

# INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA DE VENTANAS Y ESTIMACIÓN DE SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE

CONTRATO N° 4500761230



## INFORME FINAL



MANDANTE : CONAMA V REGIÓN  
CONTRATISTA : DICTUC S.A.

MAYO DE 2008

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>3</b>
1.1	Antecedentes generales.....	3
1.2	Objetivos.....	6
<b>2</b>	<b>ENFOQUE METODOLÓGICO .....</b>	<b>8</b>
2.1	Entendimiento del Problema a Abordar.....	8
2.2	Enfoque Metodológico para Abordar el Desarrollo del Estudio.....	12
2.3	Recopilación de Datos Previos: .....	14
2.4	Elaboración de Inventarios de Emisiones.....	15
2.5	Modelación de Dispersión de Contaminantes (Determinación Zona (s) saturadas).....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA PARA ABORDAR EL DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES .....</b>	<b>16</b>
3.1	Enfoque Metodológico para Lograr el Cumplimiento de los Objetivos Planteados.....	17
<b>4</b>	<b>DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES .....</b>	<b>21</b>
4.1	Fuentes Móviles en Ruta.....	22
4.2	Fuentes Móviles Fuera de Ruta .....	72
4.3	Fuentes Estacionarias.....	81
4.4	Fuentes fijas.....	123
<b>5</b>	<b>Antecedentes Calidad del Aire y emisiones sector Codelco Ventanas y AES Gener.....</b>	<b>223</b>
<b>6</b>	<b>El modelo de dispersión AERMOD .....</b>	<b>226</b>
<b>7</b>	<b>El modelo de dispersión CALMET/CALPUFF .....</b>	<b>228</b>
7.1	El modelo meteorológico CALMET .....	231
<b>8</b>	<b>Información meteorológica analizada y utilizada en la modelación .....</b>	<b>234</b>
8.1	Porcentaje de información disponible para el periodo simulado con Calmet. ....	235
8.2	Perfil Diario y Anual de Temperatura para la Estación Principal.....	237
8.3	Rosas de los Vientos y distribución de frecuencia de la velocidad de los vientos.....	241
8.4	Información superficial adicional .....	256
8.5	Información en altura.....	257
	Dominio, topografía y usos de suelo. ....	257
<b>9</b>	<b>Simulación meteorológica realizada con AERMET para AERMOD.....</b>	<b>262</b>
<b>10</b>	<b>Simulación meteorológica realizada con CALMET para CALPUFF .....</b>	<b>263</b>
10.1	Análisis campo meteorológico simulado con CALMET .....	263
<b>11</b>	<b>Emisiones.....</b>	<b>278</b>
<b>12</b>	<b>Resultados modelos de dispersión de contaminantes. ....</b>	<b>280</b>
12.1	Validación AERMOD y CALPUFF .....	280
12.2	Comparación de ambos modelos .....	293
12.3	Análisis en receptores puntuales .....	297
12.4	Aportes de las distintas fuentes a los impactos, AERMOD .....	307
12.5	Mapas de concentraciones Calpuff .....	314
<b>13</b>	<b>Componentes primarios y secundarios del material particulado simulado.....</b>	<b>324</b>
<b>14</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>325</b>
<b>15</b>	<b>RESUMEN DE INVENTARIO DE EMISIONES .....</b>	<b>327</b>
15.1	Escenario 2006.....	329
<b>16</b>	<b>INVENTARIO POR TIPO DE FUENTE.....</b>	<b>332</b>
<b>17</b>	<b>ANEXO 1. Analisis de muestras de polvo.....</b>	<b>337</b>

## 1 INTRODUCCION

El presente documento corresponde al Informe Final del estudio “Inventario de Emisiones de la Zona de Ventanas y estimación de su impacto en la calidad del Aire” desarrollado por DICTUC S.A. para CONAMA V Región.

### 1.1 Antecedentes generales

CONAMA Nacional, con el apoyo técnico y económico del gobierno de Suiza (COSUDE), desarrolló un Estudio que permitió obtener un inventario preliminar de las emisiones atmosféricas generadas en la V Región por las fuentes móviles, fijas y areales, los resultados de este inventario fueron resumidos en un informe en papel. Dado que el propósito del inventario desarrollado correspondió a una primera aproximación de la incidencia de las fuentes emisoras y además el interés principal estuvo centrado en el Gran Valparaíso, el nivel de la información obtenida no es suficiente para satisfacer los requerimientos del presente estudio.

La Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte, SECTRA, viene desarrollando en los últimos años, un programa de inventarios de emisiones desde el transporte en ciudades intermedias, denominado PACIN. Este programa ha desarrollado a la fecha tres fases (PACIN I, PACIN II y PACIN III). En el estudio PACIN III se cuenta con información para el Gran Valparaíso, no obstante esta cobertura no incluye las localidades de Ventanas, La Greda y Loncura, y por otra parte en esta zona no existe a su vez un modelo de transporte de SECTRA y por tanto se hace necesaria la implementación de una metodología alternativa que permita obtener resultados equivalentes a las salidas de un modelo de transporte mediante conteos vehiculares, caracterización del parque, medición de velocidades, etc. Para esto DICTUC ya cuenta con una metodología probada en la ciudad de Tocopilla en el estudio base desarrollado durante el año 2006 para la declaración de zona saturada.

En el estudio: “*Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano Industriales de Chile*”, se desarrolló un inventario 2000 parcial para la V región y un inventario más completo para el Gran Valparaíso, es importante señalar que en esa fecha existía sólo un modelo de transportes con una corrida preliminar que permitió aplicar la metodología de cálculo de emisiones MODEM (todavía en construcción en esa época), por tanto la estimación de emisiones efectuada se basó en una metodología MODEM preliminar. En este sentido es importante señalar que en los estudios PACIN de SECTRA fue desarrollado un inventario con la metodología actual de MODEM para el Gran Valparaíso.

