras y chimeneas.

Tabla 5-7: Emisiones Globales de MP en fracciones gruesa, respirable y fina, CO, NOx, COV y SOx totales anuales y promedios diarios.

Equipo	Emisiones (ton/año)			Emisiones (ton/día)		Emisiones Promedio (ton/día)
	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	
MP	5,023	9,972	7,497	13.8	27.3	<b>20.5</b>
MP10	4,813	9,556	7,184	13.2	26.2	<b>19.7</b>
MP2.5	4,677	9,287	6,982	12.8	25.4	<b>19.1</b>
CO	52,259	103,463	77,861	143	283	<b>213.3</b>
NOx	296	585	441	0.8	1.6	<b>1.2</b>
COV	31,874	64,454	48,164	87	177	<b>132.0</b>
SOx	44	87	66	0.1	0.2	<b>0.2</b>

Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.

Por otra parte en Tabla 5-7, es posible observar que en promedio, diariamente se emiten 19.7 toneladas de material particulado respirable (MP10). Mientras que la fracción fina (MP2.5) corresponde a 19.1 toneladas por día, y corresponde a un 97 % del MP10.

### 5.3.6 Comparación de resultados con otros estudios realizados a nivel Nacional.

Existen en los últimos tres años varios estudios que determinan en forma específica la situación de consumo de leña y la emisión por combustión de ésta. Para la comparación consideraremos tres estudios más recientes:

- "Análisis del mercado de la leña y carbón en el Gran Concepción, I Etapa", realizado por la UDT de la Universidad de Concepción, el año 2004.
- "Definición de un área de influencia de las emisiones que causan el efecto de saturación por material particulado respirable en la ciudad

de Chillán y alrededores, y su relación con las condiciones meteorológicas locales”. Enviro modeling Ltda. 2008.

- “Inventario de Emisiones Atmosféricas para las ciudades de Chillán y los Ángeles”. Desarrollado por la Universidad de Temuco. 2008.
- “Actualización del Inventario de Emisiones Atmosférica en la Comunas de Temuco y Padre las Casas”. Elaborado por DICTUC. 2008.

En primer lugar, en Figura 5-2 se presentan los niveles de consumo estimados para cinco ciudades de Chile, en las cuales de han desarrollado estudios relacionados a emisiones atmosféricas.

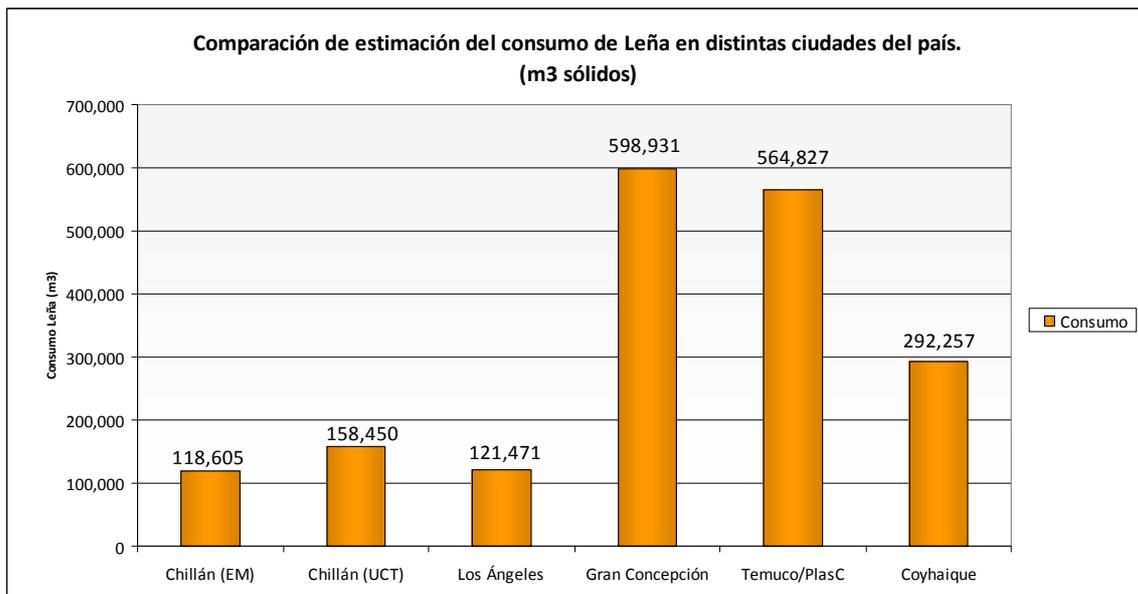


Figura 5-2: Comparación de estimación del consumo de leña en diferentes ciudades, de acuerdo a distintos estudios realizados a nivel nacional.

Nota: Chillán (EM) y Chillán (UCT) se utilizó para diferenciar los resultados de consumo utilizados en los estudios realizados por Enviro modeling y la Universidad de Temuco respectivamente.



Tal como se observa en el gráfico anterior, el consumo del Gran Concepción es el más alto (casi 600 mil m<sup>3</sup> sólidos)<sup>32</sup>. Temuco y Padre Las Casas siguen en segundo lugar con 564 mil m<sup>3</sup>. En tercer lugar se encuentra Coyhaique, un consumo levemente inferior a los 300 mil m<sup>3</sup>. Finalmente, Chillán y Los Ángeles, que en conjunto consumen alrededor de 280 mil m<sup>3</sup>, se encuentran en cuarto lugar.

Al comparar los consumos utilizados por Enviromodeling - Chillán (EM) – se observa que existe una diferencia de 50 mil m<sup>3</sup> respecto del consumo determinado por el estudio de la Universidad Católica de Temuco – Chillán (UCT). Esto se debe que el Estudio de EM, se basó en datos entregados por INFOR sobre base 2005, mientras que la UCT realizó una encuesta de consumo de leña sobre base 2008.

Tal como se señaló en capítulos anteriores, la variabilidad de las emisiones producto de la combustión de la biomasa, depende de parámetros tales como humedad de la leña, tipo y modo de operación del artefacto de combustión. Esta variabilidad, también se refleja en los diferentes Factores de Emisión que existen para la estimación del MP10.

Finalmente, la estimación total de las emisiones queda sujeta, además de la caracterización apropiada a condiciones locales, a las consideraciones adoptadas por el consultor.

---

<sup>32</sup> En el estudio elaborado por la Universidad de Concepción, el resultado es entregado en unidades de metro estéreo (MS), por lo que se le aplicó un factor de conversión de 0.62. Equivalente el valor promedio para transformar mS a m<sup>3</sup> sólido.

De acuerdo a lo anterior, se presenta a continuación en Figura 5-3 la comparación entre las estimación de las emisiones de MP10, de los diferentes estudios realizados a nivel nacional.

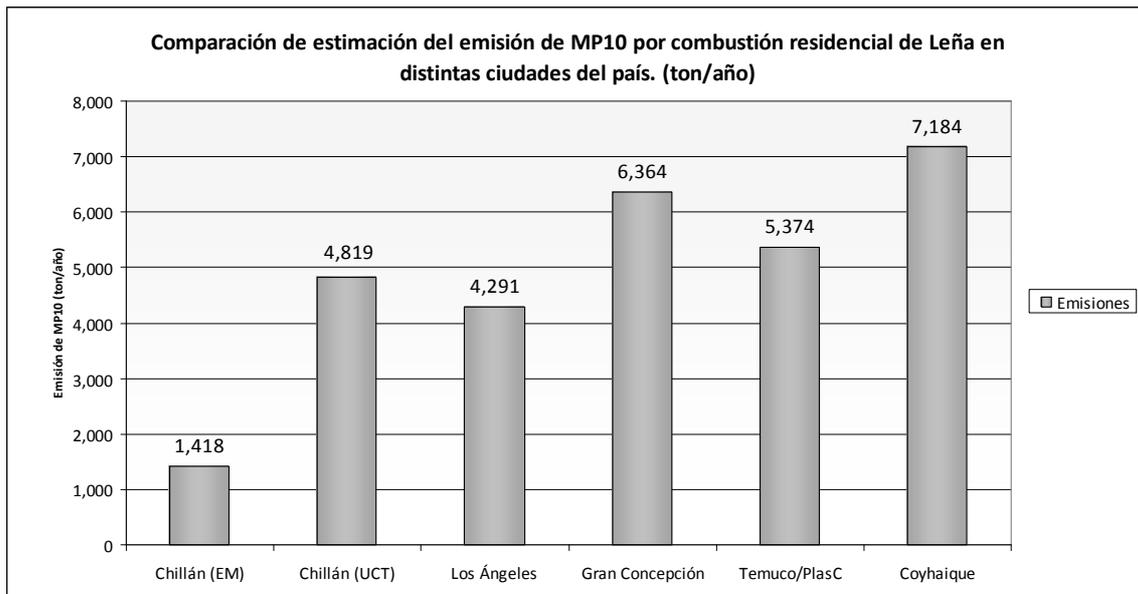


Figura 5-3: Comparación de estimación de emisión de Material Particulado Respirable (MP10) en diferentes ciudades, de acuerdo a distintos estudios realizados a nivel nacional.

Tal como se señaló anteriormente, las emisiones no presentan una relación lineal necesariamente, debido que entran en juego variables tales como: tipos de artefactos utilizados mayoritariamente para calefacción dentro del hogar y calidad de la leña utilizada principalmente, entre otras. Por ejemplo, si en una localidad la población utiliza mayoritariamente la cocina a leña como fuente de calor, ésta tendrá una emisión mucho mayor que otra localidad que utiliza principalmente equipos de combustión lenta, a pesar de tener el mismo numero de habitantes o igual consumo de biomasa.

Como corolario a lo planteado en párrafo anterior, en Figura 5-4 se presenta una comparación de la emisión proporcional que se desprende, en términos globales, de cada uno de los resultados entregados por los diferentes estudios.

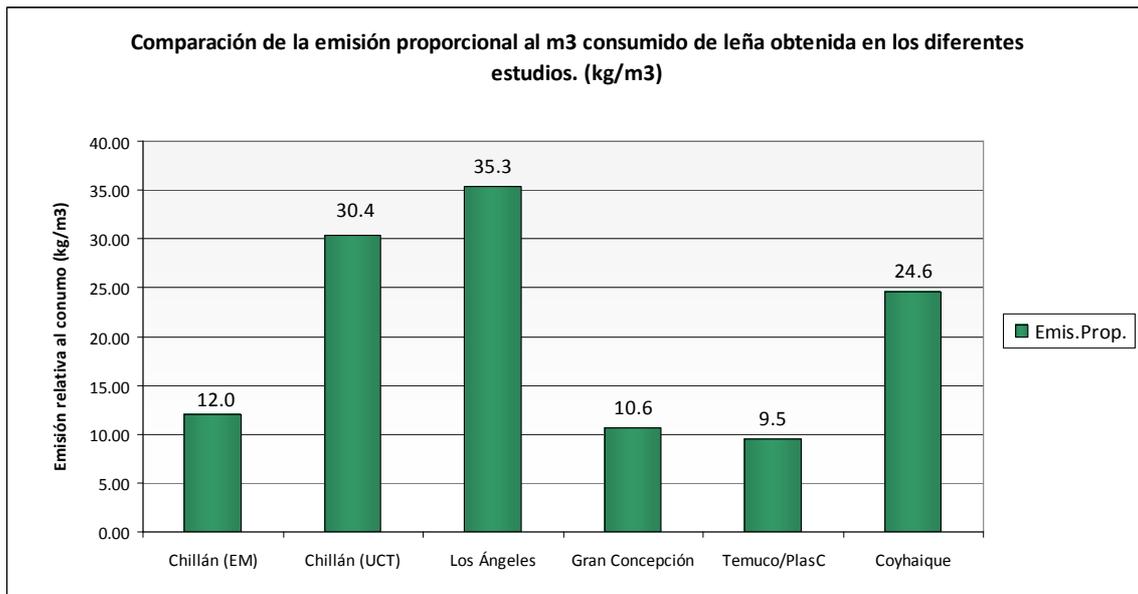


Figura 5-4: Comparación de la emisión de Material Particulado Respirable (MP10) en diferentes ciudades, proporcional a un m<sup>3</sup> de leña consumido, de acuerdo a distintos estudios realizados a nivel nacional.

Se entiende del gráfico anterior, que la emisión (kg de MP10) por cada metro cúbico sólido (m<sup>3</sup>) de leña quemado en Chillán y Los Ángeles, es mucho más alta que en el resto de las ciudades estudiadas, con un promedio entre 32-33 kg/m<sup>3</sup>. Este resultado es mayor tres veces a lo obtenido en el estudio de Temuco y Padre Las Casas. En una revisión preliminar de ambos estudio, se pudo constatar que utilizaron iguales factores de emisión, lo que a su vez también fueron utilizados por Enviromodeling para el presente estudio.



Sin embargo, los resultados muestran que existe una diferencia notable en las estimaciones, lo que merece un análisis más profundo del que se tiene por objetivo darle en el presente estudio.

Considerando el estudio realizado por DICTUC en Temuco y Padre Las Casas, tenemos que la distribución en la participación de las emisiones de MP10 es 93% responsabilidad de la combustión residencial de leña, un 4% proveniente de la Industria, 3% Quemas Agrícolas y Forestales y 1% Fuentes Móviles. Esta distribución es relativamente similar al obtenido para el Inventario de Coyhaique (la que se presenta más adelante en Figura 5-5).

#### **5.4 Emisiones Grandes Consumidores.**

Las emisiones atmosféricas para el sector grandes consumidores se obtuvieron a partir de la determinación de los niveles de consumo globales del sector.

Tal como se mencionó anteriormente, la estimación del nivel de consumo reviste una especial dificultad debido a la gran variabilidad existente entre los diferentes rubros. Sin embargo, se obtuvo una primera estimación del consumo global por métodos de aproximación basados en resultados de encuestas e información del DS138, a la espera de que se realice un censo de consumo de combustible de leña e hidrocarburos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el Nivel de Actividad, los factores de emisión utilizados y las emisiones de gases y partículas propiamente tal.



#### **5.4.1 Niveles de Actividad.**

El nivel de Actividad de los Grandes Consumidores se estimó sobre la base de los resultados obtenidos en encuesta y las declaraciones realizadas de acuerdo a los requerimientos del DS138.

El total de establecimientos encuestados, según rubro (código CIIU), fue de 125 de un total aproximado de 802 para la ciudad de Coyhaique. El detalle de esto se presenta en Tabla 5-8.

Tabla 5-8. Actividades Productivas Consumidoras de Combustibles Fósiles y de Madera Encuestadas.

SECTOR	CIIU Actividad Productiva	Nº Establec <sup>33</sup> . del Rubro	Nº Establec. Encuestados	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO
<b>Industrial</b>	31115	2	1	Fabricación de Cecinas
	31121	2	1	Fabricación de Productos Lácteos
	31171	16	8	Fabricación de Pan y derivados
	36911	2	1	Fabricación de Cerámicas y Ladrillos
	32132	2	3	Lavanderías y Tintorerías
	34204	7	1	Imprenta y encuadernación
	38197	2	2	Fabricación de Productos Metálicos
	420018	1	1	Captación y Purificación de Agua
<b>Comercial</b>	61311	12	2	Productos alimenticios
	61511	1	1	Distribuidores de gas
	61911	8	3	Comercio Mayorista no clasificado
	62103	75	5	Supermercados
	62121	35	1	Carnicerías
	62162	63	2	Fruterías
	62524	160	4	Bazar, Paquetería y cordonería
	62538	20	1	Ferretería
	62541	5	1	Florería
	62547	13	3	Librería
	62570	18	7	Comercio por menor no clasificado
	63111	97	9	Restoranes, bar, club, pizzería
	63211	17	7	Hoteles, hostería, moteles, cabañas
	63212	24	11	Residencial, Casa de Pensión
95911	33	4	Peluquerías y Salones de belleza	
<b>Institucional</b>	71121	6	2	Trasporte de pasajeros
	71141	6	1	Trasporte de carga por carretera
	71911	13	2	Agencia de Turismo
	72001	41	2	Servicios de comunicación
	81011	10	3	Bancos
	91001	77	27	Serv. de Gobierno no clasificados
	93101	9	3	Escuelas Primarias y Secundarias
	93103	7	1	Jardines Infantiles, párvulos
	93106	4	1	Instit. técnicos, profesionales y universidades
	93312	5	2	Hospitales, sanitarios y similares
94131	9	2	Emisiones de Radio y Televisión	
<b>Total</b>		<b>802</b>	<b>125</b>	

<sup>33</sup> Antecedentes extraídos del Estudio "Oferta de la Leña en Coyhaique y Puerto Aysén" de INFOR, 2004

Finalmente, el nivel de actividad se entrega sobre la base de los artefactos de combustión y no por rubro para el caso de la leña y en términos globales para combustibles fósiles. En Tabla 5-9 y Tabla 5-10 se presentan los niveles de actividad considerados para ambos tipos de combustibles.

Tabla 5-9: Nivel de Actividad Grandes consumidores, para utilización de combustibles de madera.

	<b>Consumo Combustible Madera para Grande Consumidores</b>
<b>Grandes Consumidores</b>	ton/año
Combustión Lenta y Calderas	21,554
Salamadra y Chimenea	684
Cocina	912
	<b>23,150</b>

Tabla 5-10: Nivel de Actividad Grandes consumidores, para utilización de combustibles fósiles

	<b>Consumo Combustible fósiles para Grande Consumidores</b>
<b>Grandes Consumidores</b>	Lt/año
Establecimientos Comerciales, Industriales e Institucionales <sup>a</sup>	<b>1,213,571</b>
Central Térmica Tehuelche	<b>4,888,387</b>
<b>Consumo Total</b>	<b>6,101,958</b>

<sup>a</sup> Considera solo los establecimientos que declararon por el DS138, más las que fueron encuestadas.

#### 5.4.2 Factores de Emisión.

En Tabla 5-11 se presentan los factores de emisión correspondientes al uso de combustibles fósiles, en el sector de Grande Consumidores. Por otro lado, en Tabla 5-12, se muestran los factores asociados al consumo de leña según tipo de artefacto de combustión.

Tabla 5-11: Factores de Emisión para combustión de combustible fósiles.

<b>Tipo de combustible</b>	<b>Unidad</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>	<b>SOx</b>	<b>NOx</b>	<b>CO</b>	<b>COVs</b>
Gas Natural	kg/l	1.22E-04	ND	9.60E-09	1.60E-06	1.34E-06	8.80E-08
Residuos de Madera	kg/Ton	3.9	3.35	0.2	1.72	4.68	0.13
Carbón bituminoso	kg/Ton	24.6	ND	34.2	3.75	0.3	ND
Carbón antracita	kg/Ton	3.28	ND	13.65	4.5	0.3	ND
Diesel Nº2	kg/l	2.74E-04	ND	9.29E-03	2.38E-03	5.95E-04	2.38E-05
Diesel Nº5	kg/l	1.20E-03	ND	3.74E-02	6.55E-03	5.95E-04	3.33E-05
Diesel Nº6	kg/l	2.43E-03	ND	5.23E-02	6.55E-03	5.95E-04	3.33E-05
Gas Licuado de Petróleo	kg/l	9.52E-05	ND	1.93E-05	1.79E-03	1.00E-03	ND
Aceites residuales	Kg/Ton	0.1134	ND	0.3039	0.1678	0.7257	0.08164

Tabla 5-12: Factores de Emisión utilizados para los grandes consumidores.

Equipo	Contaminante	Factores de Emisión para Grandes Consumidores (gr/Kg)
		Contenidos de Humedad (0-20%)
Cocina	MP10	19.20
	MP2.5	18.60
	CO	126.30
	NOx	1.30
	COV	114.50
	SOx	0.20
Caldera y Combustión Lenta	MP10	15.00
	MP2.5	14.60
	CO	115.40
	NOx	1.40
	COV	26.50
	SOx	0.20
Salamandra/chimenea	MP10	17.30
	MP2.5	16.80
	CO	126.30
	NOx	1.30
	COV	114.50
	SOx	0.20

### 5.4.3 Emisiones Atmosféricas.

La estimación de emisiones atmosféricas del sector de grandes consumidores, se presentan en primer lugar para los combustibles fósiles, en Tabla 5-13, y en segundo lugar por uso de leña según tipo artefacto de combustión, en Tabla 5-14.

Tabla 5-13: Emisiones Atmosféricas producto de uso de combustible fósil.

Tipo de combustible	Unidad	PM10	PM2.5	SOx	NOx	CO	COVs
Petróleo Nº 2 <sup>a</sup>	Ton/año	0.33	ND	11.27	2.89	0.72	0.03

<sup>a</sup> No considera el consumo de la central térmica Tehuelche.

Tabla 5-14: Emisiones Atmosféricas producto de uso de leña.

Equipo	Contaminante	Emisión de Grandes Consumidores (Ton/año)
		Contenidos de Humedad (0-20%)
Cocina	MP10	17.5
	MP2.5	17.0
	CO	115.2
	NOx	1.2
	COV	104.5
	SOx	0.2
Caldera y Combustión Lenta	MP10	10.3
	MP2.5	10.0
	CO	79.0
	NOx	1.0
	COV	18.1
	SOx	0.1
Salamandra/chimenea	MP10	372.9
	MP2.5	362.1
	CO	2,722.3
	NOx	28.0
	COV	2,468.0
	SOx	4.3

Se resume de la Tabla anterior que la emisiones de MP10 alcanzaría una tasa anual de 400 ton/año, lo que equivale a una emisión diaria de 1.1 toneladas.



## 5.5 Emisiones Fuentes Móviles.

Las emisiones atmosféricas de las fuentes móviles dependen de las distancias recorridas por los diferentes vehículos y de la velocidad de circulación.

A continuación se presenta los niveles de actividad estimados preliminarmente para este tipo de fuentes y las emisiones resultantes.

### 5.5.1 Nivel de Actividad.

La distancia recorrida por los diferentes tipos de vehículos se presenta en Tabla 5-15, en kilómetros año. Este valor se obtuvo por medio de la relación proporcional entre el consumo de gasolina y petróleo diesel, declarado por las empresas distribuidoras establecidas en la ciudad de Coyhaique, un rendimiento promedio por tipo de vehículo y la caracterización del flujo de .

Tabla 5-15: Niveles de Actividad de fuente móviles, en KM/año.

	Bencineros	Diesel	Total
<b>vehículos</b>	km/año	km/año	km/año
Particulares	10,590,307	12,010,998	22,601,304
Transporte	7,852,631	8,906,062	16,758,693
Carga	743,361	843,083	1,586,445
	<b>19,186,299</b>	<b>21,760,144</b>	<b>40,946,442</b>



### 5.5.2 Factores de Emisiones.

Los factores de emisión considerados para las fuentes móviles son los presentados en Tabla 5-16.

Estos factores se encuentran separados para Transporte Liviano y de Carga. "V" en las fórmulas corresponden a Velocidad (considerada en 40 KM/hr, según estudio de MIDEPLAN del 2005)

Tabla 5-16: Niveles de Actividad de fuente móviles, en KM/año.

	<b>Liviano y Transporte Colectivo</b>	<b>Carga</b>
<b>Contaminante</b>	gr/KM	gr/KM
MP10	$(0.000058 * V^2 - 0.0086 * V^{0.45})$	$4.5563 * V^{-0.707}$
CO	$0.0203 * V^2 - 2.2662 * V^{77.661}$	$37.280 * V^{-0.6945}$
SO2	$0.0016 * V^2 + 0.0738 * V^{1.2586}$	5.28545
NOx	$9.5 * 10^{-6} * V^3$	$50.305 * V^{-0.7708}$
HCT	$11.589 * V^{-0.5595}$	$40.120 * V^{-0.8774}$

### 5.5.3 Emisiones Atmosféricas.

Las emisiones producto de las fuentes móviles se presentan en Tabla 5-17 siguiente.