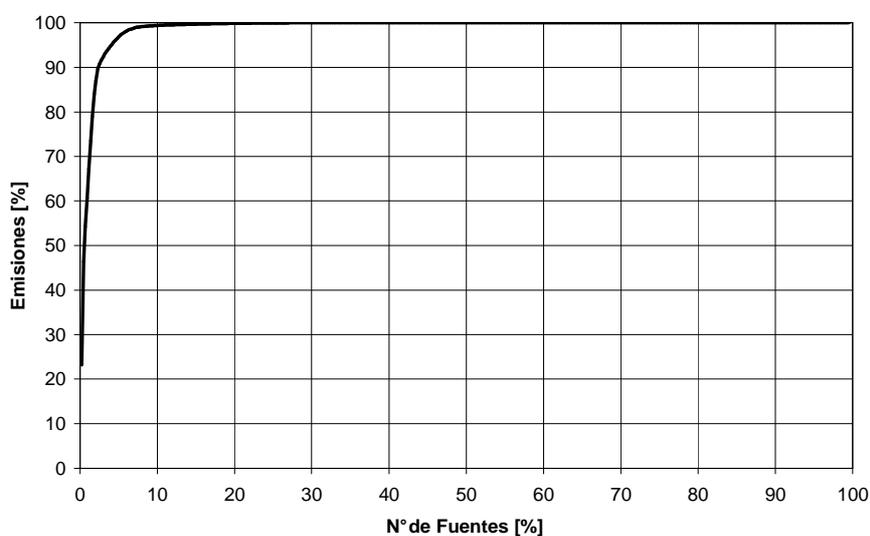
Para el caso de las fuentes fijas en dicho estudio, la cobertura fue regional y se efectuaron visitas a las principales fuentes de la región en donde fue posible obtener información relevante de operación para utilizar factores de emisión directos (según tipo de operación unitaria), por otra parte la cobertura de fuentes incluyó principalmente las chimeneas de descarga de emisiones,

para el resto de la fuentes se efectuaron estimaciones gruesas en función de estadísticas de consumo de combustibles y utilizando factores de emisión de calderas.

En el caso de las fuentes fijas, los resultados obtenidos demuestran (al igual que en la totalidad del país incluyendo la Región Metropolitana) que un reducido número de fuentes concentran la mayor parte de las emisiones (ver siguiente figura); por lo tanto los esfuerzos focalizados en estas fuentes específicas tienen un gran impacto en los niveles de calidad del aire de una región, aspecto que deberá ser considerado al momento de rediseñar el plan de descontaminación para la zona en estudio.

En relación a las fuentes de área y las fuentes de emisiones fugitivas de material particulado, estas constituyen una numerosa cantidad de fuentes, pero con emisiones de magnitud menor en relación con las grandes fuentes emisoras industriales. Sin embargo, al sumar sus aportes estos no dejan de ser relevantes. Para la mayoría de las fuentes estudiadas se utilizó información agregada a nivel regional, y por tanto su distribución a nivel de comunas fue hecho mediante métodos de distribución aproximados (principalmente asignando por población)

#### EMISION ACUMULADA DE MP10 v/s % DE FUENTES V Región año 2000



**Figura 1. Distribución acumulada de emisiones de MP10 de fuentes fijas, V Región, año 2000.**  
Fuente: Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano Industriales de Chile

Otro aspecto relevante es que el inventario desarrollado presentaba una cobertura irregular, dependiendo de la disponibilidad de información, es así que en algunos casos se contaba con información sólo agregada regionalmente y en otros sólo para el Gran Valparaíso.

En la siguiente tabla se entrega un resumen de esta situación:

**Tabla 1. Cobertura geográfica por tipo de fuentes, Inventario 2000 V Región.**

<b>GRUPO</b>	<b>SUB-GRUPO</b>	<b>COBERTURA GEOGRÁFICA</b>
FUENTES MOVILES	Todas	Gran Valparaíso
FUENTES ESTACIONARIAS DE AREA	Combustión residencial	Gran Valparaíso / V Región
	Distribución de combustibles	Gran Valparaíso / V Región
	Fugas de GLP	Gran Valparaíso / V Región
	Incendios Forestales	Gran Valparaíso / V Región
	Quemas agrícolas	Gran Valparaíso / V Región
	Uso de adhesivos	Gran Valparaíso / V Región
	Uso de solventes	Gran Valparaíso / V Región
	Consumo de cigarrillos	Gran Valparaíso / V Región
	Pintura arquitectónica	Gran Valparaíso / V Región
	Crianza de animales	V Región
	Uso de pesticidas	V Región
Otras Fuentes de NH3	Gran Valparaíso / V Región	
FUENTES EST. PUNTUALES	Todas	Gran Valparaíso / V Región
FUENTES FUGITIVAS DE MP	Calles pavimentadas	Gran Valparaíso
	Calles no pavimentadas	Gran Valparaíso / V Región
	Construcción	V Región
	Preparación de T. Agrícolas	V Región

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos Generales**

Realizar un análisis acabado de las emisiones industriales en la zona de Ventanas, con énfasis en la determinación de emisiones de MP10 y SO<sub>2</sub>.

Una vez realizado, el inventario deberá permitir la identificación de las responsabilidades en emisiones de contaminantes primarios de las fuentes industriales ubicadas en zona.

La información generada por el estudio incluirá la georreferenciación de las distintas fuentes emisoras presentes en la zona, así como el despliegue de la información en mapas y tablas.

Se realizará una modelación de las emisiones estimadas para determinar el aporte de cada una de las fuentes de emisión en la calidad del aire por medio de la utilización del modelo AERMOD de la EPA o equivalente.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Estimación de los denominados contaminantes criterios; MP10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCNM y CO, considerando como año base para el estudio el año 2006.
- Determinación de contenido de finos (silt: polvo de granulometría menor a 75µm) y humedad de acopios y caminos no pavimentados con el cálculo de sus emisiones.
- Estimación de emisiones de fuentes industriales
- Estimar emisiones de fuentes difusas correspondientes a acopios y sitios eriazos.
- Determinación de flujos viales y composición vehicular en las localidades de Ventanas, La Greda y Loncura.
- Estimación de emisiones vehiculares producto de su circulación por caminos pavimentados y sin pavimentar en las ciudades antes mencionada.
- Determinación de flujos viales y composición vehicular en las principales vías interurbanas de la zona de estudio.
- Determinación de emisiones por tránsito interurbano.