Tabla 5-17: Niveles de Actividad de fuente móviles, en KM/año.

	<b>Liviano y Transporte Colectivo</b>	<b>Carga</b>	<b>Total</b>
<b>Contaminante</b>	Ton/año	Ton/año	Ton/año
MP10	0.31	4.62	<b>4.93</b>
CO	2.69	453.04	<b>455.73</b>
SO <sub>2</sub>	4.95	157.36	<b>162.31</b>
NO <sub>x</sub>	2.74	14.13	<b>16.87</b>
HCT <sup>a</sup>	1.48	34.19	<b>35.67</b>

<sup>a</sup> se consideran las emisiones de HCT como de COVs.

Las emisiones de MP10, alcanzan una tasa de 4.93 ton/año, lo que significa una participación inferior al 1% del total de emisiones estimadas para la ciudad de Coyhaique.



## **5.6 Emisiones Fuentes Fugitivas o Difusas.**

Para el grupo de emisiones atmosféricas fugitivas, se consideraron principalmente dos:

- (a) las emisiones por quemas agrícolas y forestales del entorno rural de la comuna de Coyhaique, y
- (b) la actividad de construcción y demolición dentro del sector urbano de Coyhaique.

A continuación se presenta los factores de emisión y la estimación de las emisiones atmosféricas.

### **5.6.1 Factores de Emisión.**

#### **(a) Quemias Agrícolas**

Para el caso de las quemias agrícolas es necesario tener en cuenta la metodología de cálculo, la que ha sido utilizada por varios estudios realizados a nivel nacional dentro de los cuales podemos nombrar:

- Inventario desarrollado para las regiones V, VI y IX, el año 2001 elaborado por CENMA.
- Inventario desarrollado por DICTUC, para la Región Metropolitana año 2007.
- Inventario desarrollado por DICTUC, para la ciudad de Temuco y Padre las Casas año 2008.



- Inventario elaborado por la Universidad de Temuco, para la ciudad de Chillán y Los Ángeles el año 2008

Todos los inventarios mencionados calculan las emisiones utilizando la metodología propuesta por la California Air Resource Board (CARB).

Esta metodología es similar a la presentada en ecuación 3, con la diferencia que se incluye un factor llamado "de carga", que es propio de cada tipo de residuos o desecho proveniente de actividades agrícolas y/o forestales. Ecuación 5 siguiente presenta la metodología para el cálculo de emisiones por quemas:

$$Em_i : FE_i * FC_i * S$$

**Ecuación 5**

Donde:

Em: Emisión de contaminante i (kg/día, ton/año)

FE : Factor de Emisión i (masa de contaminante liberada por unidad de masa procesada).

FC : Factor de Carga i, propio del tipo de cultivo o poda realizada.

S : Superficie intervenida (ha).

El factor de carga se refiere a la cantidad de masa de residuos se genera por hectárea de terreno agrícola o forestal intervenido. En Tabla 5-18 siguiente se presentan los factores de carga considerados para la estimación de las emisiones de este tipo de fuentes.



Tabla 5-18: Factor de carga de combustible para quemas agrícolas, en Ton/ha.

Vegetación Afectada	Factor de Carga
Pastizal	5
Pino	35
Matorral	5
Eucaliptos	35
Desechos	5.5
Agrícolas	6
Arboleado	5

Fuente: CONAF. Información extraída de Inventario de Emisiones para las ciudades de Chillán y Los Ángeles.

En Tabla 5-19, se presentan los factores de emisión considerados para la estimación de emisiones atmosféricas producto de quemas agrícolas y forestales autorizadas en la zona de Coyhaique, de acuerdo al criterio Desechos, Agrícolas y Arboleado.

Tabla 5-19: Factores de Emisiones por quemas agrícolas y forestales, en kg/ton.

Tipo de combustible	Unidad	PM10	PM2.5	CO	NOx	COVs	SOx
Desechos	Kg/Ton	3.54	3.31	29.94	2.36	2.86	0.05
Agrícolas	Kg/Ton	7.21	6.89	51.69	2.04	4.87	0.28
Arboleado	Kg/Ton	11.34	10.43	105.69	1.59	6.80	0.05

Fuente: CARB Section: 7.17 "Agricultural Burning and Other Burning Methodology".



## (b) Construcción y Demolición

En el caso de la construcción se considera que el principal contaminante emitido corresponde al polvo resuspendido para las actividades propias de la construcción.

En Tabla 5-20 siguiente se presentan el factor de emisión para Construcción, el cual está expresado en kilogramos por metros cuadrado construido al mes. El dato de entrada de superficie construida se obtuvo de la dirección de obras municipales de la I. Municipalidad de Coyhaique, la que se presentó en el capítulo de caracterización de las fuentes identificadas.

Tabla 5-20: Factor de Emisiones de MP para Construcción y Demolición, kg/ton.

Actividad	Unidad	PM10	PTS
Construcción	Kg/m <sup>2</sup> -mes	0.0247	0.0504

Fuente: CARB Section: 7.7 "Building Construction Dust".

En la sección siguiente se presenta la estimación de las emisiones de gases y partículas, de estas fuentes.

### 5.6.2 Estimación de Emisión.

Las emisiones atmosféricas producto de las Quemas Agrícolas y Forestales, se presentan en Tabla 5-21 siguiente. Por otro lado, las emisiones productos actividades de construcción se presentan en Tabla 5-22.

Tabla 5-21: Emisiones por quemas agrícolas y forestales en zona de Coyhaique, en ton/año.

	<b>Tipo de combustible</b>	<b>Unidad</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>SOx</b>
<b>Quema Agrícolas</b>	Ramas y material leñosos en terrenos agrícolas	ton/año	19.3	18.5	138.6	5.5	13.1	0.7
	De desechos de podas	ton/año	0.160	0.149	1.350	0.106	0.129	0.002
<b>Quema Forestal</b>	Desechos podas y raleos de Pino insigne	ton/año	0.105	0.099	0.891	0.070	0.085	0.001
	Desechos podas y raleos Otras especies	ton/año	0.316	0.296	2.673	0.211	0.255	0.004
	Vegetación muerta para recuperar suelos	ton/año	18.408	16.935	171.563	2.577	11.045	0.074
			<b>38.3</b>	<b>35.9</b>	<b>315.1</b>	<b>8.4</b>	<b>24.6</b>	<b>0.8</b>

A continuación se presenta en Tabla 5-22, un resumen de las emisiones estimadas para la construcción en Coyhaique.

Tabla 5-22: Emisiones de MP10 y PTS para Construcción y Demolición en Coyhaique, ton/año.

<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>PM10</b>	<b>PTS</b>
<b>Construcción</b>	ton/año	0.14	0.3

## 5.7 Resumen de resultados y Conclusiones.

A continuación se presenta en Tabla 5-20, un resumen de las emisiones estimadas para las fuentes identificadas en Coyhaique.

Tabla 5-20: Resumen de Emisiones de las diferentes fuentes incluidas en el Inventario de Emisiones, en ton/año.

	Residenciales	Grandes Consumidores	Fuente móviles	Quemas Agrícolas y Forestales	<b>Total (ton/año)</b>
PM <sub>10</sub>	7,184	401	4.9	38.3	<b>7,628</b>
PM <sub>2,5</sub>	6,982	389	-	35.9	<b>7,407</b>
CO	77,861	2,917	455.7	315.1	<b>81,549</b>
NO <sub>x</sub>	441	33	16.9	8.4	<b>499</b>
COV	48,164	2,591	35.7	24.6	<b>50,815</b>
SO <sub>x</sub>	66	16	162.3	0.8	<b>245</b>

Respecto de las emisiones de MP10, principal contaminante registrado en la ciudad de Coyhaique, podemos señalar que la principal fuente corresponde a las emisiones Residenciales, con el 94% de contribución. La siguen los grandes consumidores, que incluyen el sector comercial, industrial e institucional, con un 5%. El 1% restante se encuentran otras fuentes como vehículos, construcción, quemas agrícolas y forestales.

En Figura 5-5 se presenta el gráfico de torta con la distribución de contribución de cada sector a las emisiones atmosféricas en Coyhaique para el principal contaminante de interés (MP10).

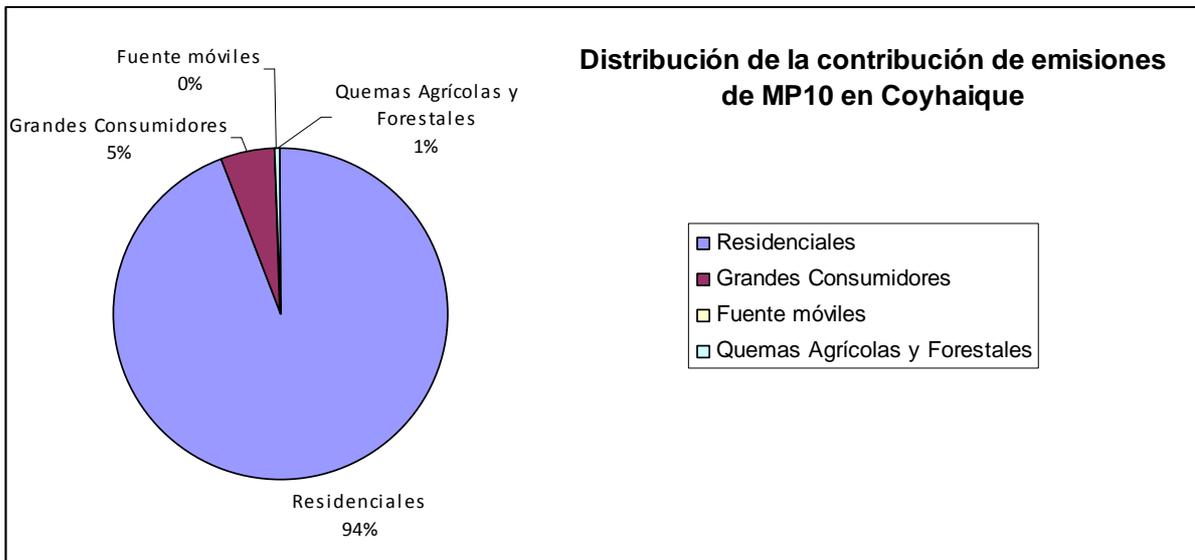


Figura 5-5: Distribución de las emisiones de MP10 en Coyhaique.

Esta proporción se mantiene relativamente constante si comparamos la contribución para el resto de los contaminantes, a excepción de SOx. Ya que este contaminante es un producto marginal de la combustión de leña pero de gran importancia en la combustión de combustible fósiles (petróleo, gas, gasolina, etc.).

Para el SOx, la principal fuente son los vehículos, lo que emiten más del 66% del total del SOx.



## **CAPÍTULO VI**

### **PROYECCIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES AL AÑO 2015**

#### **6.1 Introducción.**

En este Capítulo se presenta la proyección del inventario de emisiones de contaminantes al año 2015. Esta proyección se realiza tomando como base el inventario realizado en este proyecto y que corresponde al año 2008. Los antecedentes considerados en este cálculo son los siguientes:

- Proyección del crecimiento de la población de acuerdo al INE, para el periodo 2002 – 2020.
- Proyección del crecimiento del número de viviendas, para el periodo 2002 – 2020.
- Proyección del crecimiento del parque vehicular de la ciudad de Coyhaique, basado en estadísticas del INE, para el periodo 2001 – 2007.

#### **6.2 Proyección Emisiones Residenciales al 2015.**

Los resultados obtenidos para la estimación de emisiones residenciales al año 2015 se presentan en Tablas 6-1 y Figuras 6-1.



Tabla 6-1. Proyección de emisiones residenciales de contaminantes, 2008 – 2015.

Contaminante	Emisiones Promedio (ton/día)	
	2008	2015
MP	20.5	22.1
MP10	19.7	21.2
MP2.5	19.1	20.6
CO	213.3	229.7
NOx	1.2	1.3
COV	132	142.1
SOx	0.2	0.2

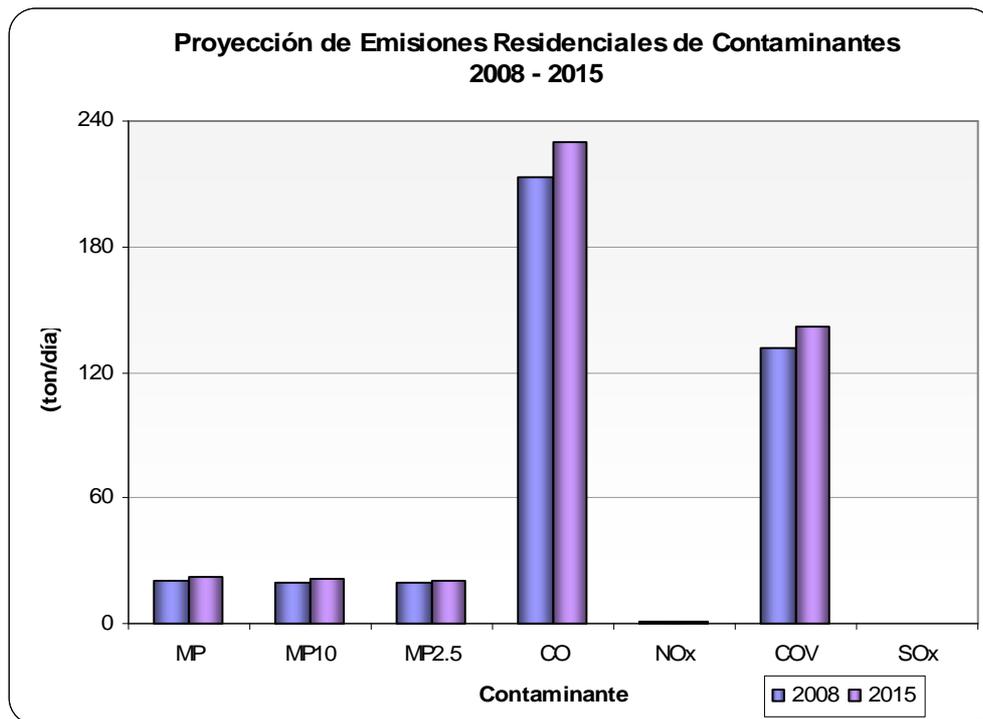


Figura 6-1: Proyección de emisiones residenciales de contaminantes, 2008 – 2015.



### 6.3 Proyección Emisiones Vehiculares al 2015.

Los resultados obtenidos para la estimación de emisiones vehiculares al año 2015 se presentan en Tablas 6-2 y Figuras 6-2.

Tabla 6-2. Proyección de emisiones vehiculares de contaminantes, 2008 – 2015.

Contaminante	Emisiones Promedio (ton/día)	
	2008	2015
MP10	0.014	0.018
CO	1.249	1.587
NOx	0.046	0.058
HCT	0.098	0.124
SOx	0.445	0.565

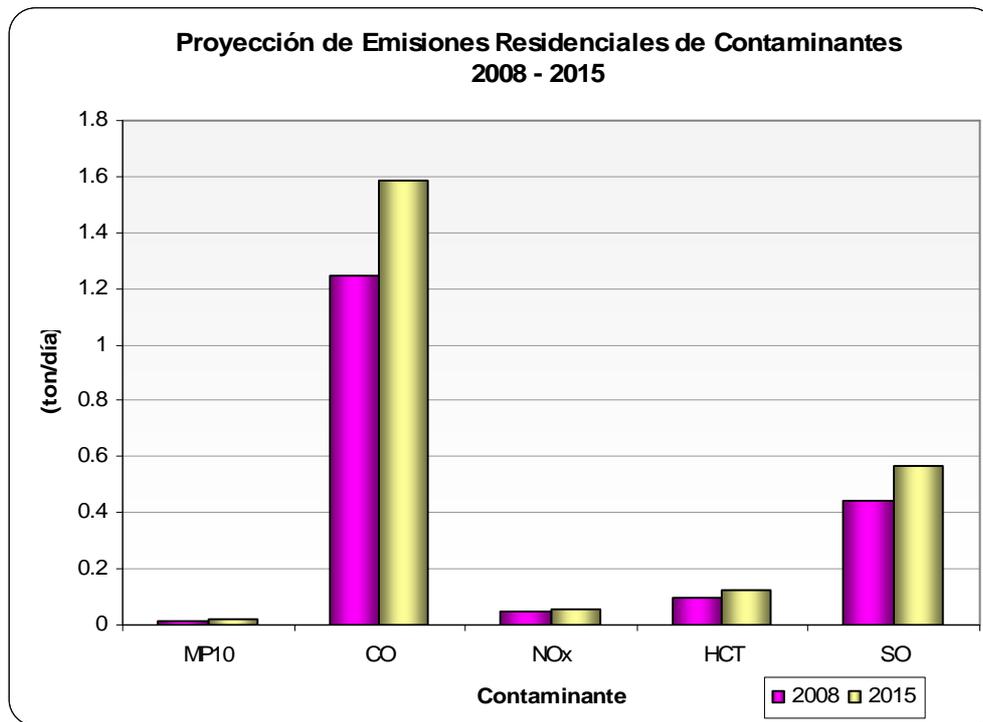


Figura 6-2: Proyección de emisiones vehiculares de contaminantes, 2008 – 2015.



---

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA Y DE CALIDAD DEL AIRE CONSIDERADA EN EL PROYECTO**

#### **7.1 Introducción.**

En este Capítulo se presenta, en primer lugar, un análisis de la información de calidad de aire por  $MP_{10}$ , obtenida a partir de las mediciones que CONAMA Región de Aysén ha registrado en su estación monitora, instalada en las dependencias de Telefónica, durante el periodo Marzo 2007 – Noviembre 2008.

En segundo lugar, en la sección 7.3, se presenta un análisis de la información meteorológica registrada por:

- La Estación Histórica de CONAMA Aysén durante el periodo Mayo – Noviembre del año 2008.
  
- Tres estaciones de monitoreo, instaladas en la ciudad de Coyhaique por la empresa SETEC, para llevar a cabo una campaña de tres meses de monitoreo, solicitada por CONAMA Región de Aysén, en el marco del Proyecto de Declaración de Zona Saturada por Contaminante  $MP_{10}$  en Coyhaique.



## 7.2 Análisis de la Información de Calidad de Aire por MP<sub>10</sub>.

En esta sección se presenta un resumen y análisis de la información de calidad de aire por MP<sub>10</sub> registrada durante los periodos Marzo – Diciembre del 2007 y Enero – Noviembre del 2008. Las mediciones se realizaron usando un monitor continuo de atenuación beta, el cual entrega una estimación de los niveles promedio horarios de MP<sub>10</sub>. Esta información fue procesada para obtener:

- Promedios Mensuales y Anuales para los años 2007 – 2008.
- Concentración Promedio Diaria (24 horas).
- Número de valores promedios sobre la Norma Diaria de MP<sub>10</sub>, 150 ug/m<sup>3</sup>.
- Ciclo Diario Promedio para el periodo

Los resultados de este análisis se presentan a continuación:

### 7.2.1 Promedios Mensuales y Anuales de MP<sub>10</sub>.

Los promedios mensuales de MP<sub>10</sub> para los periodos, Marzo – Diciembre de 2007 y Enero – Noviembre de 2008, se presentan en Figuras 7-1 y 7-2 respectivamente. En ambas figuras es posible observar que las concentraciones de MP<sub>10</sub>, registradas por la estación monitora de CONAMA, presentan una variación estacional significativa.

Tanto para el año 2007 como para el 2008, las concentraciones promedio mensuales de MP<sub>10</sub> registradas en las estaciones de Primavera – Verano (Octubre - Marzo) se encuentran por debajo de los 50 ug/m<sup>3</sup>. Sin embargo, en los meses fríos (Abril - Septiembre) los niveles de MP<sub>10</sub> alcanzan valores promedios mensuales de hasta 164 ug/m<sup>3</sup> en Agosto del 2007 y de hasta 190 ug/m<sup>3</sup> en Junio del 2008.

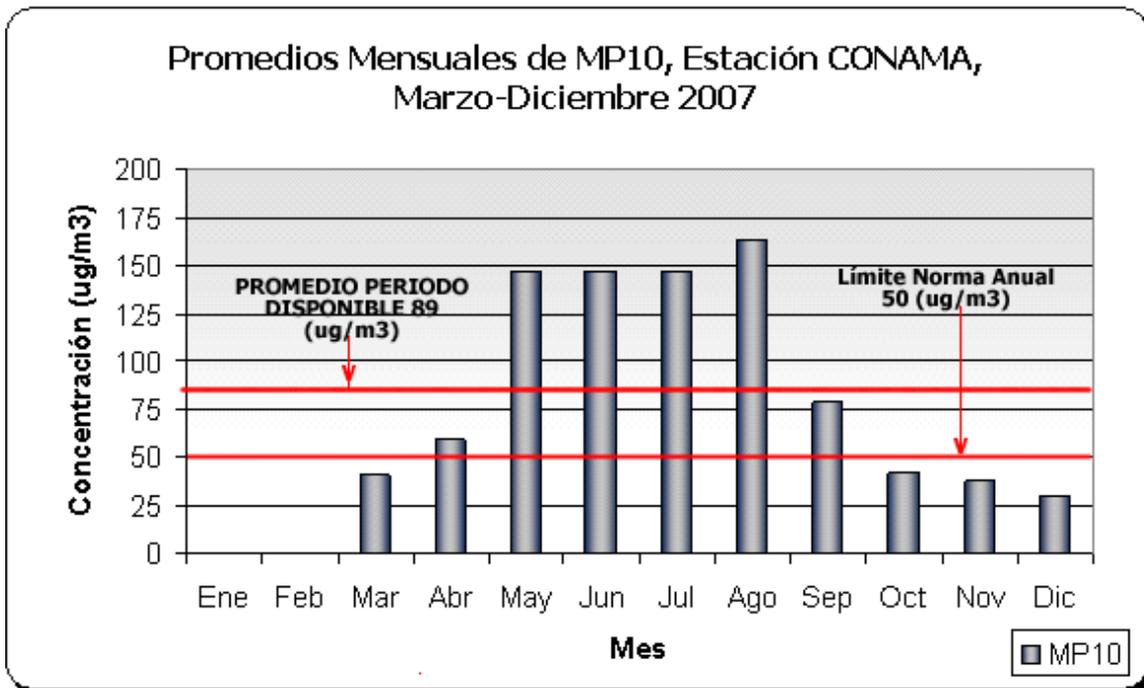


Figura 7-1: Promedios mensuales de los niveles de MP<sub>10</sub>, medidos en Estación CONAMA (Monitor Atenuación Beta), periodo Marzo-Diciembre 2007.