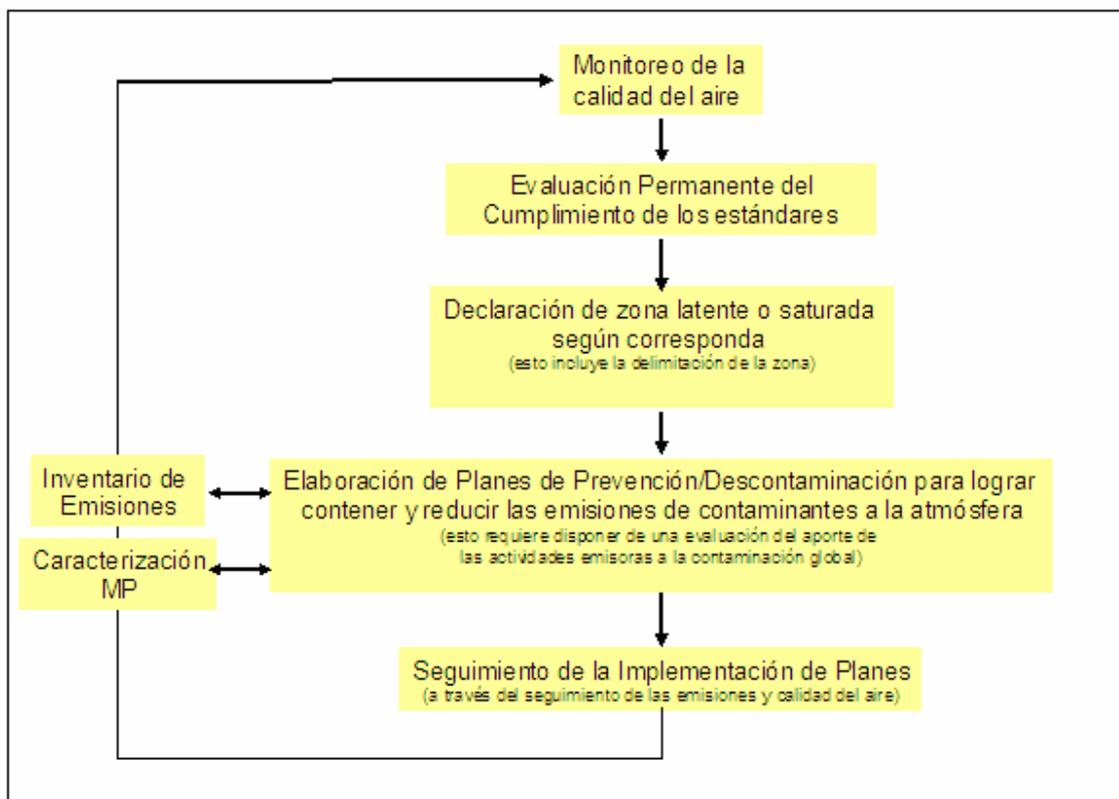
- Estimación de emisiones portuarias y de buques en la zona de Quintero (Bahía de Quintero).
- Georreferenciación de fuentes emisoras.
- Recopilación de información anexa de las fuentes emisoras que permita su utilización de los datos en el modelo de dispersión AERMOD.
- Estimación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de estanques utilizando para ello el modelo de emisiones Tank de la EPA.
- Definición de distribución espacial y temporal de las emisiones.
- Generación de inventario de emisiones en tablas y en planimetría.
- Generación de archivos de emisión para AERMOD con al menos variación mensual de emisiones
- Modelación de impacto de las emisiones de las fuentes estimadas.
- Determinación de responsabilidad en el impacto sobre la norma horaria, diaria y anual de las distintas fuentes presentes en el área.

## 2 ENFOQUE METODOLÓGICO

### 2.1 Entendimiento del Problema a Abordar

La Zona Industrial de Ventanas, así como otras localidades de la Quinta Región presentan problemas de superación y latencia para normas de calidad del aire tanto primarias como secundarias. Estos problemas son provocados por la actividad industrial, residencial, el transporte, las actividades agrícolas y otras fuentes antropogénicas y naturales (emisiones biogénicas, polvo resuspendido por el viento, incendios forestales, etc.) en una proporción que aún no está completamente establecida. Consecuentemente, es probable que las concentraciones de MP2,5 también superen el estándar de referencia EPA de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el promedio anual, si bien aún no existe norma para MP2,5 en Chile. Respecto del ozono troposférico, también se registran elevadas concentraciones en diversas localidades de la región, aunque las mayores concentraciones de este compuesto, a diferencia del material particulado, probablemente se encuentren no precisamente en zonas urbanas sino agrícolas (Valle del Aconcagua) como ocurre frecuentemente con este contaminante.

En este contexto las autoridades ambientales se ven enfrentadas a la necesidad de abordar el problema desde un punto de vista formal (regulado a través del Reglamento de Elaboración de Planes de Prevención y/o descontaminación) que incluye al menos los siguientes pasos:



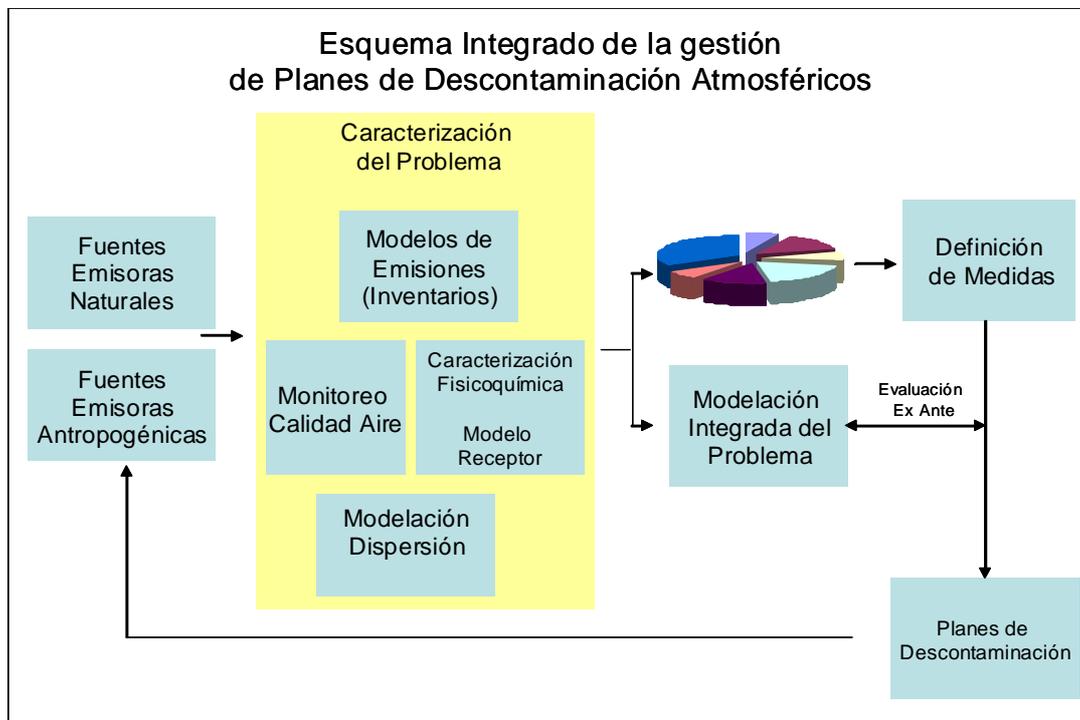
Para abordar cada uno de estos pasos se requiere el desarrollo de capacidades, herramientas de análisis y antecedentes que varían en forma dinámica. Entendiendo que la condición de calidad del aire está plenamente establecida en esta región a través de los datos disponibles, a continuación se presenta un listado no exhaustivo de las necesidades a las que se enfrentan los encargados de la gestión de la calidad del aire de una zona como la V región de Chile, algunas de las cuales (marcadas en negrita) son parte de los requerimientos específicos solicitados para el presente estudio:

1. *Monitoreo de la calidad del aire urbano y background*
2. *Medición y caracterización de los patrones meteorológicos y de aquellas condiciones favorables para la formación de contaminantes*
3. ***Elaborar un inventario de emisiones para las fuentes relevantes de MP10, SO2 y Ozono troposférico, además de sus principales precursores. Idealmente, lo recomendable es implementar un modelo de emisiones dinámico que permita simular estrategias de reducción de emisiones y generar escenarios de emisiones para modelos de dispersión de contaminantes (georreferenciados, espacialmente distribuidos y para algunas aplicaciones, fisicoquímicamente especiados). Un Modelo de este tipo permite además el seguimiento de largo plazo de las emisiones, el registro de las metodologías y parámetros utilizados, y la generación de inventarios actualizados en forma periódica, en función de los periodos de evaluación del plan, dado por hitos importantes, como aplicación de medidas y cumplimiento de metas.***
4. *Caracterización de filtros de MP10 de forma tal de identificar en forma más precisa como las emisiones antropogénicas y naturales determinan la concentración de material particulado que los habitantes están respirando.*
5. *Estimar adecuadamente el aporte natural (background) de este contaminante, de forma tal de poder descontarlo al momento de definir las metas de reducción de emisiones. (Tanto en la Región Metropolitana como en Tocopilla, una fracción importante de las concentraciones de MP10 corresponden a polvo background).*
6. ***Precisar la extensión de la zona relevante para el control de las emisiones (zona saturada o latente) Esto no necesariamente significa la zona donde se superan los estándares, sino la zona donde la generación de emisiones genera impacto o aporta a la superación de los estándares en las estaciones de representatividad poblacional. En el presente estudio, los límites de la zona saturada deberán ser revisados a la luz de la distribución geográfica de las emisiones y de la modelación de la dispersión de dichas emisiones.***
7. *Integrar el análisis de las emisiones con la caracterización del MP10 y MP2,5, de forma tal de obtener una estimación del aporte de cada una de las actividades antropogénicas y naturales a la formación de estas sustancias. (no está contemplado en el presente estudio realizar caracterización de MP, lo cual deberá ser considerado en estudios posteriores).*
8. ***Disponer de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos que permita extrapolar la calidad del aire en aquellos puntos donde no se mide, evaluar estrategias de descontaminación y mejorar el conocimiento de la dinámica de los***

*contaminantes en la zona de interés. Disponer de una herramienta de modelación validada permitirá también (1) la evaluación de la extensión de la zona que debe ser considerada saturada o latente, (2) precisar las metas de reducción de emisiones que se requieren para alcanzar los objetivos de calidad del aire. En este caso, se utilizará la modelación para suplir la caracterización de MP de forma tal de tener una primera aproximación a la formación de aerosoles secundarios.*

- 9. Definir medidas tendientes a reducir las emisiones de los contaminantes de interés, incluyendo los precursores. Si bien esta actividad no es parte de los Términos de referencia, esta propuesta contempla como un elemento adicional, apoyar a la Autoridad Ambiental en la generación de medidas de control para ser evaluada e incorporadas en el proceso de revisión del Plan.*
- 10. Redactar planes de descontaminación procurando establecer adecuadamente las metas de reducción de emisiones globales, la asignación de responsabilidades, las medidas para cada sector, etc.*
- 11. Disponer de herramientas que permitan la integración, análisis, registro, validación y seguimiento de datos de calidad del aire, meteorología, emisiones y modelación. Adicionalmente, que permitan disponer de la información en línea necesaria para la gestión de episodios críticos de contaminación (si los hubiera) o simplemente para una adecuada difusión a la comunidad. En este contexto CODELCO Division Ventanas, cuenta con un SGA, bajo ISO 14001 y tiene implementado planes de monitoreo, alerta y control ante eventuales alertas por normas primarias y secundaria de calidad del aire, que apoyan a preservar, controlar y mantener una adecuada calidad del aire en las estaciones monitoreadas.*

Un esquema simplificado como el que se presenta a continuación permite explicar de mejor forma la interacción de algunos de los elementos mencionados más arriba. De izquierda a derecha se encuentran en primer lugar las fuentes generadoras de las emisiones (directas / precursores) las que pueden provenir desde fuentes naturales o antropogénicas. En el caso de la Zona de Ventanas, en las emisiones antropogénicas, CODELCO Ventanas y AES Gener representan un aporte mayoritario a las emisiones, pero no son las únicas fuentes que aportan a la mala calidad del aire de su entorno.



En segundo lugar aparece un bloque denominado “caracterización del problema” que de forma muy sintética se aborda a través del desarrollo de los inventarios de emisiones, el monitoreo de calidad del aire, la caracterización de MP10/MP2,5, la implementación de un modelo receptor y de un modelo de dispersión de contaminantes. El desarrollo de todos estos componentes le permite al regulador la generación de dos productos relevantes, los cuales aparecen a continuación de este bloque: La estimación de las responsabilidades en la formación de MP10/MP2,5 (torta) y un “Modelo Integrado del Problema”, herramienta compleja que en realidad corresponde a una serie de modelos integrados que permiten vincular actividad, emisiones y calidad del aire, algunos, como es el caso de la Región Metropolitana, incluyen además modelos de impacto en salud y de valoración económica. En general estos modelos del problema operan sobre una base geográfica lo que permite un análisis georreferenciado de la información.

Disponer de la “torta” de responsabilidades permite respaldar la definición de medidas de control para cada una de las fuentes. Por otra parte, disponer de un “Modelo Integrado del Problema” para la zona de estudio permite evaluar “Ex Ante” las medidas propuestas de forma tal de seleccionar sólo aquellas que, evaluadas sus relaciones de Costo/efectividad y Costo/Beneficio, resultan adecuadas para ser incorporadas en un Plan de Descontaminación.

El ciclo se cierra cuando las medidas se aplican a las fuentes emisoras, en tal caso el monitoreo se transforma en un mecanismo de evaluación ex post de los impactos producidos por la implementación de los planes.

Descritas en forma resumida cada una de estas actividades que conforman un análisis integrado del problema, corresponde indicar que este tipo de desarrollos puede tomar varios años además de cuantiosos recursos económicos y personal especializado. Por esta razón resulta esencial abordar estos temas con un enfoque dinámico y de complejidad creciente, para avanzar en la medida en que se dispone de los recursos para mejorar en forma permanente cada uno de los componentes. En el presente estudio por ejemplo, no se aborda la caracterización de MP, pero con el inventario de emisiones y los resultados de modelación se puede suplir temporalmente este tipo de análisis.

El enfoque con que serán desarrolladas cada una de las actividades, así como la visión global del equipo consultor se describe a continuación.

## **2.2 Enfoque Metodológico para Abordar el Desarrollo del Estudio**

Partiendo de la premisa que las necesidades para el control de la contaminación atmosférica en Chile son crecientes. En el caso de la Quinta Región, la Autoridad Ambiental deberá en el mediano plazo generar un nuevo Plan de Descontaminación para la Zona de Ventanas, que se haga cargo de dos elementos:

1. La evolución positiva de los niveles de calidad del aire, donde a pesar de los grandes esfuerzos de control implementados por las dos empresas, persiste un estado de latencia para la norma anual de PM10<sup>1</sup> (primaria) y un estado de saturación para la norma horaria secundaria de SO<sub>2</sub>.
2. La incorporación de otras fuentes que se han instalado en la Zona Industrial de Ventanas con posterioridad a la publicación del Plan de Descontaminación, y que por lo tanto no han estado sometidas a exigencias en el marco de dicho plan.

En este contexto y sobre la base de la experiencia recogida a lo largo de muchos años apoyando el desarrollo de planes de descontaminación en la Región Metropolitana y otros planes como el que está en plena elaboración para la zona de Tocopilla, se recomienda para este caso el desarrollo, implementación y uso de sistemas dinámicos para abordar la gestión atmosférica. A través de la presente consultoría se espera contribuir a la generación de un modelo de gestión que pueda, posteriormente, extenderse a TODA LA REGIÓN, lo cual servirá de base para abordar otros problemas de mayor escala que afectan a la Quinta Región, como es el ozono troposférico y la permanente evaluación de megaproyectos de inversión en el marco del SEIA.

Según la experiencia del equipo consultor en proyectos similares desarrollados en la Región Metropolitana de Santiago, Temuco y Padre las Casas, Tocopilla y la Zona Metropolitana de Lima-Callao, el foco en un proyecto como este debe estar puesto en la construcción de las bases necesarias para sustentar la elaboración de Planes de Descontaminación Atmosféricos. Esto

---

<sup>1</sup> En estación La Greda.

contempla en primer lugar, la generación de un escenario base de emisiones que permita evaluar adecuadamente el aporte de los principales agentes contaminantes de la zona. En segundo lugar, lograr la implementación de una herramienta de modelación de dispersión de contaminantes, la que integrada con un modelo dinámico de emisiones, permite la evaluación de escenarios presentes y futuros, definición de metas de calidad del aire y evaluación de medidas. Un producto adicional ofrecido es la generación de recomendaciones y medidas para ser incorporadas en la revisión del Plan de Descontaminación. Se compromete el uso de modelos de dispersión para (1) Validar el inventario de emisiones y (2) Determinar la zona (o zonas) de interés para el control de emisiones (3) Determinación de responsabilidad en el impacto sobre la norma horaria, diaria y anual de las distintas fuentes presentes en el área.

Respecto de la componente de políticas de control de emisiones, el enfoque que se recomienda a priori es realizar un análisis del Plan de Descontaminación Vigente, el estado de la implementación de las medidas de control y cuáles son las nuevas fuentes que se han incorporado, su aporte y las opciones de control.

Con todos los elementos descritos previamente se ha estructurado un diagrama de flujos con las principales actividades del proyecto y las relaciones entre ellas. Cabe recalcar que se han identificado tres grandes ámbitos de especialidad para abordar los diferentes aspectos del estudio:

- Inventario dinámico de emisiones
- Modelación de dispersión / zona de influencia
- Definición de medidas Plan de Ventanas

En el diagrama siguiente cada uno de estos ámbitos está estructurado en forma separada pero complementaria, todos precedidos de la recopilación de datos previos y su análisis como primera actividad.