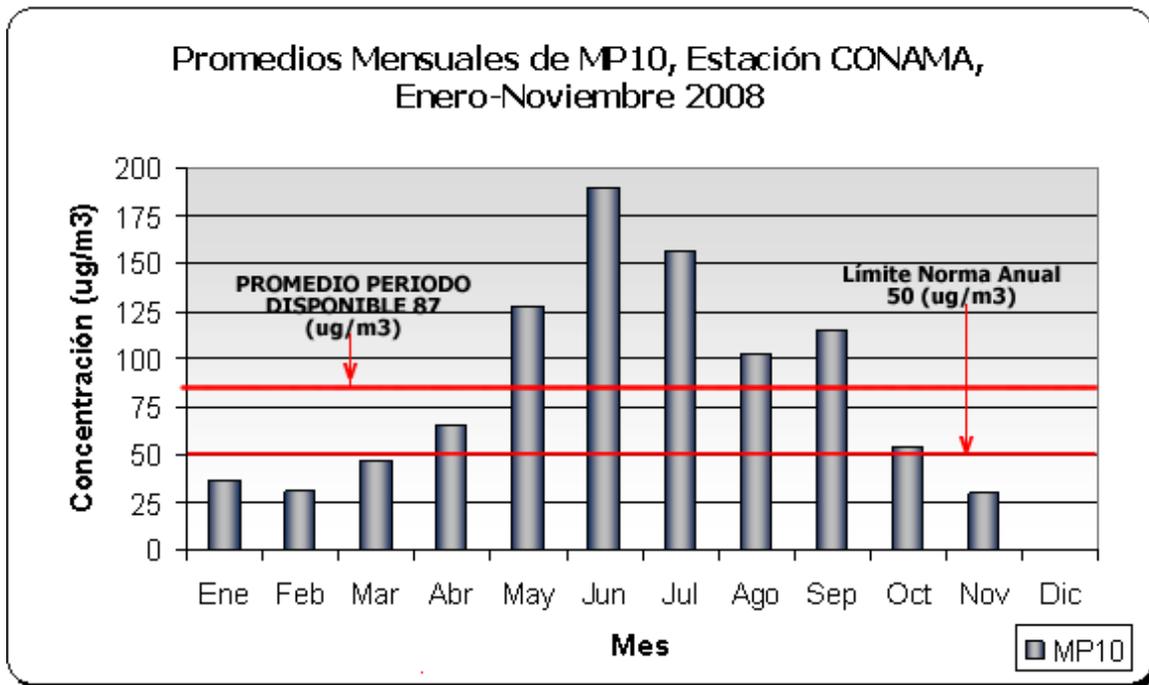


Figura 7-2: Promedios mensuales de los niveles de MP<sub>10</sub>, medidos en Estación CONAMA (Monitor Atenuación Beta), periodo Enero-Noviembre 2008.

En Figura 7-3, se presentan los promedios anuales de Material Particulado Respirable (MP<sub>10</sub>) para los años 2007 y 2008. Tal como se observa en esta figura, los niveles promedio anuales de MP<sub>10</sub> tanto para el año 2007 como para el 2008, se encuentran por sobre el límite estipulado en la norma anual de calidad del aire para este contaminante de 50 ug/m<sup>3</sup> (destacada con línea roja).

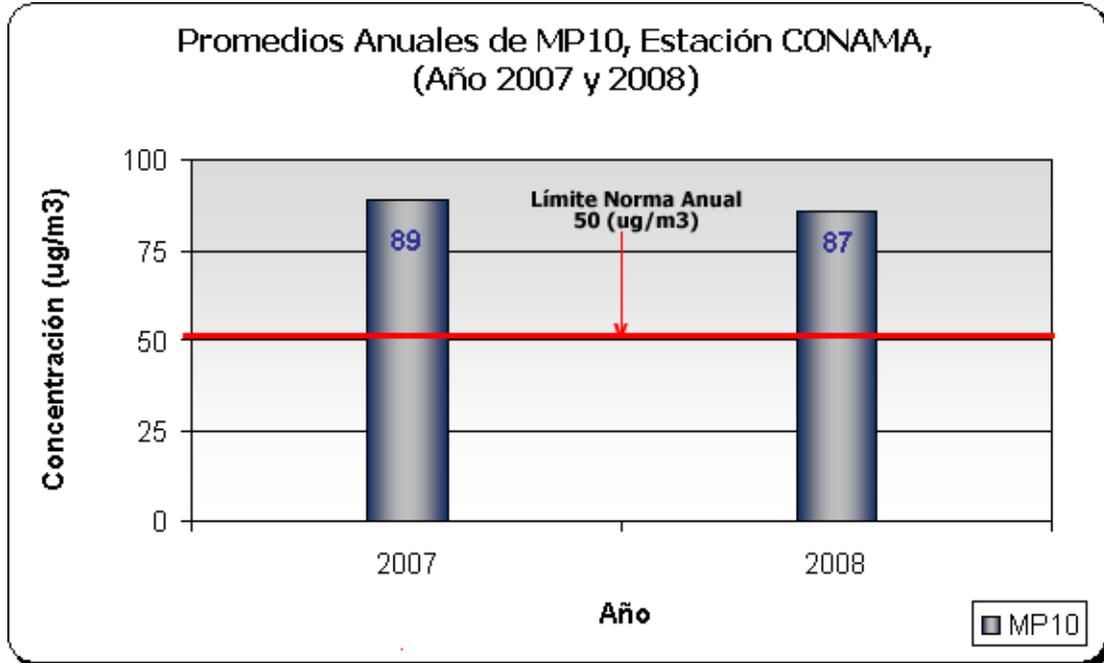


Figura 7-3: Promedios anuales de los niveles de MP<sub>10</sub>, medidos en Estación CONAMA (Monitor Atenuación Beta), Años 2007 – 2008.

### 7.2.2 Concentración Promedio Diaria de MP10.

Las concentraciones promedio diarias de MP<sub>10</sub> para los años 2007 y 2008, se presentan en Figuras 7-4 y 7-5 respectivamente. En ambas figuras se destaca con una línea roja la concentración correspondiente a 150 ug/m<sup>3</sup>, que es el valor límite establecido para la norma diaria de MP<sub>10</sub>.

Por otra parte, en Tabla 7-1 se presenta un resumen de las concentraciones promedios anuales y máxima 24 horas (percentil 98) observados, así como también el número de días en los cuales los niveles de MP<sub>10</sub> exceden los 150 ug/m<sup>3</sup>.

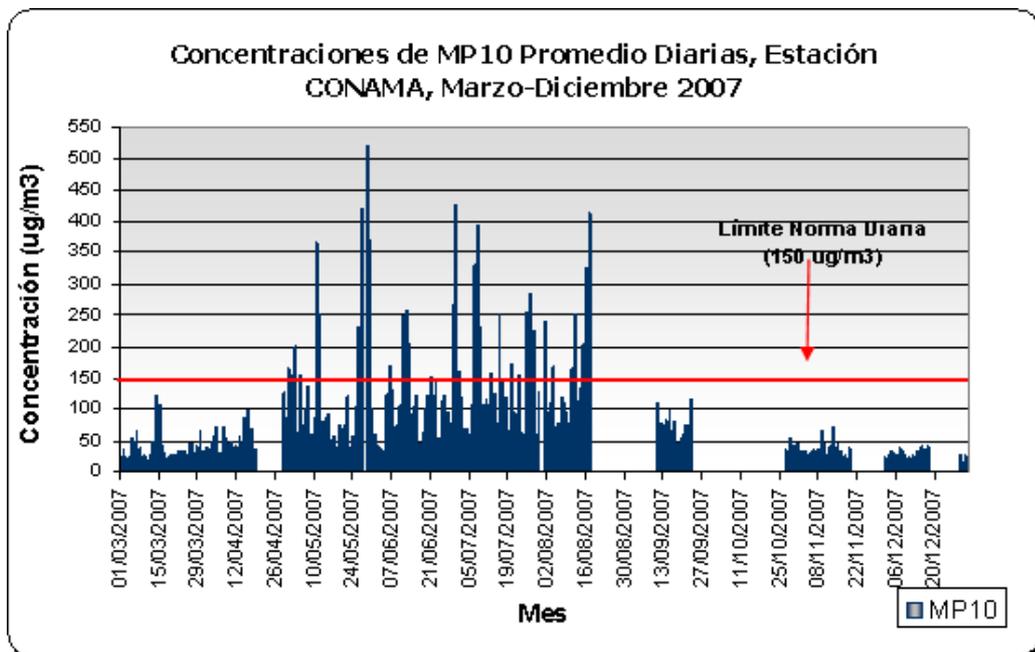


Figura 7-4: Concentraciones promedio diarias de MP<sub>10</sub>, observados en Estación CONAMA, periodo Marzo-Diciembre 2007.

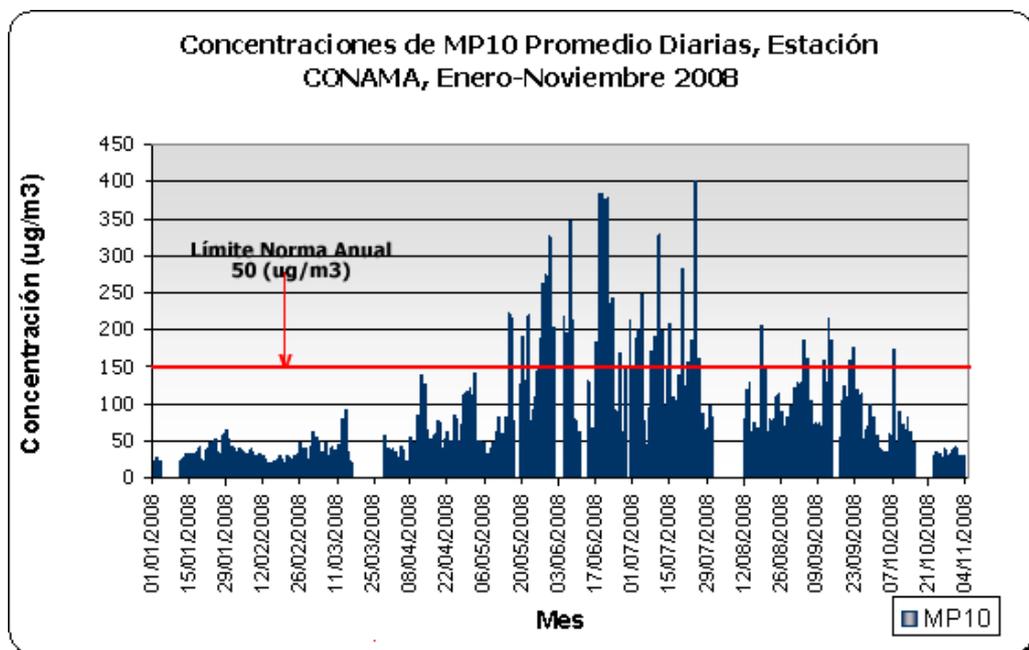


Figura 7-5: Concentraciones promedio diarias de MP<sub>10</sub>, observados en Estación CONAMA, periodo Enero-Noviembre 2008.



Tabla 7-1. Concentraciones de MP<sub>10</sub> promedio anual y máxima 24 horas (percentil 98) observadas en Estación de monitoreo histórica de CONAMA, Coyhaique. Periodo 2007 – 2008.

Año	Concentración de MP <sub>10</sub> (ug/Nm <sup>3</sup> )		Nº de días con concentraciones de MP <sub>10</sub> sobre 150 ug/Nm <sup>3</sup>
	Promedio del periodo	Promedio máximo 24 horas (Percentil 98)	
2007 <sup>(1)</sup>	89	395	34
2008 <sup>(2)</sup>	87	349	46

Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.

- (1) Este periodo correspondiente al intervalo Marzo - Diciembre del año 2007, cuenta con un total de 212 datos, por lo que no es representativo del año completo, ya que por criterio se debe contar con un mínimo del 75% de los datos de un año (365 días).
- (2) Este periodo Enero - Noviembre del año 2008, tampoco es representativo del 75% de datos de un año completo, ya que solamente cuenta con un total de 262 datos de un total de 366 días.

Los valores presentados en Tabla 7-1, muestran que en la zona de Coyhaique se superan los dos primeros criterios establecidos en el D.S. Nº 59/1998, modificado por D.S Nº 45/2001 MINSEGPRES, que en su Artículo 2º define los siguientes criterios de superación de norma:

1. "Se considera sobrepasada la Norma de calidad del aire para material particulado cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual a 150 µg/m<sup>3</sup>N."
2. "Se considerará superada la norma si antes que concluyese el primer periodo anual de mediciones certificadas por la Autoridad Sanitaria se registrare en alguna de las estaciones monitorea de material particulado respirable MP<sub>10</sub> clasificada como EMRP, un número de



días con mediciones sobre el valor de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  mayor que siete (7)".

3. "Se considera sobrepasada la norma primaria anual de calidad del aire para material particulado respirable  $\text{MP}_{10}$ , cuando la concentración anual calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual que  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ".

Aún cuando el promedio anual observado para los años 2007 y 2008, supera significativamente el nivel límite de  $50 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ , no se puede considerar el criterio N° 3 debido a que la Estación Monitorea de Coyhaique, que se encuentra ubicada en las dependencias de CONAMA, no cuenta aún con los tres años consecutivos de mediciones requeridos.

De lo anterior se concluye que en la Zona de Coyhaique se supera la Norma de Calidad de Aire para  $\text{MP}_{10}$ , bajo los criterios 1 y 2, establecidos en el Artículo 2° del D.S. N° 59/1998, modificado por D.S N° 45/2001 MINSEGPRES.

### 7.2.3 Ciclos Promedio Horario de $\text{MP}_{10}$ .

En esta sección se analizan los ciclos promedio horarios de  $\text{MP}_{10}$  observados en el monitor Beta ubicado en las dependencias de CONAMA, Coyhaique, para los años 2007 y 2008. En Figura 7-6 se presenta el ciclo promedio horario de  $\text{MP}_{10}$  para el periodo Marzo – Diciembre del 2007, intervalo de las 12 pm del día a las 11 am del día siguiente, para apreciar de mejor manera el ciclo nocturno. Como se observa en esta figura, los mayores



niveles de  $MP_{10}$  se observan a partir de las 17:00 horas, alcanzado concentraciones máximas entre las 20:00 y 21:00 horas. Durante la madrugada, los niveles de  $MP_{10}$  disminuyen hasta alcanzar niveles más bajos alrededor de las 4:00 am. Entre las 6:00 y 10:00 de la mañana se registra un nuevo ascenso en los niveles de  $MP_{10}$  que llega a los  $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En Figura 7-7 se presenta el ciclo diario de  $MP_{10}$  para el periodo Enero – Noviembre del 2008. Como se observa en esta figura, los niveles de  $MP_{10}$  presentan un comportamiento muy similar al registrado en el 2007, con dos alzas de concentraciones, una entre las 18:00 y 24:00 horas y la otra entre las 7:00 y las 9:00. El patrón presentado en estos ciclos sugiere que existe una influencia directa de la principal fuente emisora de Coyhaique (combustión de leña según señalan estudios; ver sección 4.3 del presente documento) y aumento de las concentraciones ambientales del  $MP_{10}$ .

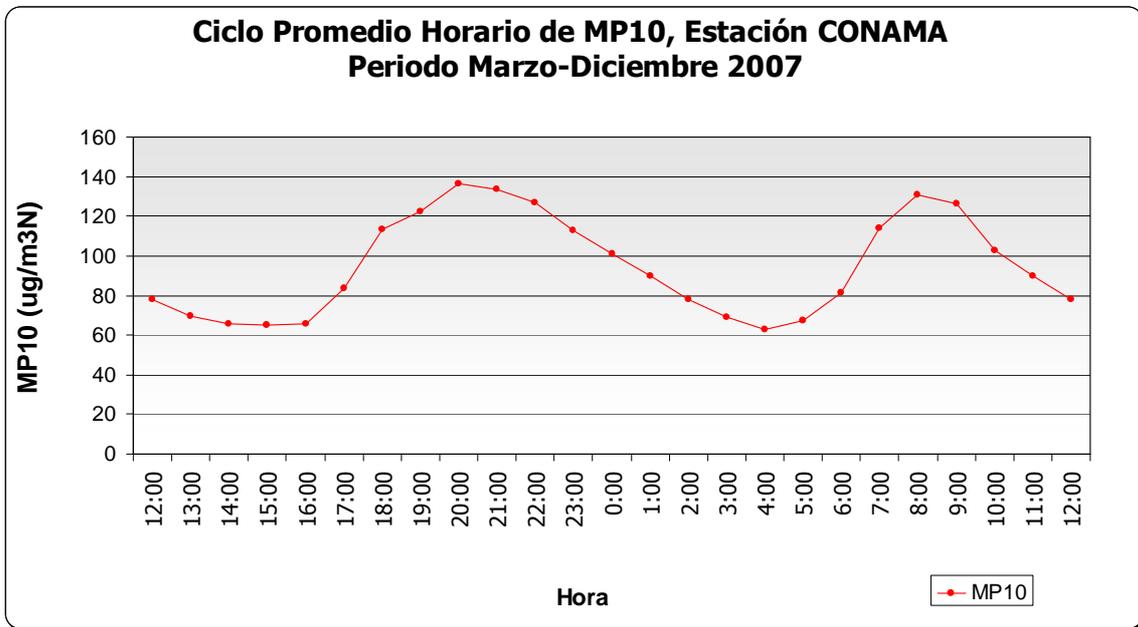


Figura 7-6: Ciclo promedio horario de  $MP_{10}$  observado en Estación CONAMA, periodo Marzo-Diciembre 2007.

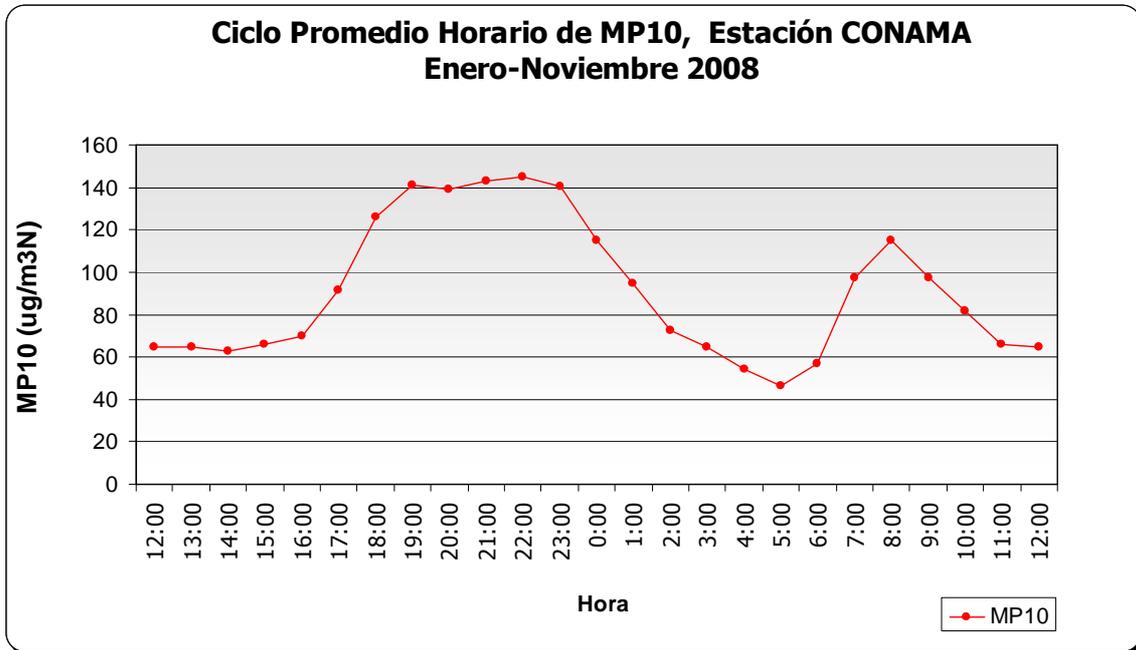


Figura 7-7: Ciclos diarios promedio horarios de MP<sub>10</sub> observados en Estación CONAMA, 2008.

Con el fin esclarecer la influencia que también ejerce el factor meteorológico sobre el comportamiento de MP<sub>10</sub>, se analizarán también los ciclos horarios promedios de las estaciones de Invierno y Verano para ambos años. Estos ciclos se presentan en Figura 7-8 y 7-9, respectivamente.

Como se ve en Figuras 7-8 y 7-9, durante los años 2007 y 2008, en invierno se presentarían mayores niveles de MP<sub>10</sub> que en verano, lo cual está asociado principalmente al aumento del uso de leña para calefacción y la disminución de la altura de mezcla.

Los ciclos diarios promedio horario de MP<sub>10</sub> para el periodo de Invierno de los años 2007 y 2008 se presentan en Figura 7-8. En esta figura se observa que las mayores concentraciones se presentan, para ambos años, entre los



siguientes intervalos: 7:00 a 10:00 de la mañana y 18:00 a 01:00 am. El nivel promedio de  $MP_{10}$  para el año 2008 es más elevado, superando los  $200 \text{ ug/m}^3$  a las 19:00 horas.

Durante la época de verano, presentada en Figura 7-9, se observan concentraciones mucho menores que en Invierno. Esto sugiere, que el aumento de las temperaturas ambientales hace que disminuya notablemente la combustión de leña, lo que sumado a mejoras en las ventilación de la cuenca, redundan en menores niveles de  $MP_{10}$ . A pesar de esto, las concentraciones de este contaminante alcanzan valores máximos promedio del orden de  $80 \text{ ug/m}^3\text{N}$  durante el año 2007 y de  $60 \text{ ug/m}^3\text{N}$  en el año 2008.

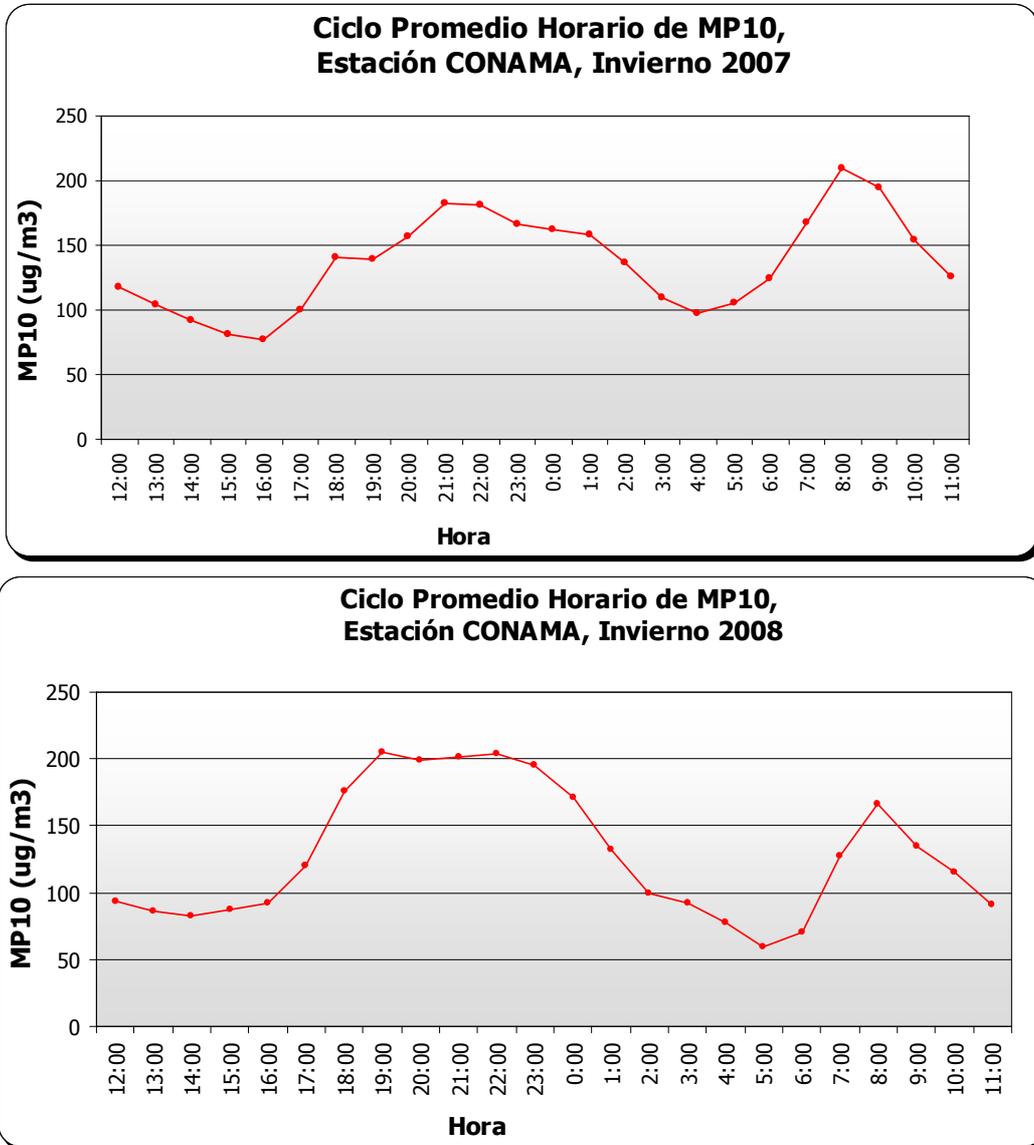


Figura 7-8: Ciclos diarios promedio horarios de MP<sub>10</sub> observados en Estación CONAMA, Invierno 2007 y 2008.