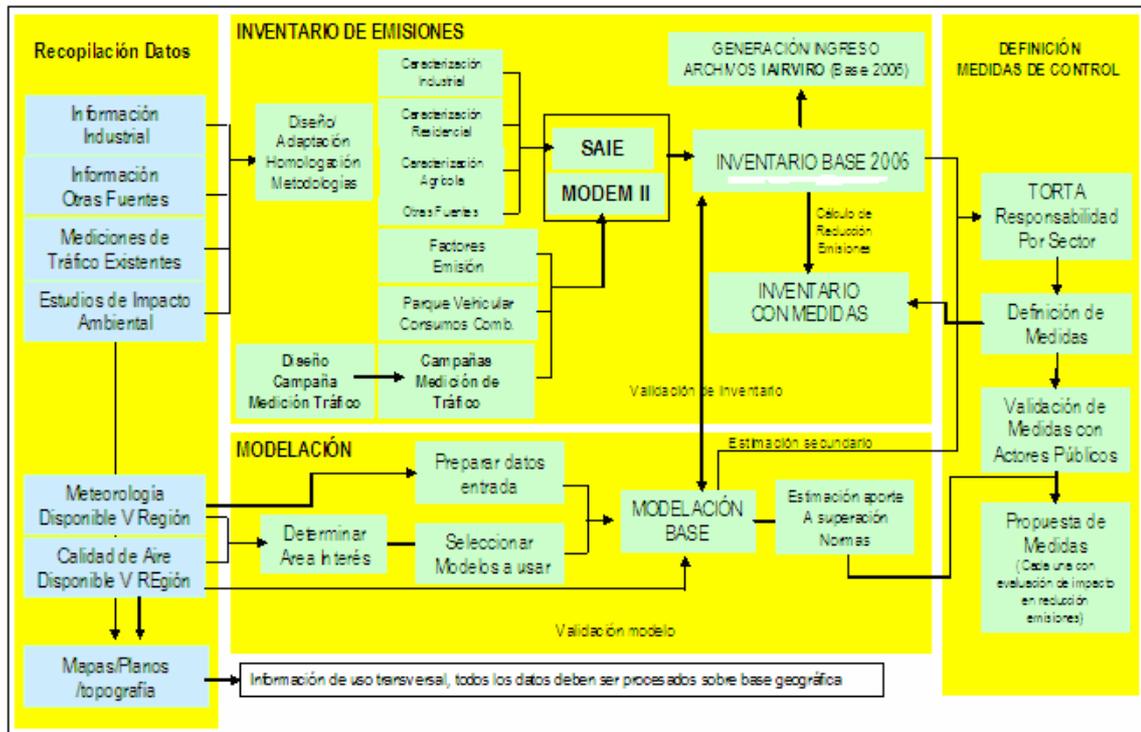


Figura 2: Diagrama Lógico de las Actividades Contempladas en el Estudio

### 2.3 Recopilación de Datos Previos:

- Recopilación de estudios de calidad del aire previos
- Recopilación de estudios de Impacto Ambiental
- Recopilación de datos del sector industrial
- Recopilación de planes de descontaminación en curso
- Recopilación de información de tráfico, especialmente:
  - aquella disponible en el MOP para caracterizar adecuadamente carreteras.
- Recopilación de información meteorológica y de Calidad del Aire
- Análisis de toda la información recopilada y generación de un diagnóstico previo

## **2.4 Elaboración de Inventarios de Emisiones**

- Análisis de la información disponible para estimar emisiones
- Desarrollo / Homologación de metodologías para cada uno de los sectores:
  - Transporte
  - Industria
  - Otras fuentes
- Recopilación de factores de emisión
- Levantamiento en terreno de información industrial
- Realización de campañas de terreno
- Integración y procesamiento de datos
- Cálculo de emisiones, análisis de resultados
- Generación de un escenario de emisiones con medidas

## **2.5 Modelación de Dispersión de Contaminantes (Determinación Zona (s) saturadas)**

- Caracterizar, a partir del análisis de la información meteorológica disponible, las condiciones que determinan el empeoramiento de las condiciones de ventilación.
- Simulación de la meteorología de la zona de estudio, para poder proporcionar campos meteorológicos tridimensionales requeridos por el modelo de dispersión (velocidad y dirección del viento, temperatura, precipitación, etc.)
- 1. Realizar corridas del modelo de dispersión de contaminantes para un Inventario Base de Emisiones, y comparar los resultados con las mediciones de calidad del aire disponible. Esto permite evaluar la calidad del inventario de emisiones, identificando fortalezas y falencias a ser mejoradas en futuros estudios.

### 3 METODOLOGÍA PARA ABORDAR EL DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES

El Objetivo General del Estudio es: *Realizar un análisis acabado de las emisiones industriales en la zona de Ventanas, con énfasis en la determinación de emisiones de MP10 y SO2.*

*Una vez realizado, el inventario deberá permitir la identificación de las responsabilidades en emisiones de contaminantes primarios de las fuentes industriales ubicadas en zona.*

*La información generada por el estudio incluirá la georreferenciación de las distintas fuentes emisoras presentes en la zona, así como el despliegue de la información en mapas y tablas.*

*Se realizará una modelación de las emisiones estimadas para determinar el aporte de cada una de las fuentes de emisión en la calidad del aire por medio de la utilización del modelo AERMOD de la EPA o equivalente.*

Por la relevancia que el inventario de emisiones reviste, este capítulo se concentra en describir en detalle los aspectos metodológicos con que se está abordando su elaboración.

Según la experiencia adquirida por este Equipo Consultor, la mejor forma de hacerse cargo de la necesidad permanente de contar con información útil, actualizada y de calidad, es disponer de una herramienta para modelar emisiones, más allá del inventario propiamente tal, que es sólo una “fotografía” del corte temporal en que se realizan los cálculos.

Disponer de una herramienta dinámica para la estimación de emisiones permite hacerse cargo adecuadamente de los siguientes requerimientos inherentes a la gestión de la calidad del aire en una zona determinada:

- **Estimación del aporte** de cada uno de los sectores a la contaminación por MP10/MP2,5 y otros contaminantes (NOx, CO, COV's, SOx y Ozono troposférico)
- **Evaluación de medidas de descontaminación a ser incorporadas en planes de gestión de la calidad del aire.** Esto requiere necesariamente que las metodologías de estimación de emisiones contemplen la incorporación de los parámetros viables de ser modificados por las medidas que se puedan plantear, de manera de disponer de un ‘lazo de control’.
- **Proyección de emisiones** para escenarios futuros / escenarios con medidas
- **Modelación de dispersión de contaminantes**, que requiere inventarios complejos georreferenciados y temporalmente distribuidos.