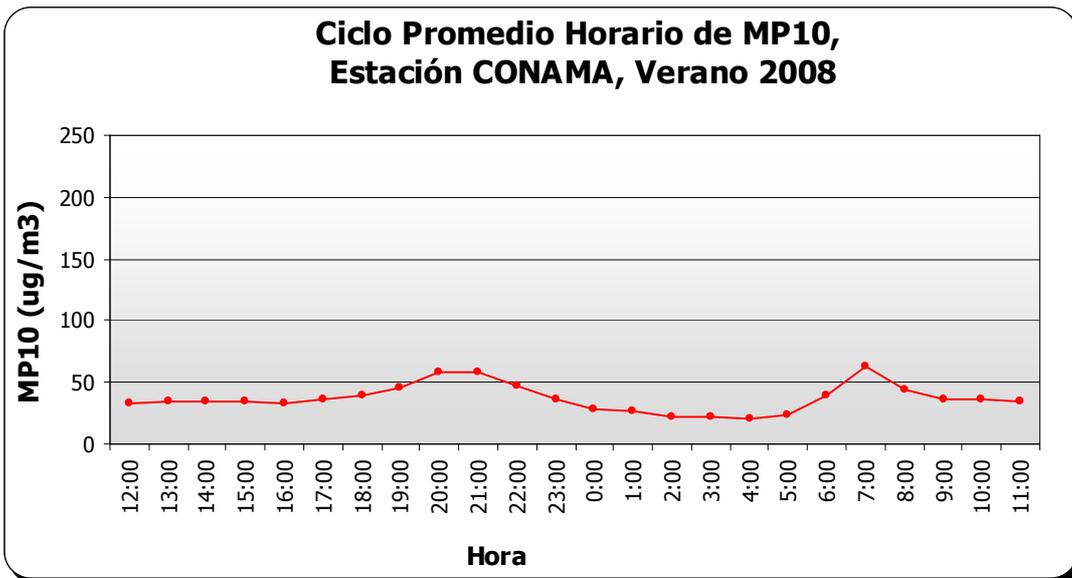
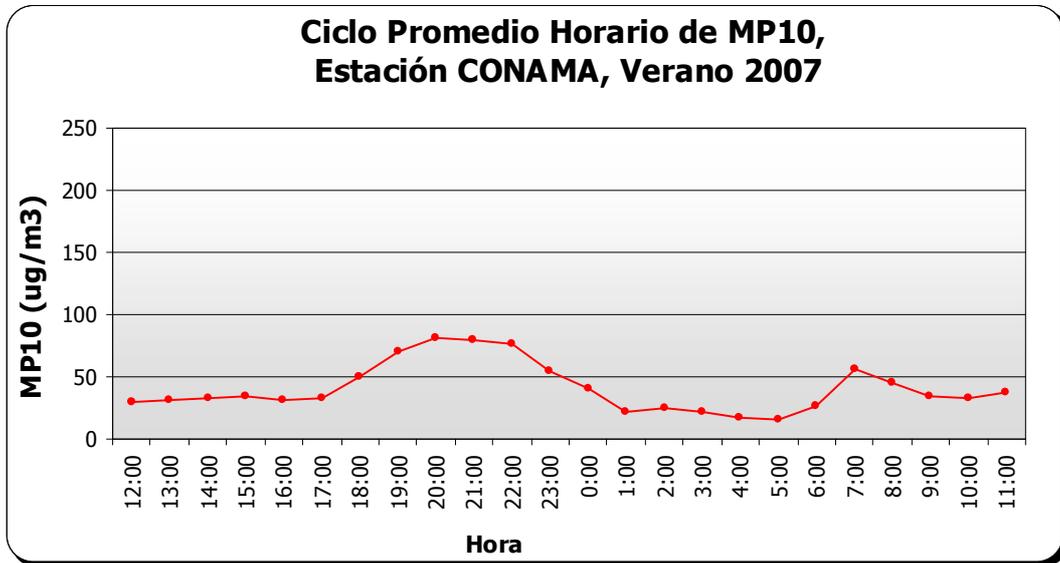


Figura 7-9: Ciclos diarios promedio horarios de MP<sub>10</sub> observados en Estación CONAMA, Verano 2007 y 2008.



### **7.3 Disponibilidad de Datos Meteorología de Superficie**

La información meteorológica disponible para la realización de este proyecto en la zona de Coyhaique es la siguiente:

- Datos calidad de aire y meteorología, Estación CONAMA Histórica.
- Datos meteorología de superficie, Estaciones SETEC.

A continuación en Tabla 7-2, se presenta un resumen de la disponibilidad de datos y las características de la Estación Histórica de CONAMA y de las tres estaciones instaladas en la ciudad de Coyhaique por la empresa SETEC, para llevar a cabo una campaña de monitoreo, solicitada por CONAMA Región de Aysén en el marco del Proyecto de Declaración de Zona Saturada por Contaminante  $MP_{10}$  en Coyhaique. En Figura 7-10, se presenta la ubicación de dichas estaciones en la ciudad de Coyhaique.



Figura 7-10: Ubicación de estaciones de monitoreo en la Zona de Coyhaique.

Las variables meteorológicas monitoreadas por las estaciones instaladas en la zona de Coyhaique son: Velocidad de Viento (VV), Dirección de Viento (DV), Temperatura (T°) y Humedad Relativa.

Desafortunadamente, para Coyhaique no se cuenta con registros de parámetros tales como Radiación Solar y Presión. Siendo radiación y Presión datos requeridos para la implementación del modelo micrometeorológico CALMET. Por este motivo, es necesario contar con métodos alternativos para suplir esta carencia de datos. Por ejemplo, en el caso de la radiación solar, esta puede ser reemplazada o inferida mediante el procesamiento de información satelital de cobertura nubosa, disponible en base de Datos MODIS de la Nasa.



Tabla 7-2: Características de las estaciones de monitoreo instaladas en la Ciudad de Coyhaique.

Estación	Año	Periodo Disponible												Coordenadas		Variables					
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	UTM-E	UTM-N	V V	DV	T°	HR	PB	
		CONAMA Histórica	2008														729.299	4948.469	X	X	X
CONAMA	2008														728.884	4950.067	X	X	X	X	
Cerro San Luis	2008														727.598	4949.961	X	X	X	X	
Qda. El Carbón	2008														732.237	4947.205	X	X	X	X	

VV: Velocidad de viento, m/s  
 HR: Humedad Relativa, %

DV: Dirección de viento, grados  
 PB: Presión Barométrica, milibares

T°: Temperatura, °C  
 Qda.: Quebrada

Fuente: Elaboración EnviroModeling Ltda.



## **7.4 Análisis de la Información de Meteorología de Superficie**

A continuación se presenta un análisis de la información meteorológica entregada por la estación CONAMA Histórica y las tres estaciones instaladas por SETEC en: dependencias de CONAMA, Sector Cerro San Luis y Sector Quebrada El Carbón. El análisis se realizó para cada uno de los periodos señalados anteriormente en Tabla 7-2.

En primer lugar, se analizaron los vientos en forma anual, estacional y horaria mediante rosas de viento, para todas las estaciones. Estas rosas de viento entregan información sobre la distribución de velocidades de viento y la frecuencia de variación de las direcciones del viento.

En segundo lugar, se presentan los ciclos diarios promedio horarios, tanto anuales como estacionales, para los siguientes parámetros: velocidad del viento, temperatura y humedad relativa.

### **7.4.1 Rosas de Viento Estación Histórica de CONAMA**

El análisis del comportamiento de los vientos observados en la estación Histórica de CONAMA Región de Aysén se presenta a continuación para el periodo Mayo – Diciembre del 2008. Este periodo fue analizado, mediante rosas de vientos anuales, estacionales y de diferentes periodos del día. Este análisis se realizó con el fin de comprender el comportamiento diurno y nocturno de los vientos en distintos periodos del año y su relación o influencia con los niveles de MP<sub>10</sub> medidos en la zona.



En el caso de las rosas horarias, se presentan en dos intervalos de tiempo, el primero, de las 0:00 a las 8:00 hrs. y el segundo, de las 9:00 am a las 23:00 hrs, con el objetivo de tener una aproximación al comportamiento nocturno y diurnos de los vientos, respectivamente.

#### **7.4.1.1 Rosa de Vientos Periodo Mayo – Diciembre 2008 Estación Histórica de CONAMA**

La rosa de viento de Estación Histórica de CONAMA para el periodo Mayo – Diciembre se presenta a continuación en Figura 7-11. En esta figura es posible observar que la Estación Monitora de COMAMA presenta más de una dirección predominante de los vientos para el periodo Mayo – Diciembre del 2008. Por una parte, se observan vientos procedentes del Oeste, que se encuentran dentro de un rango comprendido por la dirección Noroeste (NW equivalente a  $315^\circ$ ) y Sur-Suroeste (SSW –  $107^\circ$ ). Dentro de este rango la dirección con mayor frecuencia (aproximadamente de un 21%) es la Oeste-Noroeste (WNW). Por otra parte, se observan frecuencias menores en los vientos provenientes de la dirección Este (E –  $45^\circ$ ) y Este-Noreste (ENE), característicos de los periodos nocturnos, con un 8% del total del tiempo.

Cabe señalar, que las velocidades registradas para los vientos de la componente Oeste-Noroeste (WNW) alcanzan un máximo dentro del rango de 5.7 a 8.8 m/s. Por otra parte, los vientos del Este (E) presentan velocidades menores a las del periodo diurno, alcanzando un rango máximo situado entre los 0.5 y 2.1 m/s. Esta información se presenta en mayor detalle en secciones siguientes.

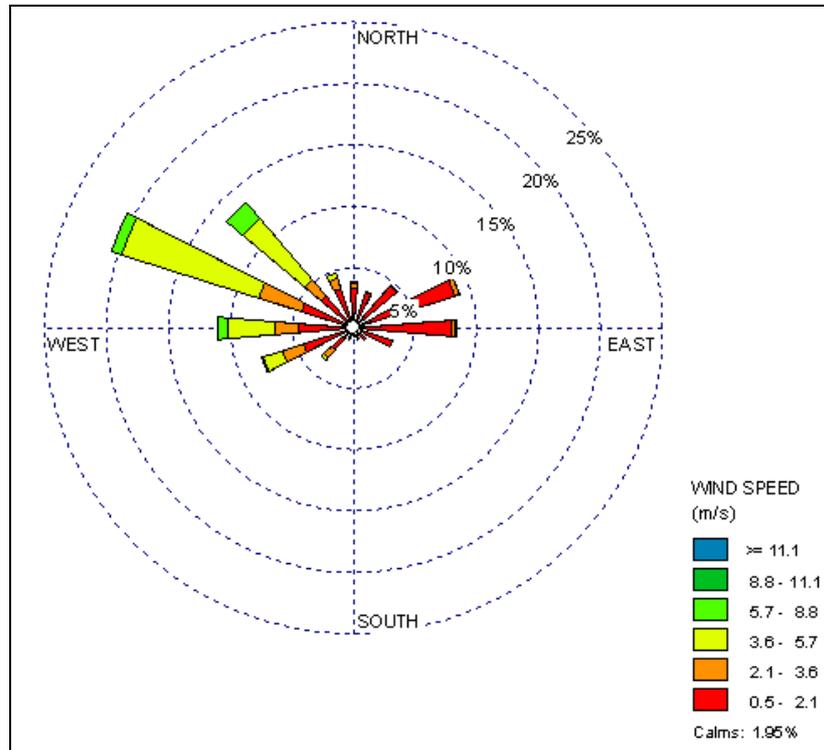


Figura 7-11: Rosa de viento Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.

#### 7.4.1.2 Rosas de Viento Estacionales Estación Histórica de CONAMA

Las rosas de viento estacionales<sup>34</sup> para la Estación Histórica de CONAMA se presentan en Figura 7-12. Del análisis de esta información se puede decir lo siguiente:

<sup>34</sup> Las rosas de viento de las estaciones Otoño, Primavera y Verano nos son totalmente representativas, debido a que el periodo de datos disponible para Estación Histórica de CONAMA es Mayo-Noviembre del 2008



- Durante los meses de otoño, los vientos que provienen del Oeste-Noroeste (WNW) y Noroeste (NW) predominan con un 16% del total del tiempo, con velocidades que alcanzan el rango de 5.7 a 8.8 (m/s). Por otro lado, desde la dirección Este (E) y Este-Noreste (ENE) soplan vientos con una frecuencia menor que no supera el 13% del total del tiempo y velocidades de viento de 0.5 a 2.1 (m/s)
- Durante el invierno propiamente tal, es decir durante Junio y Agosto, el comportamiento de las direcciones de viento es similar al de los tres meses anteriores. Sin embargo, se observa un leve aumento en la frecuencia de ocurrencia de los vientos que vienen desde las direcciones Sur-Oeste (SW), Oeste-Suroeste (WSW), y Este (E) y Este-Noreste (ENE).
- En Primavera, vuelve nuevamente el predominio de direcciones de viento que se encuentran entre el tercer y cuarto cuadrante, es decir entre las direcciones Oeste-Suroeste (WSW) y Noroeste (NW), con frecuencias de ocurrencia que están entre 12% y 23%. Siendo la frecuencia Oeste-Noroeste (WNW) la que alcanza mayores velocidades de viento (8.8 a 11 m/s).
- Durante los meses cálidos (Diciembre-Marzo), correspondientes al periodo de Verano, el comportamiento de las direcciones de viento indica que predominan los vientos que se encuentran dentro del rango comprendido por las direcciones Oeste (W) y Noroeste (NW), con velocidades de viento que van desde los 8.8 a 11 m/s, similares a las registradas en Primavera.

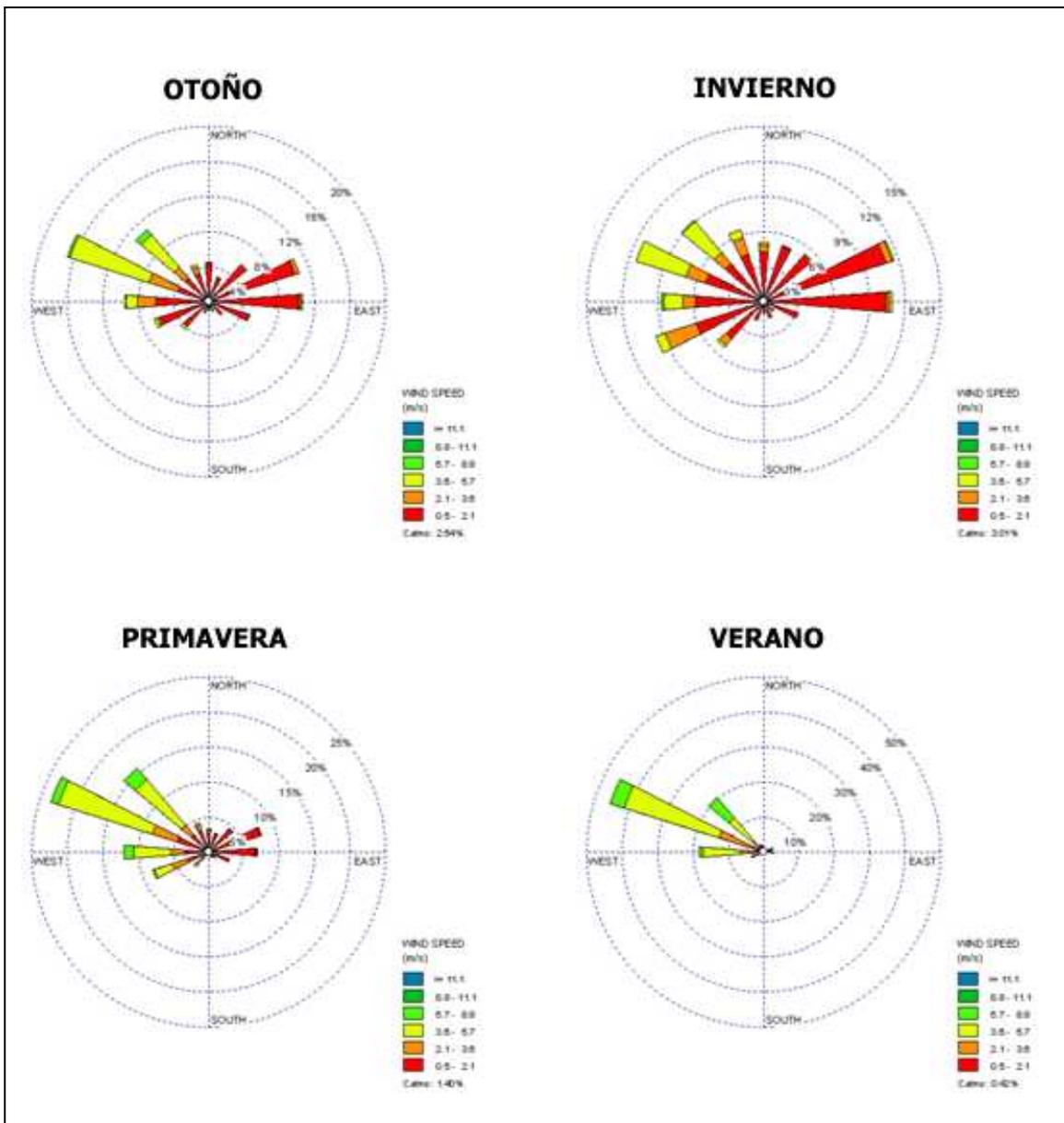


Figura 7-12: Comparación Rosas de Viento estacionales, Estación Histórica de CONAMA, periodo Mayo – Diciembre 2008.

### 7.4.1.3 Rosas de Viento para Diferentes Periodos del Día, Estación Histórica de CONAMA.

Las rosas de viento para diferentes periodos del día de Estación de Monitoreo Histórica CONAMA se presentan en Figura 7-13, en esta imagen se observa que durante la noche predominan, por una parte, los vientos suaves que soplan desde el Este (E) y por otra, vientos un poco más fuertes que soplan desde Oeste-Noroeste (WNW).

Por otro lado, entre las 9 am y las 23 horas, se da paso a vientos más fuertes, que alcanzan entre 5.7 y 8.8 m/s de velocidad, con predominio de las direcciones que se encuentran dentro del rango Oeste-Suroeste (WSW) y Noroeste (NW), siendo la dirección Oeste-Noroeste (WNW) la que presentan mayor frecuencia de ocurrencia, con 23%.

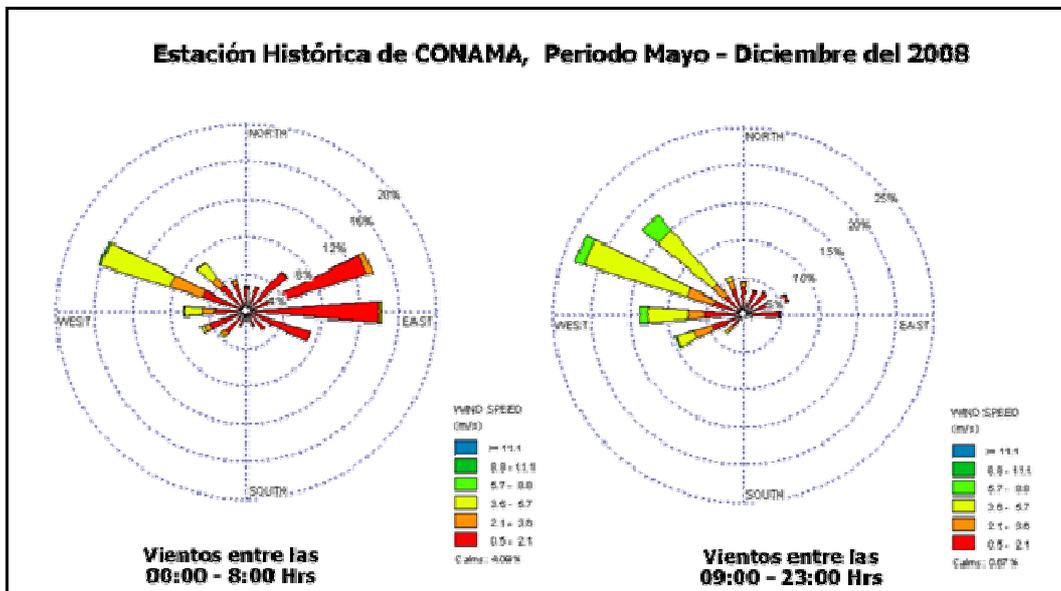


Figura 7-13: Rosas de Viento promedio observadas en Estación Histórica de CONAMA Aysén entre las 0 y 8 hrs y entre las 9 y 23 hrs, periodo Mayo – Diciembre 2008.



#### **7.4.2 Rosas de Viento Estaciones Instalada por SETEC en Dependencias de CONAMA.**

A continuación se presentan las rosas de viento del periodo de monitoreo Octubre – Diciembre del 2008 y horarias para las estaciones instaladas por SETEC en los sectores:

- Dependencias de CONAMA Región de Aysén
- Cerro San Luis
- Quebrada El Carbón

Este análisis se realiza con el fin de comprender el comportamiento diurno y nocturno de los vientos en distintos sectores y periodos del año, así como su relación o influencia con los niveles de  $MP_{10}$  medidos en la zona.

En el caso de las rosas horarias, se presentan en dos intervalos de tiempo, el primero, de las 0:00 a las 8:00 hrs. y el segundo, de las 9:00 am a las 23:00 hrs, con el objetivo de tener una aproximación al comportamiento nocturno y diurnos de los vientos respectivamente. Sin embargo, en Anexo A se presentan las rosas horarias con más detalle.

##### **7.4.2.1 Rosas de Viento Estación Instalada por SETEC en Dependencias de CONAMA Aysén.**

El análisis de las rosas de viento de la Estación instalada por la empresa SETEC Ltda. en las dependencias de CONAMA Aysén, se presenta en las



secciones siguientes con el fin de comprender el comportamiento diurno y nocturno de los vientos en distintos sectores y periodos del año, así como su relación o influencia con los niveles de  $MP_{10}$  medidos en la zona.

En primer lugar, se presentan las rosas de viento del periodo de monitoreo Octubre – Diciembre del 2008 y en segundo lugar, la rosas horarias para la estación instalada en CONAMA Aysén.

#### **7.4.2.1.1 Rosa de Viento Periodo de Monitoreo Octubre – Diciembre 2008, Estación Instalada en Dependencias de CONAMA Aysén.**

La rosa de viento generada a partir de los datos registrados durante el periodo Octubre – Diciembre del 2008, por la estación instalada por SETEC Ltda. en las dependencias de CONAMA Aysén, se presenta a continuación en Figura 7-14.

En esta figura es posible observar que durante el periodo Octubre – Diciembre del 2008, la Estación CONAMA presentó una clara predominancia de vientos que provienen de la dirección Noroeste (NW equivalente a  $315^\circ$ ) y Oeste-Noroeste (WNW), con velocidades que alcanzan los 8.8 m/s.