Otro elemento importante es tener la capacidad de concentrar los esfuerzos en caracterizar adecuadamente las fuentes de emisión más relevantes (sin dejar de lado la totalidad de las fuentes que se deben incorporar a un inventario) que en el caso de la zona de estudio son las siguientes:

1. Quema de biomasa (rural/urbano)
2. Quema Residencial/Comercial de Leña
3. Transporte (urbano/interurbano)
4. Transporte de carga
5. Transporte público
6. Vehículos livianos
7. Emisiones Industriales.
8. Emisiones de Polvo: Resuspendido por tráfico, construcción, sitios eriazos, etc.
9. Actividad naviera y portuaria.

### 3.1 Enfoque Metodológico para Lograr el Cumplimiento de los Objetivos Planteados

El enfoque metodológico para abordar el presente estudio y asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados, se presenta en el diagrama siguiente:

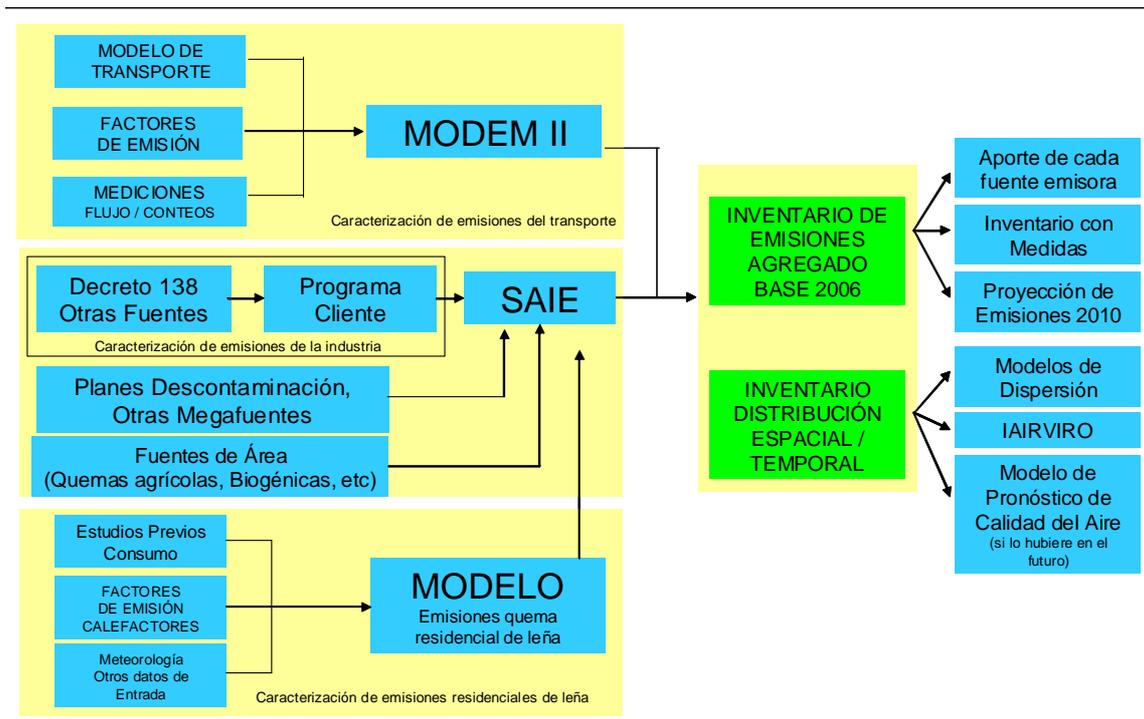


Figura 3. Enfoque Metodológico General para el Desarrollo del Estudio.

De esta forma, el planteamiento central es la utilización intensiva de sistemas de información ya desarrollados.

Todos los modelos planteados se integran adecuadamente con el sistema SAIE, diseñado específicamente para contener emisiones de todo tipo de fuentes y generar salidas de emisiones en cualquier formato, incluyendo los formatos requeridos por AERMOD y CALPUFF.

La creación y actualización de un inventario de emisiones se enmarca dentro de la siguiente estructura o Programa de Inventario, que ha adoptado DICTUC para la ejecución de los inventarios que ha desarrollado, destacándose la aplicación de medidas de aseguramiento y control de calidad en cada uno de los pasos del programa, de manera que cada Inventario desarrollado cumpla con estándares internacionales de calidad, reproducibilidad, trazabilidad a partir de la información base, etc.