Cabe señalar, que las velocidades registradas, tanto para los vientos del Noroeste (NW) como para los del Oeste-Noroeste (WNW), alcanzan un máximo situado dentro del rango de los 5.7 y 8.8 m/s, con un 22 y 28% del tiempo de ocurrencia respectivamente.

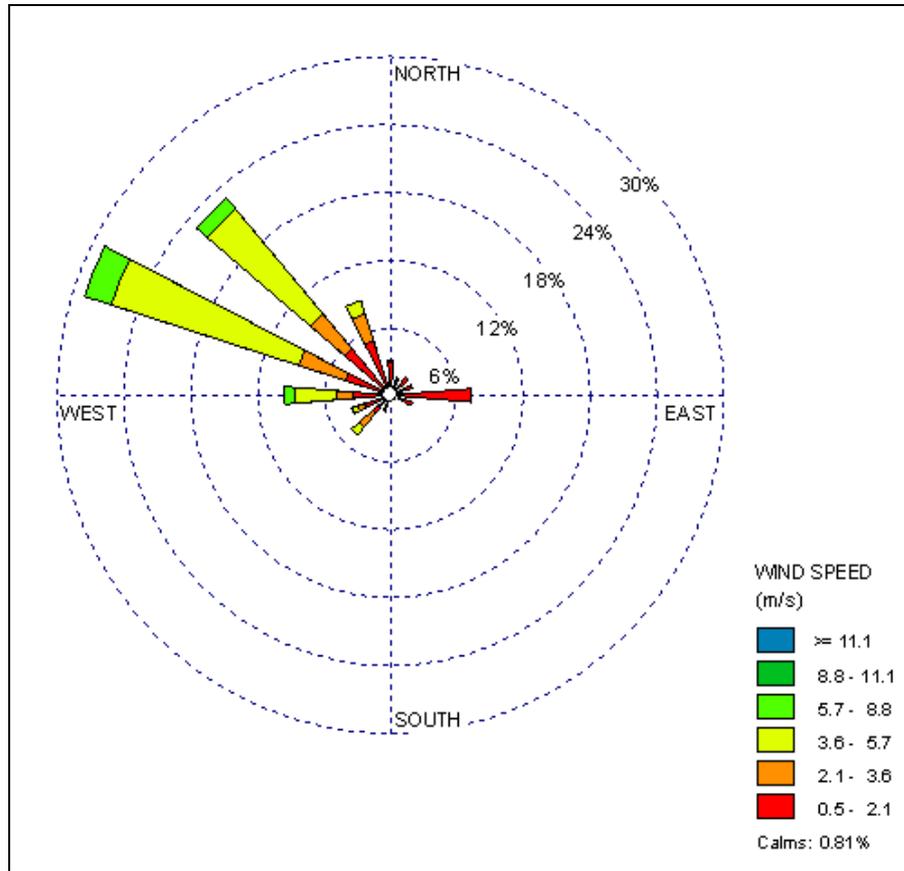


Figura 7-14: Rosa de Viento Estación instalada en dependencias de CONAMA Aysén, periodo completo de monitoreo Octubre – Diciembre 2008.

#### 7.4.2.1.2 Rosas de Viento para Diferentes Periodos del Día.

Las rosas de viento para diferentes periodos del día de Estación de Monitoreo CONAMA se presentan en Figura 7-15, en esta imagen se observa que durante la noche predominan, por una parte, los vientos de la dirección Oeste-Noroeste (WNW) con velocidades de 5.7 a 8.8 m/s y por otra parte, vientos más suaves que soplan desde el Este (E), aproximadamente en un 14% del tiempo de ocurrencia.

Entre las 9 am y las 23 horas, se da paso a vientos más fuertes, que alcanzan el intervalo de 5.7 a 8.8 m/s de velocidad, con predominio de las direcciones que se encuentran dentro del rango Oeste-Suroeste (WSW) y Noroeste (NW), siendo la dirección Oeste-Noroeste (WNW) la que presenta mayor frecuencia de ocurrencia de 23%.

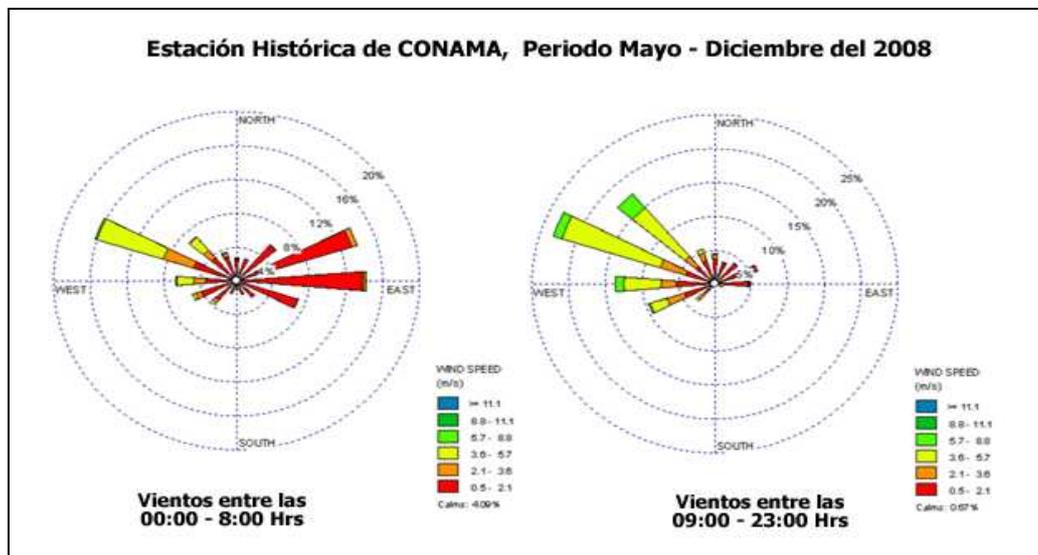


Figura 7-15: Rosas de Viento observadas en Estación CONAMA entre las 00:00 y 08:00 hrs y entre las 09:00 y 23:00 hrs, periodo Octubre – Diciembre 2008.



#### **7.4.2.2 Rosas de Viento Estación instalada en Sector Cerro San Luis.**

Al igual que para la Estación CONAMA, en esta sección se realiza un análisis de las rosas de vientos del periodo de monitoreo completo (Octubre – Diciembre del 2008) y horarias para la estación ubicada en el sector Cerro San Luis, con el fin de comprender el comportamiento diurno y nocturno de los vientos en distintos periodos del año y su relación o influencia con los niveles de  $MP_{10}$  medidos en la zona.

##### **7.4.2.2.1 Rosa de Viento Periodo de Monitoreo Octubre – Diciembre 2008.**

La rosa de viento del periodo Octubre – Diciembre del 2008 para la estación ubicada en el Cerro San Luis se presenta en Figura 7-16.

Al igual que la rosa de viento para el periodo completo de monitoreo de Estación CONAMA, la estación monitorea situada en el Cerro San Luis, presenta predominancia en la frecuencia de los vientos de procedencia Noroeste (NW equivalente a  $315^\circ$ ). Sin embargo, la Estación Cerro San Luis registra mayores velocidades de viento, alcanzando un máximo que se sitúa dentro del rango de los 8.8 y 11.1 m/s.

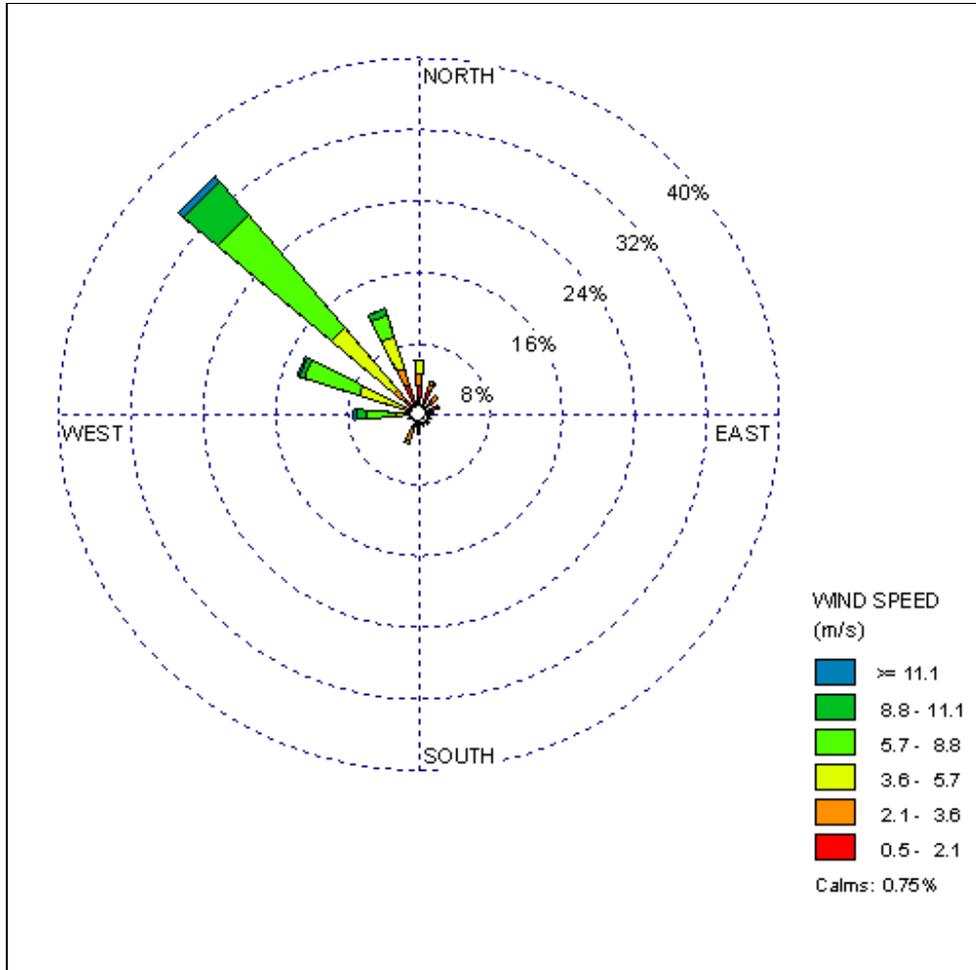


Figura 7-16: Rosa de Viento Estación instalada en el Sector Cerro San Luis, periodo completo de monitoreo Octubre – Diciembre 2008.

#### 7.4.2.2 Rosas de Viento para Diferentes Periodos del Día.

El comportamiento de los vientos durante diferentes periodos del día en la estación Cerro San Luis se presenta en Figura 7-17. En esta figura es posible observar que en el intervalo de las 9 am y las 23 horas, predominan los vientos fuertes, de hasta 11.1 m/s, con una clara influencia de las direcciones de viento Oeste-Noroeste (WNW) y Noroeste (NW), esta última alcanza frecuencias de ocurrencia de un 39%.

Por otra parte, al igual que en el día, durante la noche predominan los vientos fuertes, estos soplan desde las direcciones Noroeste (NW) hasta el Oeste (W), con frecuencias que ocupan un 39% del tiempo de ocurrencia en la dirección Noroeste (NW).

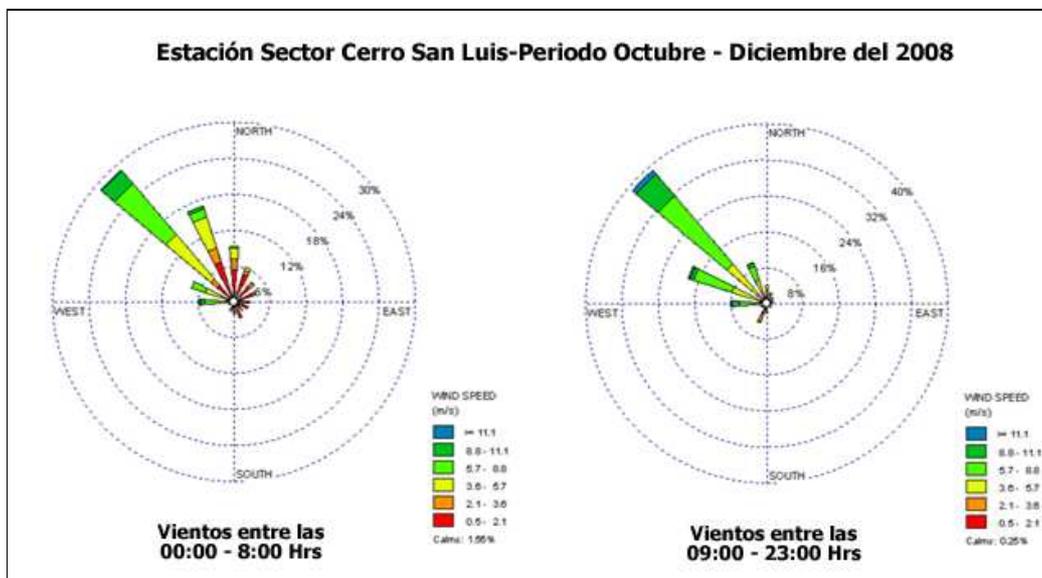


Figura 7-17: Rosas de Viento observadas en Estación Cerro San Luis entre las 00:00 y 08:00 hrs y entre las 09:00 y 23:00 hrs, periodo Octubre – Diciembre 2008.



### **7.4.2.3 Rosas de Viento Estación Instalada en Sector Quebrada El Carbón.**

En esta sección se presentan las rosas de viento del periodo de monitoreo completo (Octubre – Diciembre del 2008) y horarias para la estación instalada en el sector Quebrada El Carbón, con el fin de comprender el comportamiento diurno y nocturno de los vientos en distintos periodos del año y su relación o influencia con los niveles de  $MP_{10}$  medidos en la zona.

#### **7.4.2.3.1 Rosa de Viento Periodo de Monitoreo Octubre – Diciembre 2008.**

En Figura 7-18, se presenta una rosa de viento, generada a partir de los datos registrados durante el periodo Octubre – Diciembre del 2008 por la estación instalada por SETEC Ltda. en el Sector de la Quebrada El Carbón.

En esta figura se observa que durante periodo de monitoreo antes mencionado, la Estación instalada en Quebrada El Carbón presentó un claro predominio de direcciones de viento que se encuentran dentro del rango Noroeste (NW) y Oeste (W), con velocidades que alcanzan los 8.8 a 11.1 m/s.

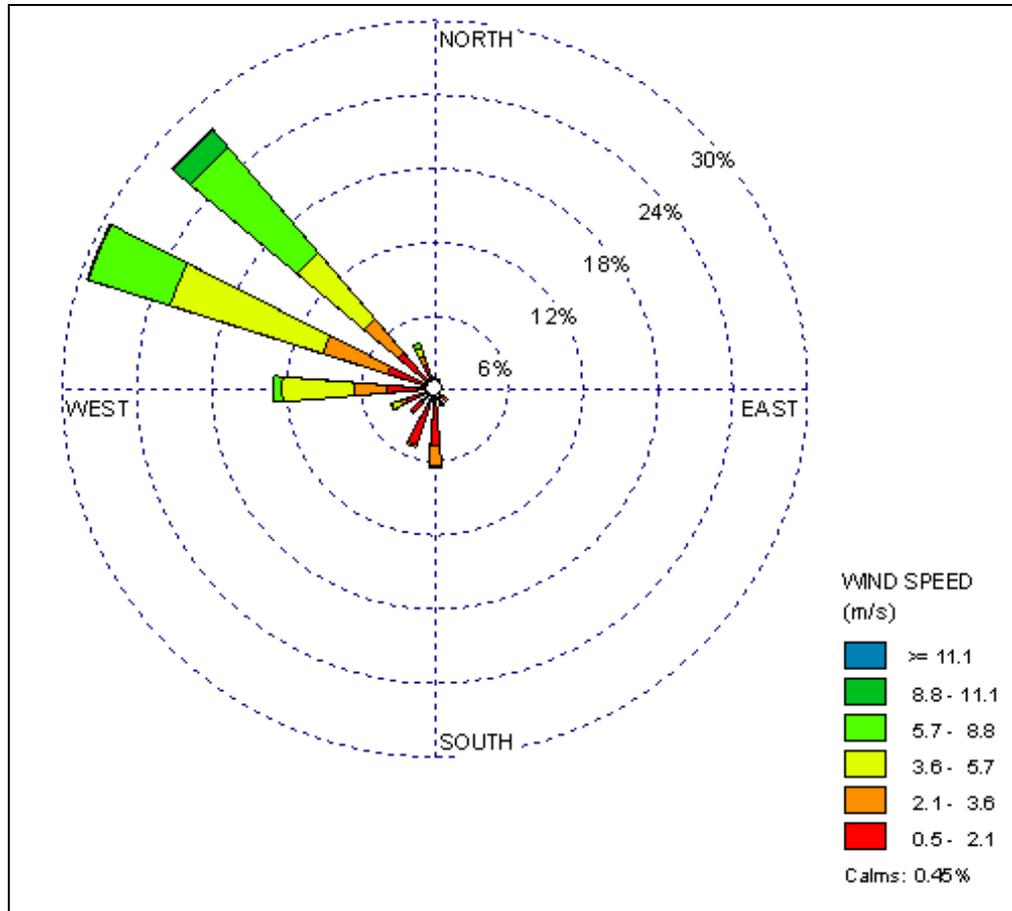


Figura 7-18: Rosa de viento Estación ubicada en el sector Quebrada El Carbón, periodo completo de monitoreo Octubre – Diciembre 2008.

#### 7.4.2.3.2 Rosas de Viento para Diferentes Periodos del Día.

Las rosas de viento para diferentes periodos del día de la Estación de monitoreo instalada en el sector Quebrada El Carbón se presentan a continuación en Figura 7-19.

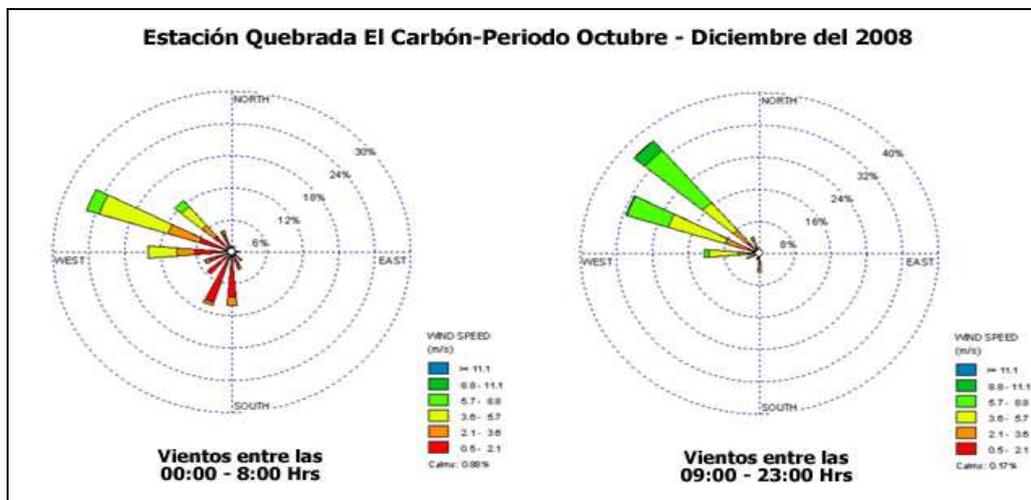


Figura 7-19: Rosas de viento observadas en Estación ubicada en sector Quebrada El Carbón entre las 00:00 y 08:00 hrs y entre las 09:00 y 23:00 hrs, periodo Octubre – Diciembre 2008.

En esta imagen se observa que durante la noche, la Estación ubicada en el Sector Quebrada El Carbón presenta más de una dirección predominante en los vientos para el periodo Octubre - Diciembre. Por una parte, se observan vientos que se encuentran dentro de un rango comprendido por las direcciones Sur (S) y Oeste (W). Dentro de este rango la dirección con mayor frecuencia (aproximadamente de un 16%) es la Sur-Suroeste (SSW). Por otra parte, se observa una frecuencia mayor en los vientos provenientes de la dirección Oeste-Noroeste (WNW), con un 26% del total del tiempo de ocurrencia.

Por otro lado, entre las 9 am y las 23 horas, se observan vientos fuertes, que alcanzan el intervalo de 8.8 a 11.1 m/s de velocidad, con predominio de las direcciones Oeste-Noroeste (WNW) y Noroeste



(NW), siendo esta última la que presenta mayor frecuencia de ocurrencia, aproximadamente 36 %.

### **7.4.3 Ciclos Horarios Variables Meteorológicas, Estación Histórica de CONAMA.**

En esta sección se presentan los ciclos horarios, tanto estacionales como, para el periodo de datos disponible (Mayo – Diciembre 2008), de las siguientes variables meteorológicas registradas para la estación Histórica de CONAMA Aysén:

- Velocidad del Viento
- Temperatura
- Humedad Relativa

Cada una de estas variables se presenta en gráficos que contienen ciclos diarios promedio horarios del periodo total de datos disponible y para diferentes periodos climático, considerando el intervalo horario comprendido entre las 00:00 y 23:00 hrs.

#### **7.4.3.1 Ciclos Horarios Periodo Mayo- Diciembre 2008.**

En las Figuras 7-20 a 7-22 se presentan los ciclos para el periodo Mayo – Diciembre 2008, de las variables meteorológicas nombradas anteriormente.



La velocidad del viento para la estación CONAMA, presentada en Figura 7-20, muestra un ciclo normal o esperado para esta zona del país, con viento suave durante la madrugada y con un aumento desde las 7 de la mañana hasta alcanzar su máximo entre las 14:00 y 16:00 hrs.

Por otro lado, las temperaturas horarias promedio, presentadas en Figura 7-21, varían también dentro de lo normal, fluctuando desde un mínimo de 6.2 °C entre las 5:00 y 6:00 am, hasta un máximo de 13 °C entre las 14:00 y 15:00 hrs.

Finalmente, el ciclo de la humedad relativa presentada en Figura 7-22, muestra que para la estación Histórica de CONAMA Aysén, el máximo promedio de 69% se produce entre 5:00 y 6:00 de la mañana, bajando a un mínimo de 47% entre las 14:00 y 15:00 hrs.



Figura 7-20: Ciclo horario promedio de Velocidad del Viento, Estación CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.

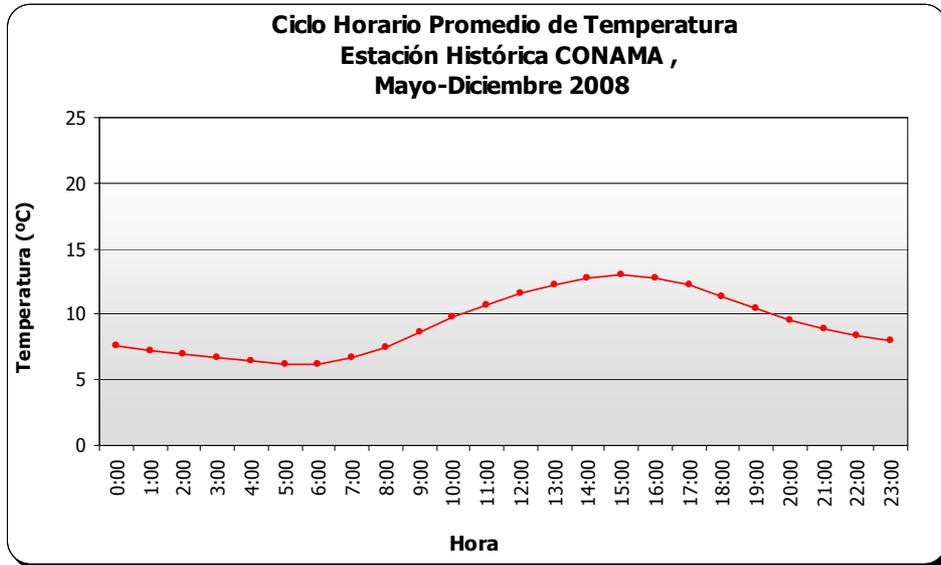


Figura 7-21: Ciclo Horario Promedio de Temperatura, Estación CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008

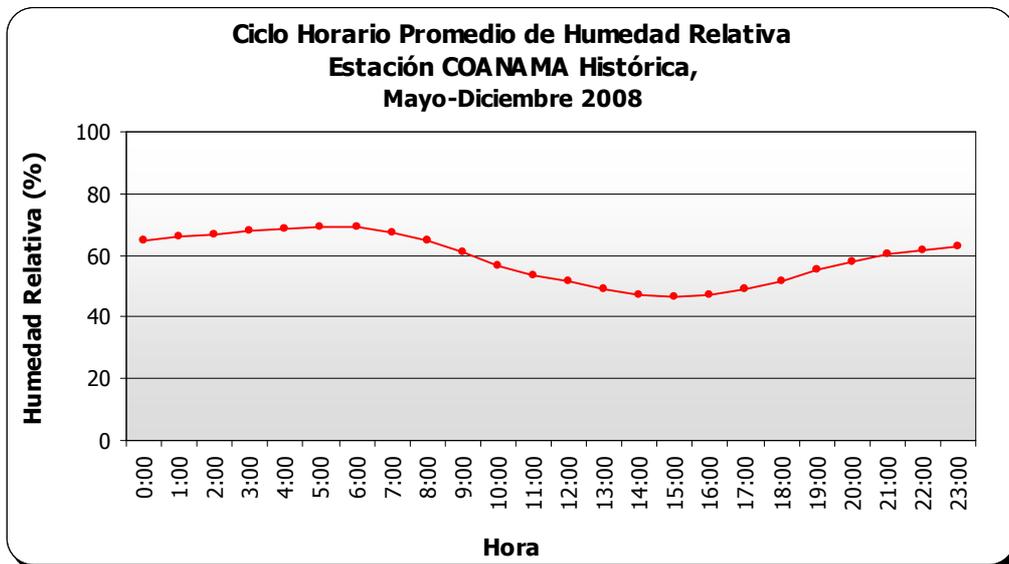


Figura 7-22: Ciclo horario promedio de Humedad Relativa, Estación CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008

#### **7.4.3.2 Ciclos Horarios para Diferentes Periodos Climáticos, Estación Histórica de CONAMA Aysén.**

Como parte del análisis de los parámetros meteorológicos, en esta sección se detallan los ciclos estacionales para el periodo disponible (Mayo – Diciembre 2008) presentados en sección anterior. En Figura 7-23 a 7-25 se presentan los ciclos estacionales de velocidad de viento, temperatura y humedad relativa.

En Figura 7-23 se presentan los ciclos estacionales de Velocidad de Viento, en esta figura se observa que en los meses cálidos de Primavera los vientos máximos promedio en la estación CONAMA alcanzan los 4.6 m/s, entre las 15 y 16 hrs., mientras que los mínimos bordean los 1.7 m/s alrededor de las 5:00 am. Por el contrario, durante los meses de Otoño e Invierno se observan vientos más suaves, con velocidades mínimas de 1.5 m/s en Otoño y 1 m/s en Invierno. En tanto las velocidades máximas promedian los 2.7 m/s, entre las 12:00 y 13:00 hrs en Otoño, mientras que en Invierno se observan velocidades máximas de 3 m/s entre las 14:00 y 15:00 hrs.

El ciclo estacional de Temperatura, presentado en Figuras 7-24, para la Estación Histórica de CONAMA, muestra que para el periodo de Primavera se presentan promedios mínimos que se encuentran entre los 8 °C alrededor de las 5:00 am y máximas de 16° C registradas entre las 14:00 y 15:00 hrs.

Durante el Otoño, las temperaturas mínimas se registran durante la noche y bordean los 5 °C. En tanto, las temperaturas máximas alcanzan los 8 °C entre las 14:00 y 15:00 hrs. Por otra parte, en invierno se



presentan los promedios más bajos correspondientes a 3 °C, registrados alrededor de las 7:00 am.

Finalmente, los ciclos de humedad relativa, presentados en Figuras 7-25, presentan un comportamiento horario esperado para las diferentes estaciones del año. Los valores de humedad son más elevados en los periodos los periodos fríos de Otoño – Invierno, en donde se observan humedades máximas de 72%, mientras que las mínimas alcanzan los 44%. En tanto, durante la época de Primavera, este parámetro presenta valores mínimos de 44% y máximos que alcanzan un 66 %.

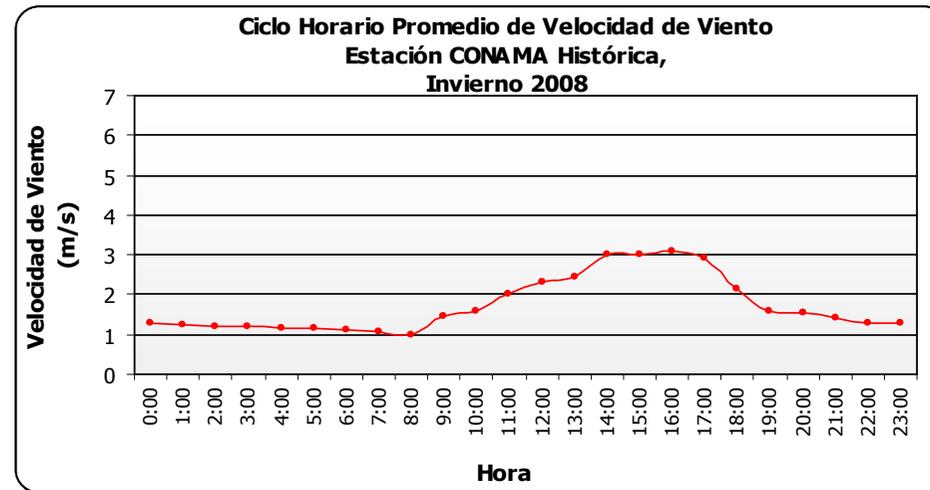
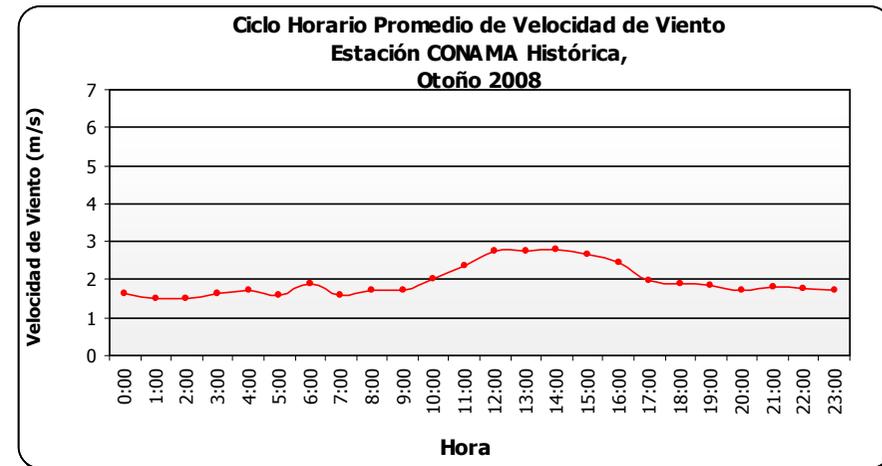
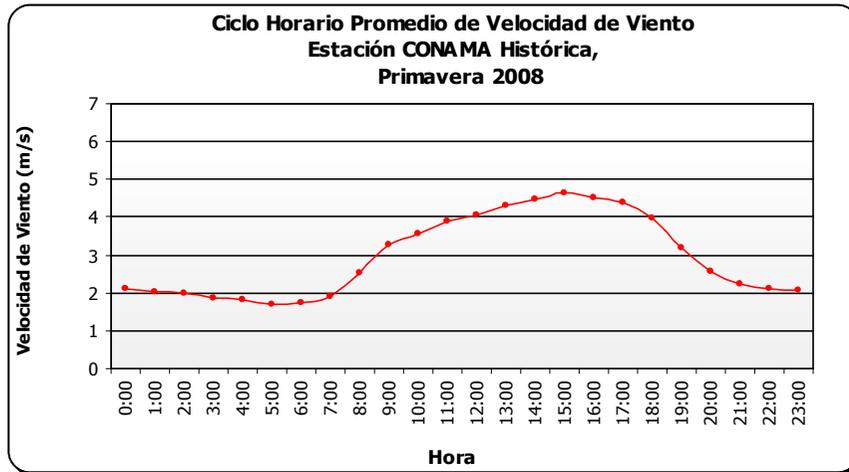


Figura 7-23: Ciclos diarios promedios horarios estacionales de Velocidad del Viento, Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.

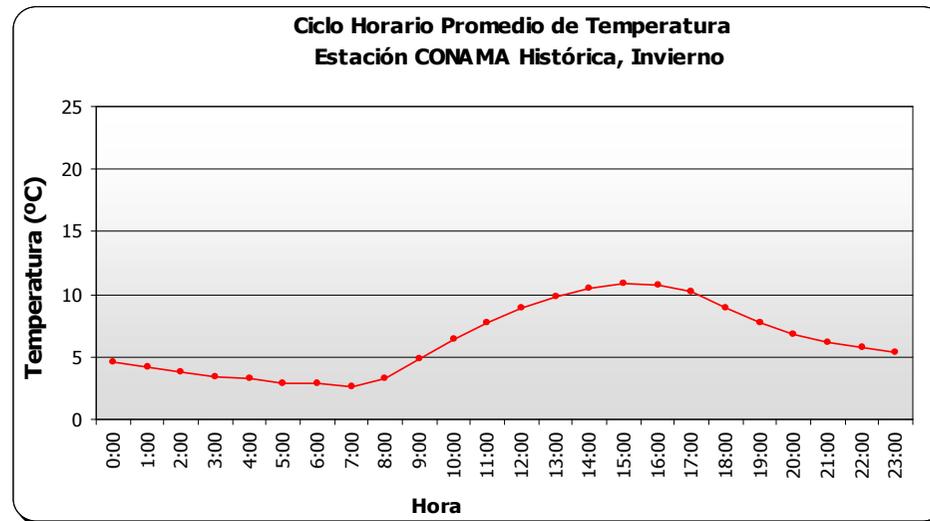
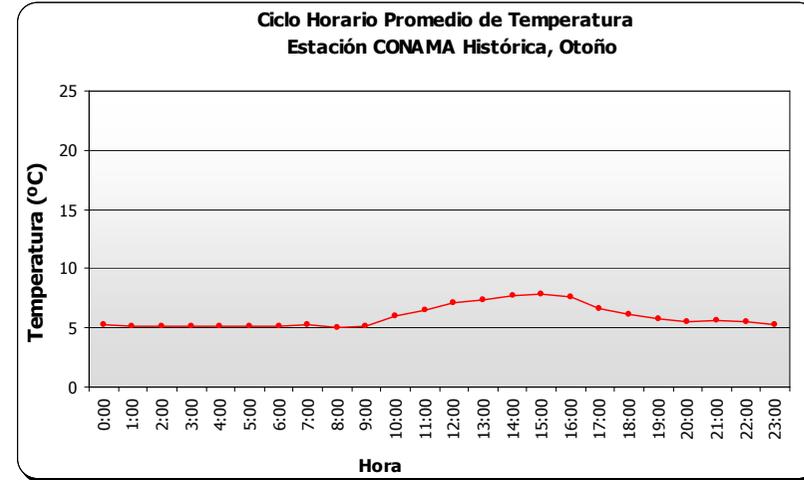
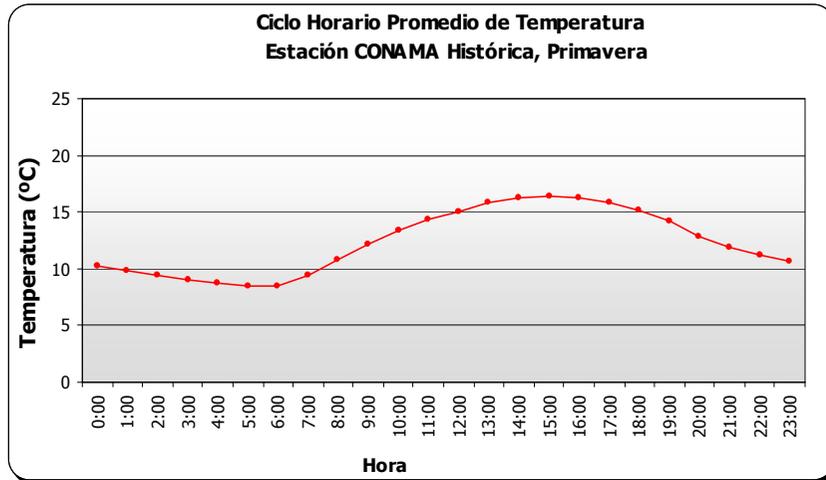


Figura 7-24: Ciclos diarios promedios horarios estacionales de Temperatura, Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.

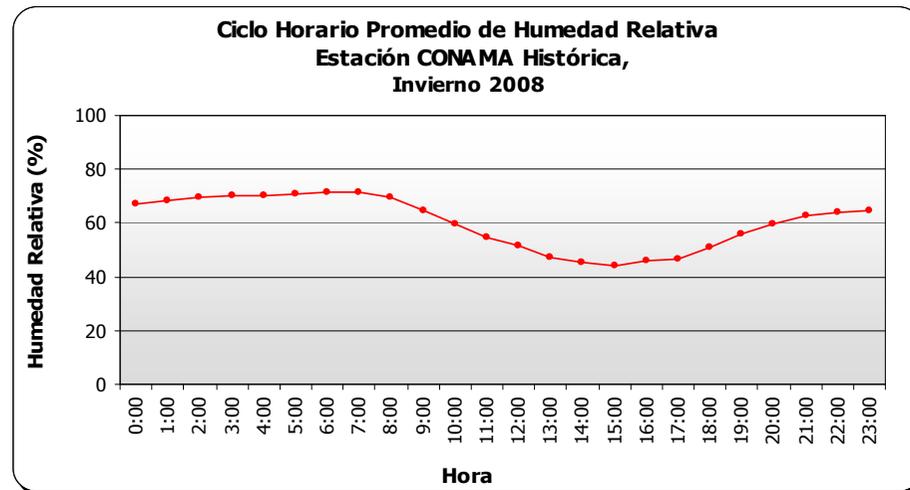
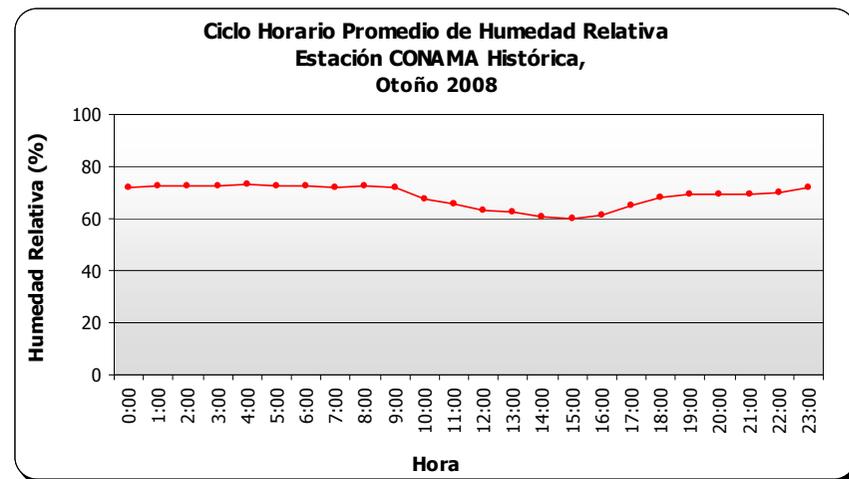
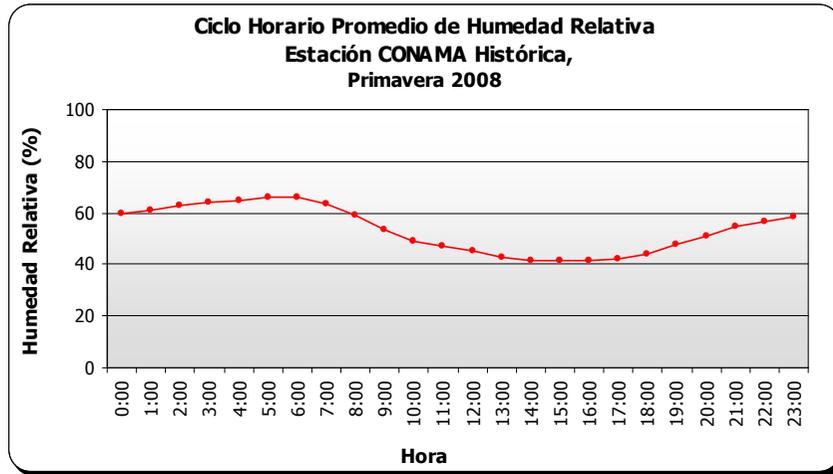


Figura 7-25: Ciclos diarios promedios horarios estacionales de Humedad Relativa, Estación Histórica de CONAMA Aysén, periodo Mayo – Diciembre 2008.



#### **7.4.4 Ciclos Horarios Variables Meteorológicas Estaciones SETEC.**

En esta sección se presentan los ciclos horarios de las variables meteorológicas de las tres estaciones de monitoreo instaladas por la empresa SETEC en Coyhaique, durante el periodo Octubre – Diciembre 2008. Las variables meteorológicas registradas en cada una de estas estaciones son las siguientes:

- Velocidad del Viento
- Temperatura
- Humedad Relativa

Cada una de estas variables se presenta en gráficos que contienen ciclos diarios promedios horarios del periodo total de datos disponible, considerando el intervalo horario comprendido entre las 00:00 y 23:00 hrs.

##### **7.4.4.1 Ciclos Horarios Estación Instalada en Dependencias de CONAMA, Periodo de Monitoreo (Octubre – Diciembre 2008)**

En la Figura 7-26 se presentan los ciclos de las variables meteorológicas presentadas anteriormente en Tabla 7-2, para la Estación instalada en CONAMA Aysén, durante el periodo Octubre – Diciembre 2008.

La velocidad del viento, durante la madrugada presenta vientos suaves, estos comienzan a aumentar alrededor de las 7:00 de la mañana hasta alcanzar su valor máximo entre las 15:00 y 16:00 hrs.



Las temperaturas horarias promedio, presentadas en Figura 7-27, fluctúan desde un mínimo de 9 °C a las 5:00 am hasta un máximo de 18 °C entre las 14:00 y 15:00 hrs.

Por otro lado, el ciclo de la humedad relativa muestra que su máximo promedio es de 72% y se produce entre 5:00 y 6:00 de la mañana, bajando a un mínimo de 45% entre las 14:00 y 15:00 horas.

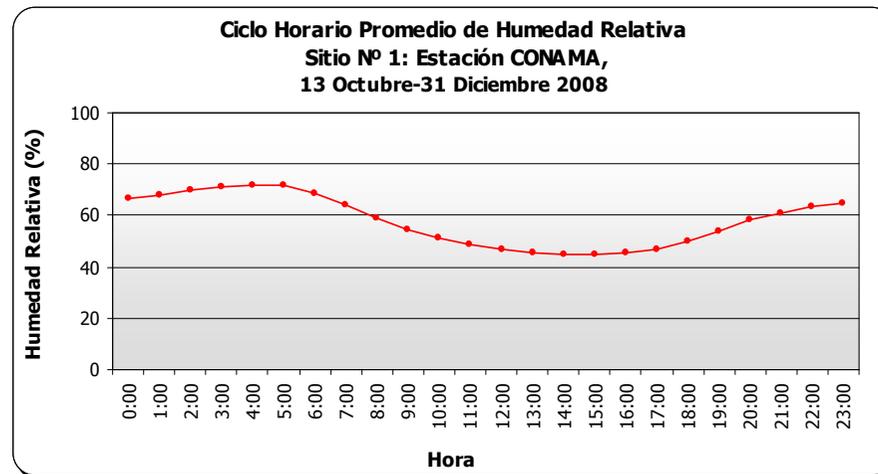
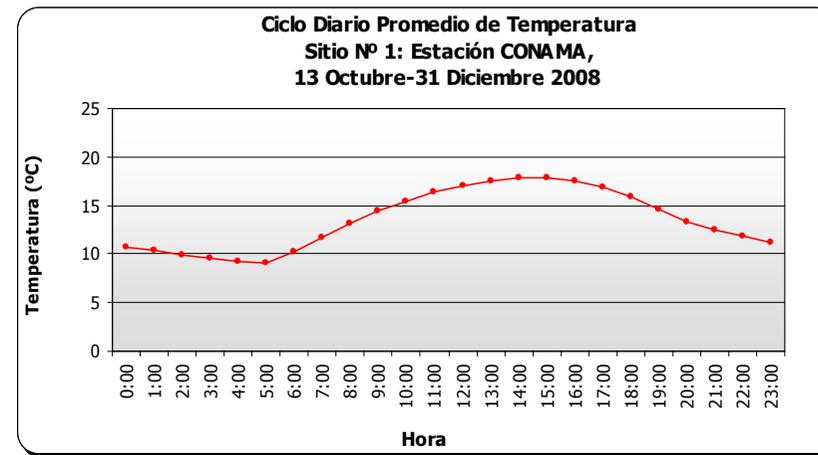
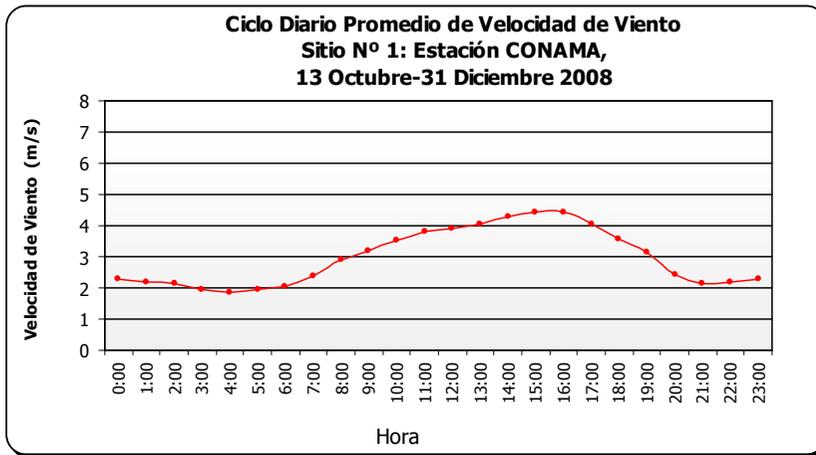


Figura 7-26: Ciclos diarios promedio horario de Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa. Estación Instalada en CONAMA Aysén, periodo Octubre – Diciembre 2008.



#### **7.4.4.2 Ciclos Horarios Estación Instalada en Sector Cerro San Luis, Periodo de Monitoreo Octubre – Diciembre 2008**

En la Figura 7-27 se presentan los ciclos anuales de las variables meteorológicas Velocidad de Viento, Temperatura y Humedad Relativa, observadas en la Estación de monitoreo instalada en el Cerro San Luis de Coyhaique, durante el periodo de Primavera del año 2008.

La velocidad del viento para la estación Cerro San Luis, presenta un ciclo, con viento fuerte durante la tarde, alcanzando velocidades máximas de 7 m/s alrededor de las 15:00 hrs. Las velocidades mínimas, observadas durante la madrugada, se encuentran entre los 3 y 3.5 m/s.

Las temperaturas horarias promedio, varían desde un mínimo de 7 °C entre las 5:00 y 6:00 am, hasta un máximo de 15 °C entre las 14:00 y 15:00 hrs.

Finalmente, la humedad relativa muestra que su máximo promedio es de 72% y se produce entre 5:00 y 6:00 de la mañana, bajando a un mínimo de 45% entre las 14:00 y 15:00 horas.

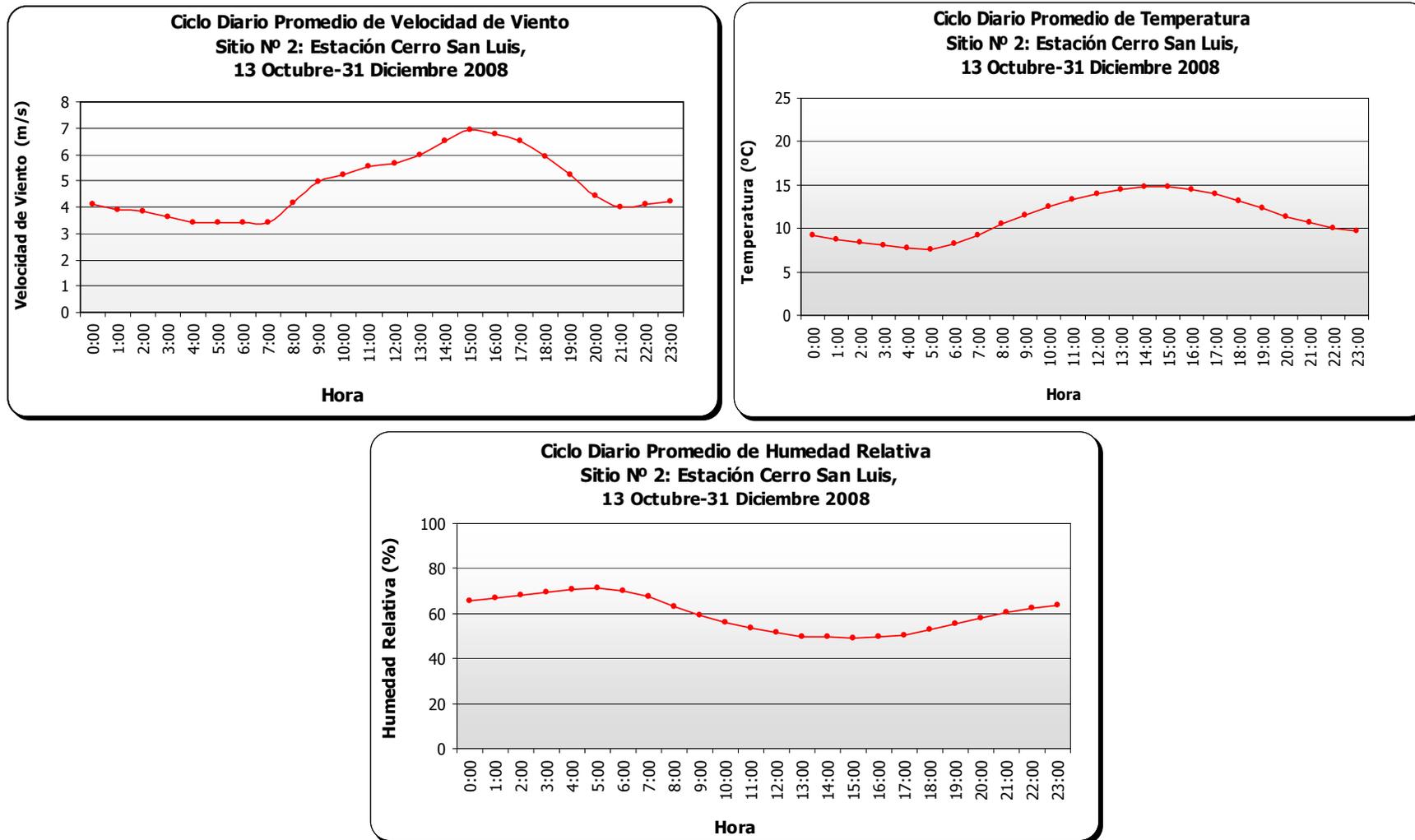


Figura 7-27: Ciclos Diarios promedio horario de Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa. Estación Instalada en Sector Cerro San Luis, periodo Octubre – Diciembre 2008.



#### **7.4.4.3 Ciclos Horarios Estación Instalada en Sector Quebrada El Carbón, Periodo de Monitoreo Octubre – Diciembre 2008**

Los ciclos anuales de las variables meteorológicas observadas en la Estación de monitoreo instalada en La Quebrada El Carbón, durante el periodo de Primavera del año 2008 se presentan a continuación en Figura 7-28.

En esta Figura se observa que la velocidad del viento no supera los 3 m/s durante la noche. A contar de las 7:00 am los vientos comienzan a aumentar hasta llegar a los 6 m/s alrededor de las 15:00 horas.

Las temperaturas máximas para el periodo Octubre – Diciembre, bordean los 15 °C, aproximadamente a las 14:00 horas, mientras que las mínimas observadas se presentan durante la madrugada alcanzando los 7 °C.

Por otro lado, se aprecia que entre las 5:00 y 6:00 de la mañana la humedad relativa alcanza el 100% y desciende a un mínimo de 80% entre las 14:00 y 15:00 horas.

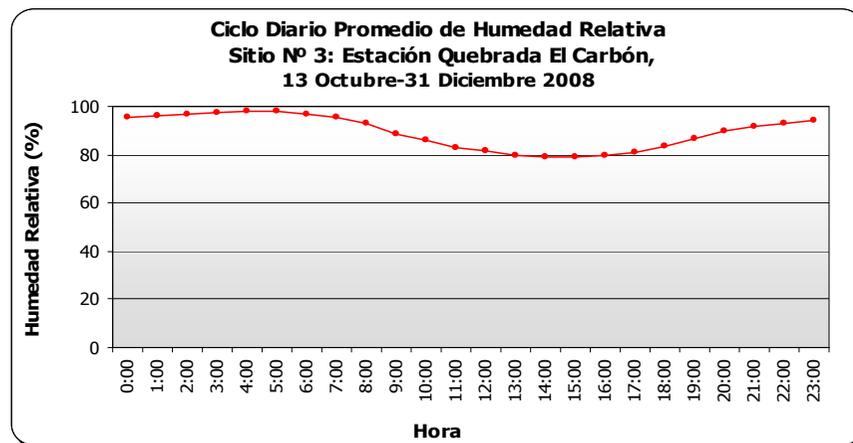
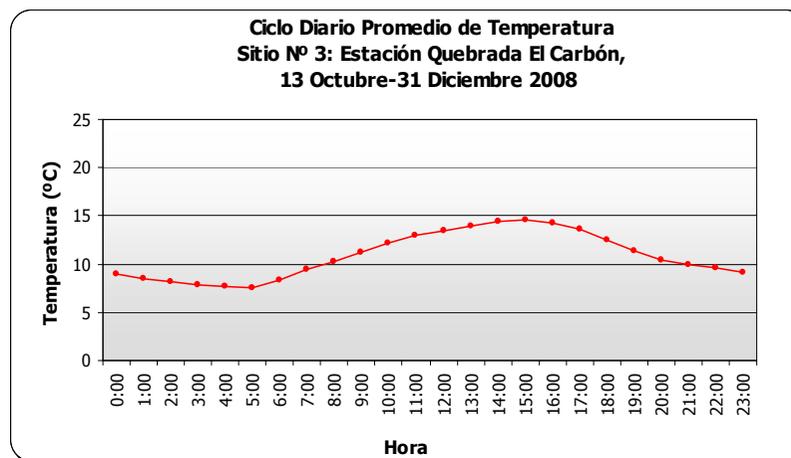
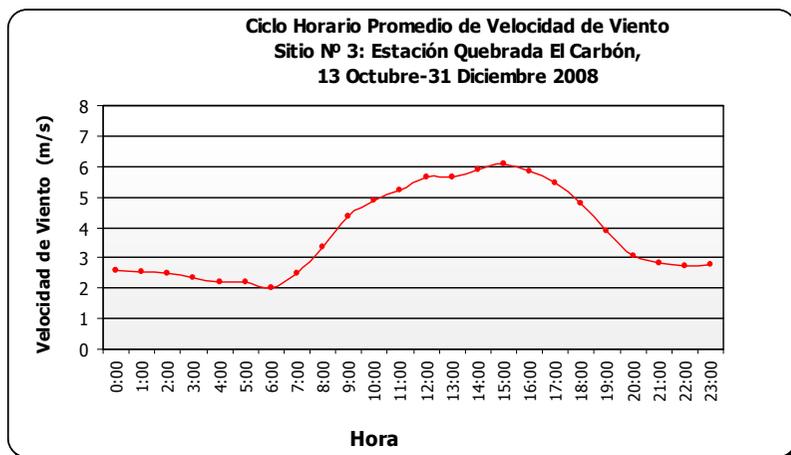


Figura 7-28: Ciclos Diarios promedio horario de Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa. Estación instalada en sector Quebrada El Carbón, periodo Octubre – Diciembre 2008.

## **CAPÍTULO VIII**

### **IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MODELACIÓN CALPUFF**

#### **8.1 Introducción**

En este Capítulo se presenta la implementación y aplicación del sistema de modelación CALPUFF, para el mes de Noviembre del 2008. Este sistema fue utilizado como instrumento técnico para relacionar las condiciones meteorológicas locales con las emisiones de MP10. Los otros contaminantes calculados en este inventario no son medidos en la zona, por lo que no se pudo verificar la relación emisión-impacto de estos.

A continuación se presenta la descripción del sistema de modelación CALPUFF.

#### **8.2 Descripción del Sistema de Modelación CALPUFF.**

El sistema de modelación CALPUFF es actualmente aprobado por EPA (USA), para evaluar impacto de emisiones atmosféricas en escenarios con terreno y meteorología compleja, siendo su versión 5.8 la más actualizada. Este sistema esta compuesto por el modelo micrometeorológico CALMET y el modelo de dispersión CALPUFF, los cuales se describen a continuación.

- CALMET: Modelo micrometeorológico diseñado para generar campos tridimensionales de vientos y temperaturas, y campos bidimensionales de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla, utilizando la topografía y meteorología local.

- CALPUFF: Modelo de dispersión tipo puff que permite simular el transporte, dispersión e impacto de emisiones de MP10 de procesos mineros, utilizando la meteorología generada por CALMET

En Figura 8-1 se presenta un diagrama de operación del sistema CALPUFF, donde se ilustran los diferentes archivos de entrada requeridos por los modelos CALMET y CALPUFF. Como se observa en esta figura CALMET requiere la topografía y usos de suelos locales (geo.dat) con una resolución apropiada a la complejidad del área, junto con la meteorología de superficie y altura (archivos surf.dat y up.dat). Por otra parte, CALPUFF requiere la meteorología generada por CALMET (calmet.dat).

Para el análisis de resultados de los modelos CALMET y CALPUFF se utiliza la interfase gráfica CalDesk v2.97<sup>(+)</sup>, la cual permite generar isoconcentraciones de contaminantes en un mapa de la zona con uso de suelos, ubicación de ciudades, calles, etc.

El sistema CALPUFF es complejo y requiere de una implementación detallada en el área de estudio. Las características de la implementación de este modelo para este estudio se presentan a continuación.

---

<sup>(+)</sup> Desarrollado por EnviroModeling Ltda., Chile.

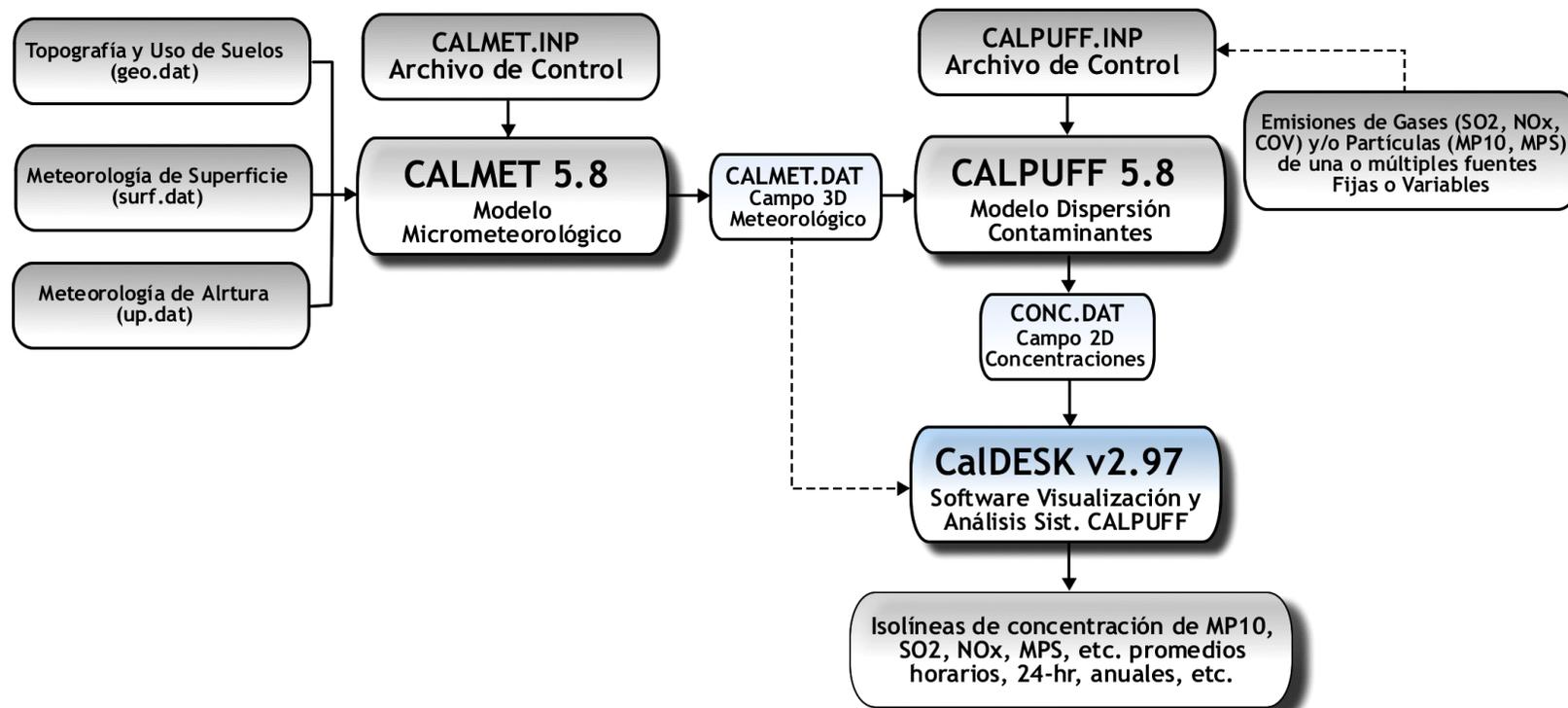


Figura 8-1: Diagrama de operación sistema de modelación CALPUFF/CalDesk

### **8.3 Implementación del Modelo Micrometeorológico CALMET.**

El modelo CALMET se implementó en zona presentada en el Capítulo II, donde se encuentra emplazada la ciudad de Coyhaique, considerando un área de 225 kilómetros cuadrados y una resolución de celda de 100 x 100 metros cada una. El modelo CALMET se implementó para el mes de Noviembre del 2008, debido a que este mes tiene la información meteorológica completa de las 4 estaciones señaladas en el Capítulo VI. Además, para este mes se cuenta con los niveles de MP10 medidos en la Estación Histórica de CONAMA.

#### **8.3.1 Dominio o Área de Modelación Considerada en el Estudio.**

El área o dominio de modelación considerado en este estudio tiene su origen en las coordenadas UTM-E: 721.000 km, UTM-N: 4943.000 km (Datum WGS84, Zona UTM 18). Desde este origen, el dominio considera 15 kilómetros en la dirección Este y 15 kilómetros en la dirección Norte, e incluye toda la ciudad de Coyhaique. A continuación, en Tabla 8-1 se presentan las características generales del dominio de modelación y en Figura 8-2, se muestra una imagen de dicho dominio.

Tabla 8-1. Características del dominio de modelación utilizado en el sistema CALPUFF en la zona del proyecto.

Características	
Resolución	100 x 100 m.
Nº de celdas en dirección X	150
Nº de celdas en dirección Y	150
Coordenadas de origen: UTM-E (X) UTM-N (Y)	721.000 4943.000
Total área del dominio	225 km <sup>2</sup>

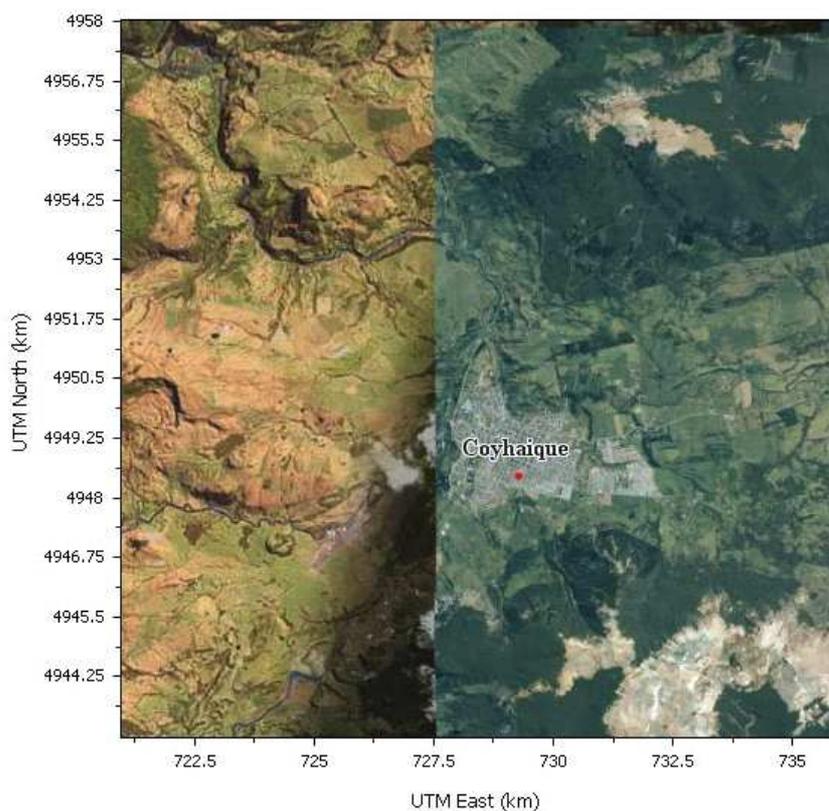


Figura 8-2: Ilustración Dominio de modelación con dimensiones de 15 kilómetros Este y 15 kilómetros Norte. Coordenadas de Origen UTM-E: 721.000 km, UTM-N: 4943.000 km

En Tabla 8-2 se presentan las características de las diferentes categorías de uso suelos de la zona. Esta información, junto con la topografía fue obtenida a partir de la base de datos del USGS (United State Geographical Survey) con resolución de 80 metros. La topografía utilizada y el uso de suelos se presentan en Figuras 8-3 y 8-4, respectivamente.

Tabla 8-2. Clasificación de los usos de suelos considerados en la implementación de CALMET en el dominio de modelación.

Categorías de Usos de Suelos		Rugosidad Superficial Z0(m)	Albedo <sup>(1)</sup>	Razón de Bowen <sup>(2)</sup>	Flujo de Calor de Suelo (W/m <sup>2</sup> )	
<b>Urbano</b>	10	2.0	0.18	1.5	0.25	
<b>Agrícola No Irrigado</b>	20	0.250	0.15	1.0	0.15	
<b>Forestal</b>	40	1.0	0.1	1.0	0.15	
<b>Agua</b>	51	0.001	0.1	0.1	1.0	
<b>Pastizales</b>	30	0.05	0.25	1.0	0.15	
<b>Tundra</b>	<b>Suelo Estéril</b>	80	0.3	0.25	6.0	0.15
<b>Hielos Perennes</b>	90	20	0.70	0.5	15	

1.- Albedo : Reflectividad a la luz solar del suelo (expresada como fracción respecto a la unidad).

2.- Razón de Bowen : Definida como la razón entre flujos sensibles y latentes, a nivel de superficie. Es mayor sobre superficies secas, donde la mayoría de la energía es absorbida por el suelo (sensible); y menor sobre superficies húmedas, donde la mayoría de la energía se pierde con la evaporación (latente).

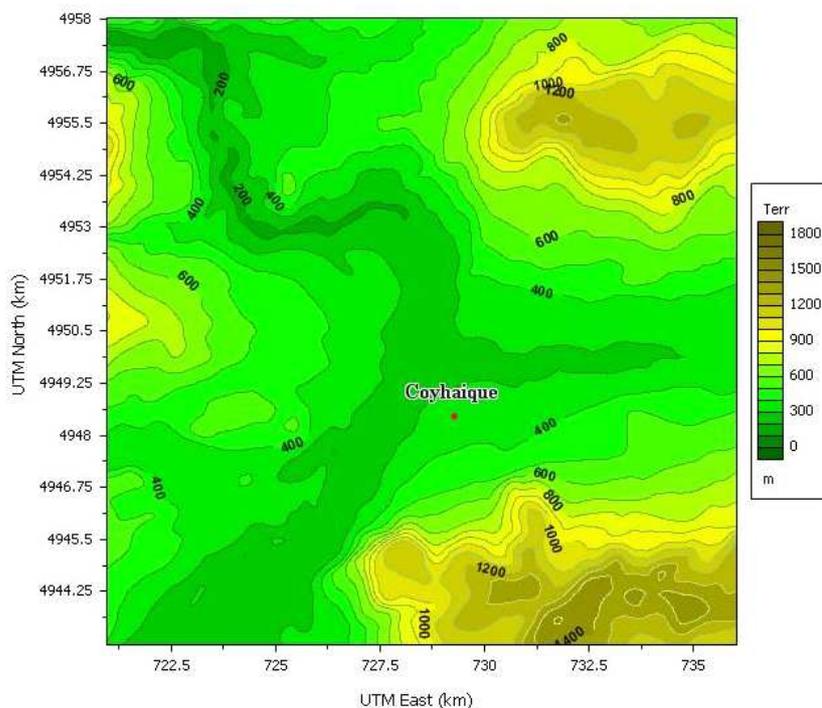


Figura 8-3: Ilustración de la topografía del área de estudio.

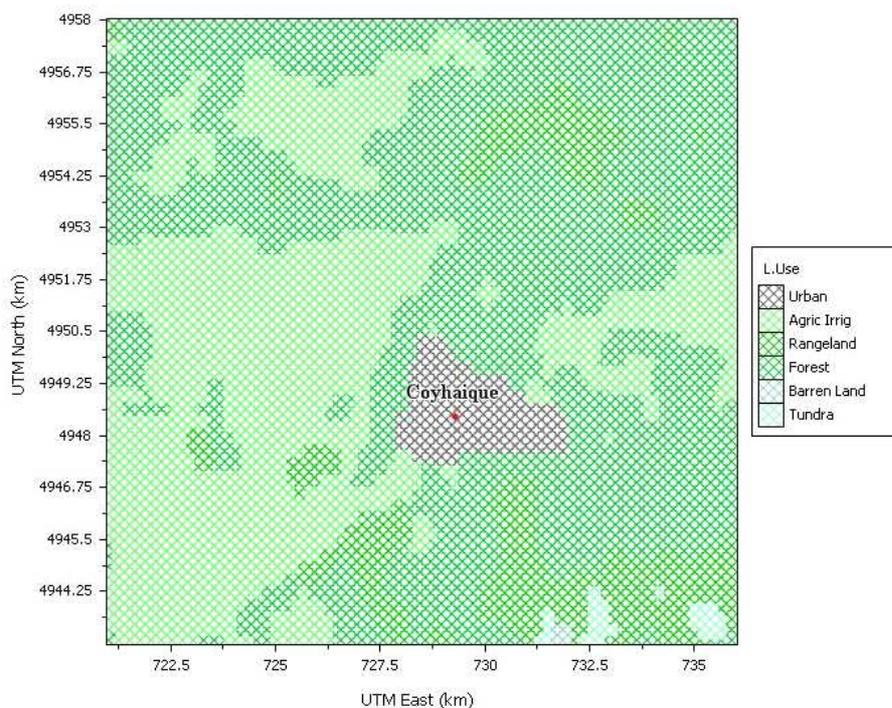


Figura 8-4: Ilustración del Uso de suelos del área de estudio.

### 8.3.2 Cobertura Nubosa Periodo de Modelación.

La cobertura nubosa observada en la zona de Coyhaique durante el mes de Noviembre del 2008 fue obtenida de la base de datos MODIS (Moderate Resolution Imagin Spectroradiometer) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de Estados Unidos. Esta información, obtenida a través de la web, fue procesada para proveer la altura de nubes (ceiling height) y porcentaje de cielo cubierto (cloud cover) requeridos por CALMET en su archivo surf.dat.

En Tabla 8-3 se presenta un ejemplo de los datos extraídos de la base de datos MODIS.

Tabla 8-3. Ejemplo de datos extraídos de MODIS.

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Cloud Cover* (decimos)</b>	<b>Ceiling Height** (cientos de pies)</b>
01/11/2008	03:00	10	219
01/11/2008	04:00	10	203
01/11/2008	05:00	10	186
01/11/2008	06:00	9	170

\*: Cobertura nubosa

\*\* : Altura de la nube

## 8.4 Implementación Modelo de Dispersión CALPUFF.

El modelo de dispersión CALPUFF se implementó en la zona de Coyhaique considerando el mismo dominio utilizado para CALMET. El área de evaluación del impacto de las emisiones de la mina se definió en toda el área de modelación.

Para la aplicación del modelo CALPUFF también se consideró el mismo periodo que CALMET, Noviembre del 2008. En lo que respecta a las fuentes emisoras de MP10, estas se consideraron del tipo área. Un resumen de las características, número y emisión de estas fuentes se detalla en las secciones siguientes.

#### **8.4.1 Configuración de las Fuentes Emisoras de MP10, en el Modelo CALPUFF.**

Las fuentes emisoras de MP10 fueron consideradas como fuentes de área en el modelo CALPUFF. De esta manera se representó la totalidad de los procesos o fuentes emisoras, definiendo distintos polígonos para cubrir el área donde se generan estas emisiones de MP10. Esto se ilustra en Figura 8-5, donde se observa que la zona urbana de Coyhaique fue representada por veinte polígonos.

Para las fuentes de áreas implementadas en el modelo, se consideraron los procesos emisores identificados y caracterizados en el Inventario de Emisiones de MP10 (Capítulo III y IV). Cabe señalar que los resultados de las emisiones varían en forma proporcional al consumo de leña, por lo que la determinación de las tasa de combustión de biomasa son fundamentales. Como se mencionó en el Capítulo III, la encuesta realizada por EnviroModeling en Mayo del 2009, entregó una aproximación a esta tasa de consumo basado en la percepción de los propios consumidores, lo que lleva intrínsecamente un error que es difícil de cuantificar.

Es por este motivo, que se consideraron distintos niveles de emisión, resultantes de los distintos niveles de consumo, para realizar un análisis de sensibilidad con

el modelo CALPUFF. De acuerdo a lo establecido en la Figura 4-8, en sección 3.2.3, el consumo del mes de Noviembre correspondería a un 6% del total anual. Como resultado de esto, se obtiene que el intervalo más probable de consumo se encuentre entre 11,600 y 23,400 m<sup>3</sup> sólidos. Lo significa que la emisión de MP10 variaría entre 9.4 y 18.6 toneladas diarias, con una media de 13.4 ton/día.

Los principales procesos emisores considerados e ingresado al modelo fueron la combustión residencial (quema de leña y otros combustibles para calefacción, cocina, etc.) y el transporte vehicular.



Figura 8-5: Representación esquemática de las fuentes emisoras tipo área a ser utilizadas en la aplicación de CALPUFF.

Respecto de la variabilidad de las emisiones durante el día, se adoptó el ciclo de variación relativo a los promedios de concentración horaria de MP10 registrada

por el equipo TEOM instalada en Estación Histórica de CONAMA, para el periodo de Octubre y Noviembre del 2007<sup>35</sup>. En Figura 8-6 siguiente, se presenta el ciclo diario considerado para las emisiones de MP10, normalizado a la hora de mayor concentración.

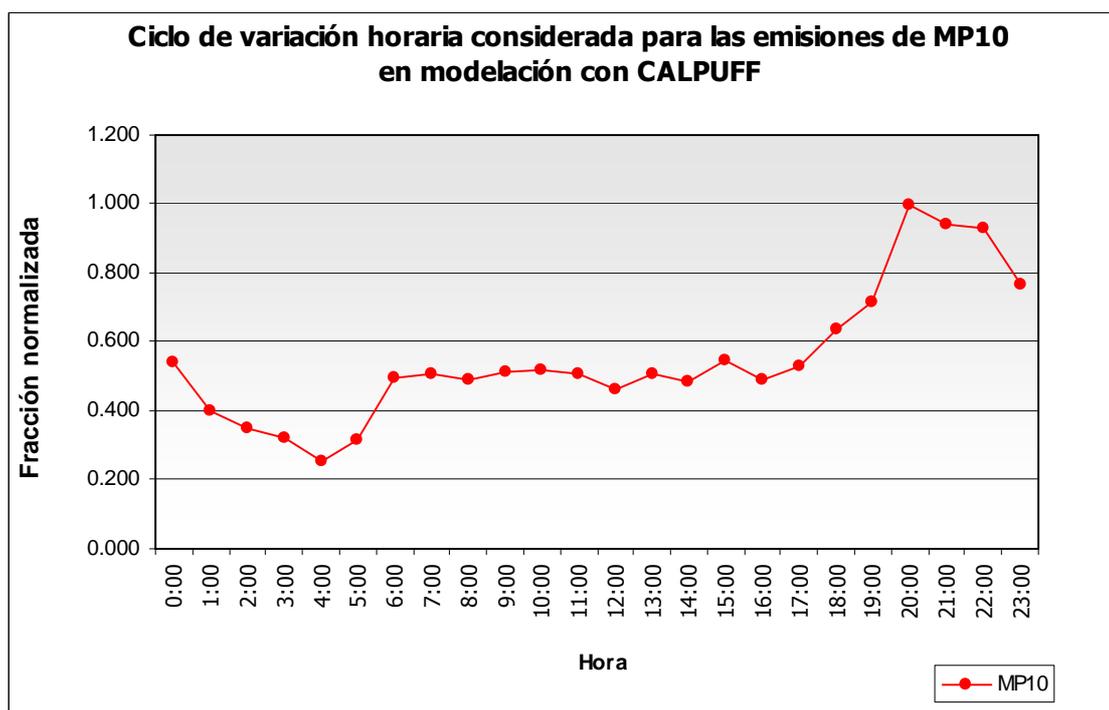


Figura 8-6: Ciclo de emisión normalizado considerado para modelación con CALPUFF.

De la figura anterior, se desprende que las emisiones varían durante el día presentando un mínimo a las 4:00 de la madrugada, cuando la actividad de la ciudad esta prácticamente detenida, y un máximo a las 20:00 hrs, cuando gran parte de la población llega a su hogar y enciende los equipos de combustión para calefaccionar. Como se observa también, la emisión se mantiene relativamente constante entre las 6:00 am y las 17:00 hrs.

<sup>35</sup> Se consideraron los registros de MP10 de Octubre y Noviembre del 2007, ya que presentan mayor cantidad de datos que los disponibles en forma horaria para el 2008.

## **8.5 Resultados Sistema de Modelación CALPUFF.**

En esta Sección se presentan los resultados obtenidos en la aplicación del sistema de modelación CALPUFF, considerando las emisiones calculadas para el mes de Noviembre sobre la base del Inventario de Emisiones de Capítulo IV.

Los resultados para MP10 obtenidos en la aplicación del sistema de modelación CALPUFF para Noviembre del 2008 se presentan en Tabla 8-4. En esta tabla se comparan las concentraciones promedio mensual de MP10 registrada en la Estación de monitoreo Histórica de CONAMA con las modeladas por CALPUFF para diferente emisiones.

Los resultados de la modelación obtenida con CALPUFF para MP10 promedio del periodo se presentan también como isólineas de concentración en Figura 8-6. De esta figura se observa que las concentraciones de MP10, debido a las emisiones de la ciudad, se concentran en la misma ciudad y se expanden hacia el sur de ésta.

Tabla 8-4: Comparación entre las concentraciones observadas de MP10 promedio mensual con las concentraciones modeladas por el sistema CALPUFF. Noviembre del 2008.

Estación	Concentración Promedio Mensual de MP10 (ug/Nm <sup>3</sup> )		
	Modelado 1 <sup>(a)</sup>	Modelado 2 <sup>(b)</sup>	Observado <sup>(c)</sup>
<b>Histórica de CONAMA</b>	66	46	39

<sup>(a)</sup> Emisiones promedio dentro del rango de confianza (14 ton/día).

<sup>(b)</sup> Emisiones de valor inferior dentro del rango de confianza (9.4 ton/día).

<sup>(c)</sup> Información obtenida de la Fuente: "Informe Técnico para la Declaración de Zona Saturada por Contaminante MP10, en Coyhaique" SETEC, 2009.

Tal como se observa en Tabla 8-4, las concentraciones obtenidas con el rango inferior de emisiones, estimada en 9.4 ton/día para el mes de Noviembre, se ajusta o acerca de mejor manera al valor observado promedio. Esto significa que puede existir una sobre estimación del consumo para el mes de noviembre, como también las emisiones de MP10 estén sobre estimadas.

Haciendo una relación simple de los resultados del modelo, se estima que bajar la emisión de MP10 en aproximadamente 3 toneladas diarias, implica una disminución de 20 ug/m<sup>3</sup> en la concentración del receptor ubicado en estación Histórica de CONAMA. Esto lleva a la conclusión que por cada tonelada que baje la emisión, la concentración en este receptor disminuiría prácticamente 7 ug/m<sup>3</sup>.

Finalmente, se infiere que el modelo se ajustaría a los valores observados, con una alta correlación, si las emisiones de MP10 fueran levemente superiores a las 8 toneladas diarias.

En Figura 8-6 se presenta el resultado de las modelación 1, la que considera la emisión promedio, dentro del intervalo de confianza, de 14 toneladas diarias.

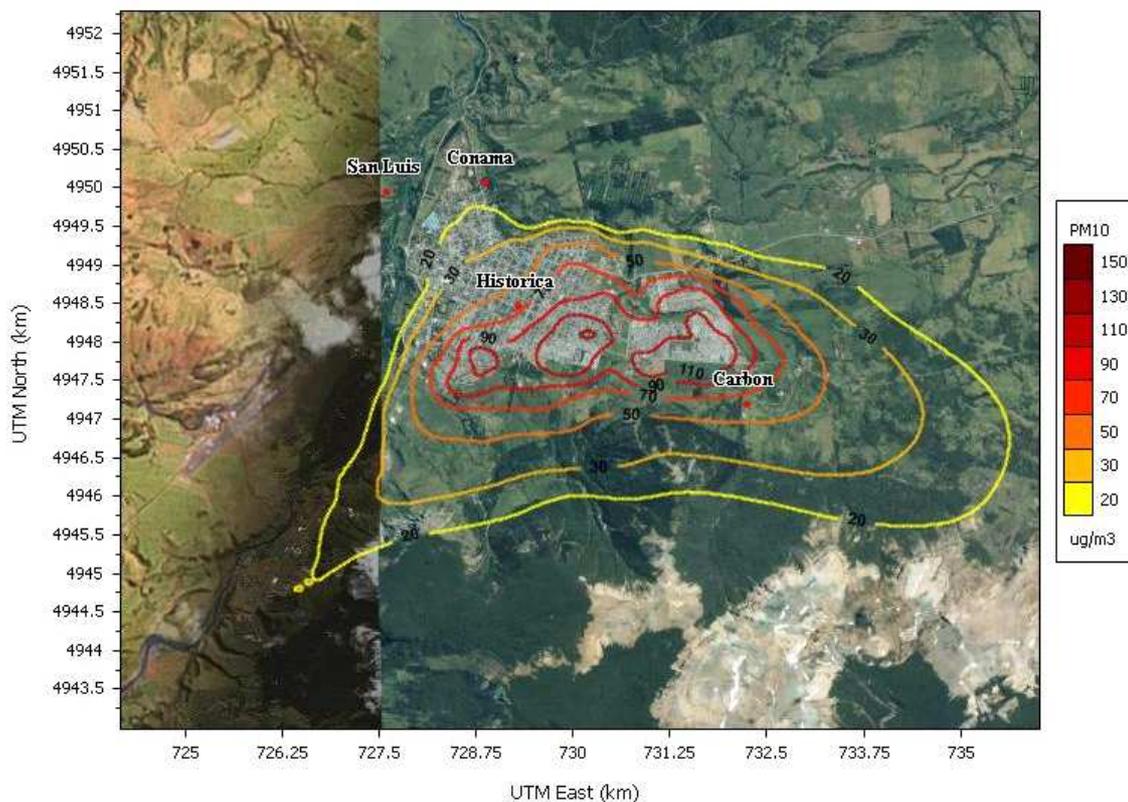


Figura 8-6: Isolíneas de Concentraciones Promedio mensual de MP10 en la ciudad de Coyhaique, Modelado 1. Noviembre del 2008.

En Figura 8-7 siguiente, se presenta el resultado de las modelación 1, la que considera la emisión promedio, dentro del intervalo de confianza, de 14 toneladas diarias.

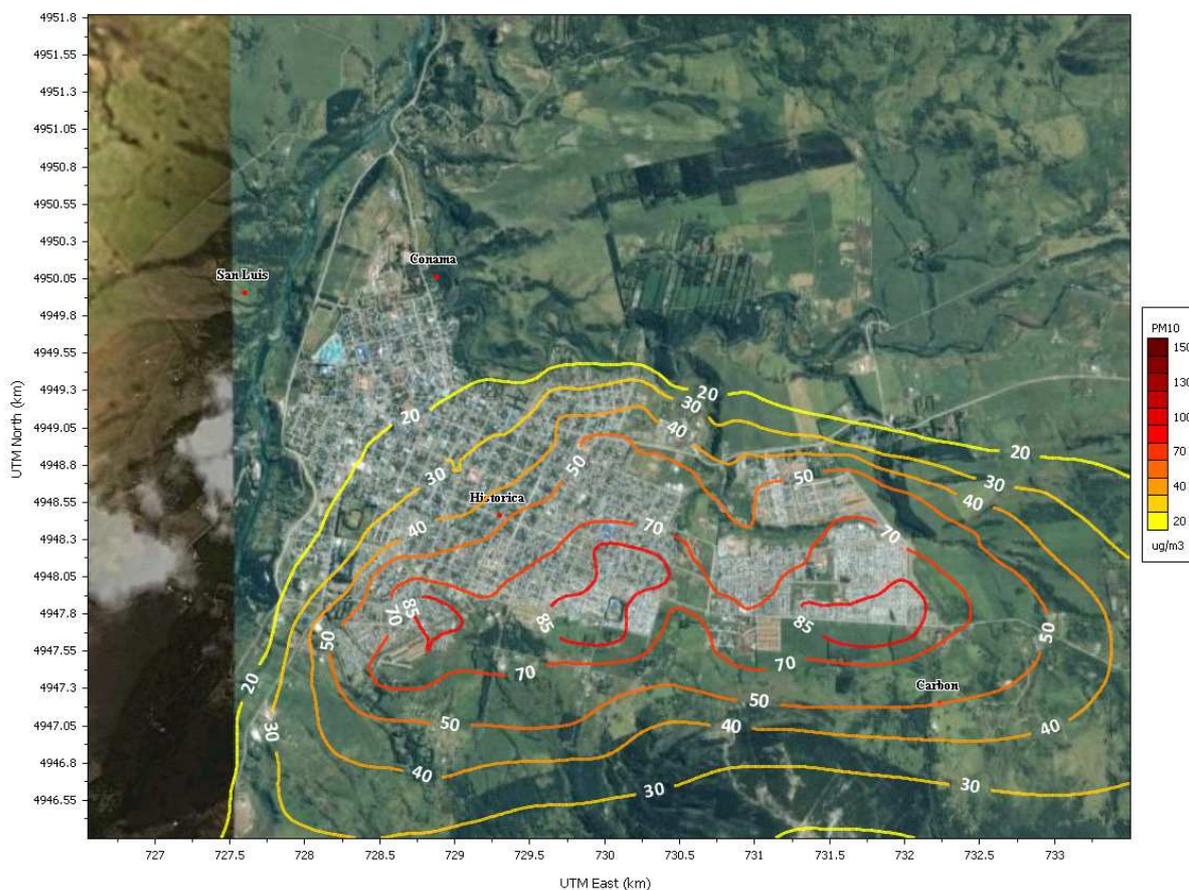


Figura 8-7: Isolíneas de Concentraciones Promedio mensual de MP10 en la ciudad de Coyhaique, Modelado 2. Noviembre del 2008.

De los resultados presentados en Tabla 8-4 y Figuras 8-6 y 7-7, se puede decir que el sistema de modelación CALPUFF sobreestima los niveles de MP10 en la Estación Histórica de CONAMA para el mes de Noviembre del 2008, en aproximadamente 70% utilizando la emisión promedio estimada para este mes (modelado 1). Sin embargo, esta diferencia baja a 11% si se considera el valor inferior del rango de confianza de las emisiones de MP10, estimadas en 9.4 ton/día (modelado 2).

Desde el punto de vista de la aplicación del modelo de dispersión, la diferencia puede deberse a varios aspectos, entre los cuales podemos destacar:

- Resolución del tamaño de los polígonos utilizados para definir las emisiones de MP10 con fuentes de área. Los polígonos utilizados son relativamente grandes, lo cual distorsionaría los impactos de las fuentes de área.
- Falta de registros horarios de la precipitación de lluvia observada en Coyhaique. Los valores entregados por la Dirección General de Aeronáutica (aeródromo Teniente Vidal) corresponden a promedios mensuales, siendo de esta manera imposible la evaluación del ciclo diario, lo que no permite la simulación adecuada del efecto de "lavado" de la atmósfera.
- Falta de perfil vertical de temperaturas y vientos, que permita evaluar la intensidad y duración de la inversión térmica que afecta a Coyhaique a diferentes horas del día. Esta información es vital para la apropiada aplicación del sistema de modelación CALPUFF.

En la versión final de este informe se corregirán los aspectos señalados en los puntos a) y b).

## **CAPÍTULO IX**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente documento corresponde al informe final del proyecto: **"Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique"**. El objetivo principal del proyecto consistió en elaborar un Inventario de Emisiones de partículas y gases desarrollado para la ciudad de Coyhaique, considerando como base el año 2008.

El desarrollo de este inventario consideró los contaminantes MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, COV y SO<sub>2</sub> y otras sustancias de interés para la ciudad de Coyhaique.

Las conclusiones principales que se desprenden de este estudio son:

- El nivel de emisión de MP<sub>10</sub> de Coyhaique alcanza una tasa anual de 7,600 toneladas, de las cuales un 94% corresponde a emisiones del sector residencial por consumo de leña para calefacción y cocción de alimentos. Un 5% del MP<sub>10</sub> proviene de los Grandes Consumidores, los cuales utilizan una mayor diversidad de fuentes energéticas incorporando petróleo, gas y electricidad. Finalmente, el 1% de las emisiones de este contaminante provienen de las quemas agrícolas y las fuentes móviles.
- La validación del inventario de emisiones se realizó mediante el uso del sistema de modelación CALPUFF, como base la meteorología y emisiones del mes de Noviembre del año 2008. La diferencia resultante entre lo modelado y lo observado en la estación monitorea de referencia es de un 11%, lo que es considerada una diferencia aceptable. Cabe señalar que las emisiones que mejor se ajustaron en el modelo, son las correspondientes al valor inferior dentro del intervalo de confianza del 95% del consumo de

leña estimado para este mes. Por otra parte, las diferencias entre lo modelado y observado pueden explicarse por la carencia de datos que permitan una buena simulación de los fenómenos atmosféricos relevantes para la dispersión de los contaminantes, tales como altura de mezcla, inversión térmica y precipitaciones, como también a la incertidumbre inherente que existe en los factores de emisión disponibles para este tipo de fuentes.

- Los resultados de la encuesta de consumo de leña en la ciudad de Coyhaique indican que el consumo global de este combustible del sector residencial corresponde a 292,257 m<sup>3</sup> sólidos al año, lo que equivale, en término de masa, a un consumo de 234,871 toneladas anuales. Para los Grandes consumidores se estimó que estos utilizan aproximadamente un 10% de la leña que utiliza el sector residencial.
- El promedio de consumo de leña por vivienda en Coyhaique sería de 18.6 m<sup>3</sup>, lo que equivale a 14.9 toneladas al año. Este valor es consistente con otros estudios realizados en Coyhaique (INFOR 2004) y muestra un leve aumento de aproximadamente 1 m<sup>3</sup> al año en el consumo por vivienda.
- A pesar de que el MP10 es el contaminante de mayor interés en términos regulatorios en la zona, en el inventario se estima que las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), son superiores a las emisiones de MP10. Desde el punto de vista de la salud de la población, este grupo de contaminantes, sumados a otros subproductos de la combustión incompleta de la biomasa, revisten igual o incluso mayor importancia que el MP10 propiamente tal.

Dentro de las recomendaciones se derivan del proyecto se pueden señalar las siguientes:

- Mejorar la red de monitoreo, tanto de calidad del aire como de meteorología existente para la ciudad de Coyhaique, con el fin de permitir una apropiada gestión de la Calidad del Aire.
- Respecto al punto anterior, se recomienda ampliar la capacidad de monitoreo de Calidad del Aire, con a lo menos un equipo de medición discreta Hi-Vol (según norma) y dos monitores continuos (Beta o TEOM), con el fin de tener insumos (filtros) para caracterizar mediante análisis químicos la composición del material particulado y contar además con la distribución espacial de las concentraciones.
- Es altamente recomendable para la ciudad de Coyhaique el contar con una caracterización de los COVs en la atmósfera, en especial compuestos tales como Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Dioxina y Furanos que son considerados como tóxicos.
- Respecto de la red meteorológica, se hace necesario mantener 3 a 4 estaciones para caracterizar los flujos de masas de aire en la zona de Coyhaique. Además, se estima necesario instalar una torre de 40 metros, para determinar perfil vertical de temperaturas y vientos, a fin de definir apropiadamente la estabilidad atmosférica y su variación estacional y anual.
- Considerando que la mayoría del MP10 de la zona corresponde a fracción fina (inferior a 2.5  $\mu\text{m}$ ) se hace imperativo generar un plan rigurosos de control de emisiones, el cual debe definir de estándares de calidad del combustible y de equipos de combustión además de mejorar la aislamiento

térmica de las viviendas y entregar alternativas de incentivo para el cambio de la matriz energética dominantes (biomasa) a otro métodos sustentables y ambientalmente más amigables.

- Aumentar las exigencias de parte de la autoridad a la(s) consultora(s) que se hagan responsables del manejo y recolección de los datos de las estaciones meteorológicas y de calidad del aire, para que existan disponibilidad de los datos disponibles previamente validados, para facilitar el trabajo de futuros proyectos y estudios que necesite CONAMA.