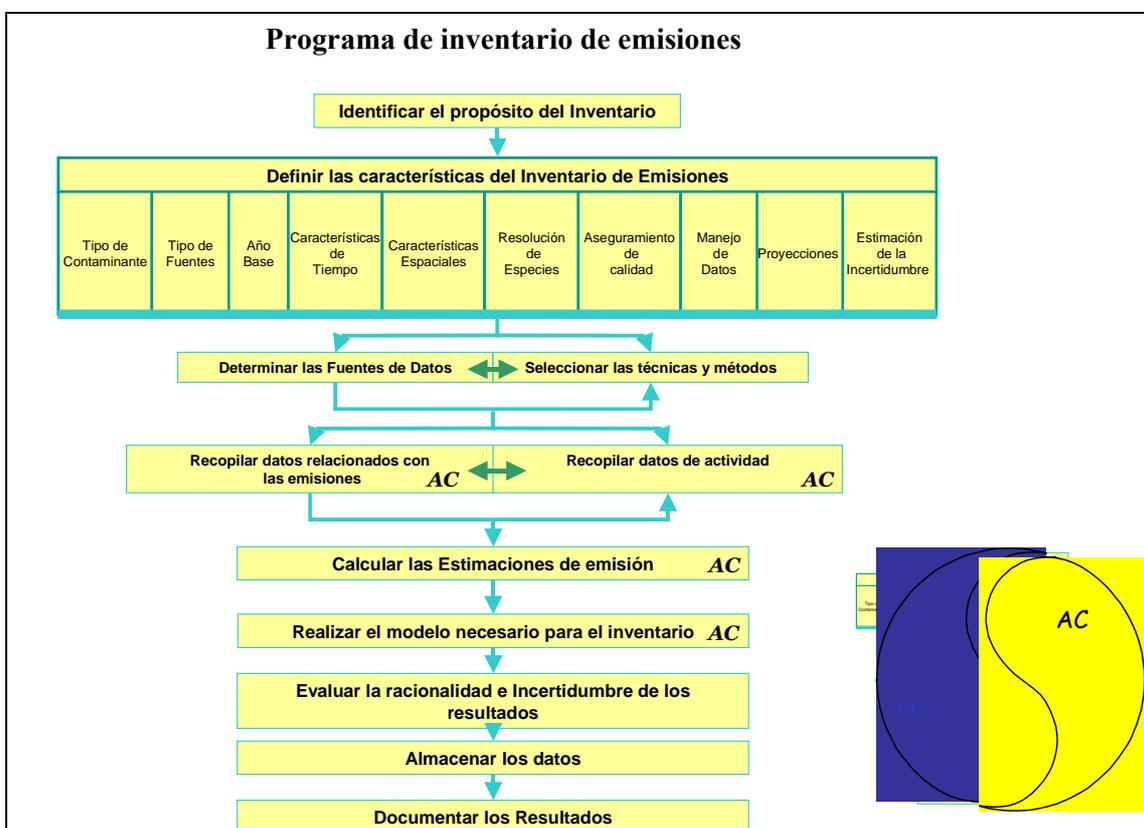


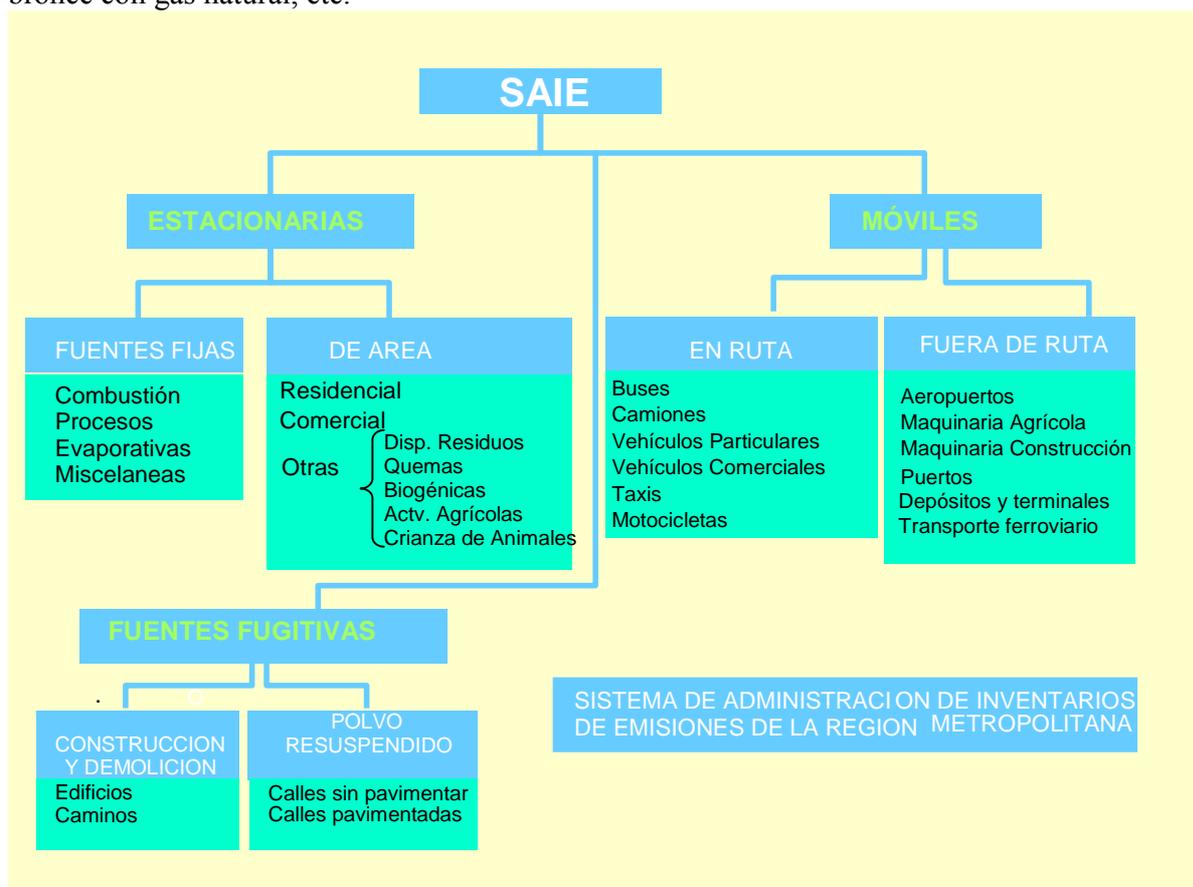
Figura 4. Enfoque Metodológico adoptado por DICTUC en programas de inventario de emisiones

Mediante la aplicación del SAIE (Sistema de Actualización de Inventarios de Emisiones), se generará el inventario de emisiones a nivel industrial, comercial y residencial. Este sistema es una herramienta que permite incorporar y levantar la información georreferenciada que se necesite para fines de estimación de inventarios de emisiones atmosféricas y de su posterior modelación. Para esto, SAIE se concibió desde su origen como una herramienta que se adapta a las características de la información que se genera en el sector público, de forma tal se ha

transformado en una herramienta de aplicación dinámica y por lo tanto, sustentable frente a la variabilidad de acceso a recursos para la actualización de inventarios de emisiones.

Las salidas del SAIE son reportes de emisiones bajo diferentes llaves de búsqueda (tipo de fuente, de combustible, por comuna, etc.), y archivos que permiten ingresar bases de datos al interior del sistema Airviro, donde se pueden generar escenarios de emisiones, hacer proyecciones, etc. Además, se han construido interfaces de SAIE para generar los archivos de emisiones requeridos por modelos de calidad del aire tales como UAM-IV (*Urban Airshed Model*, EPA-EEUU), CAMx (*Comprehensive Air Quality Model with Extensions*) y CADM (*Chilean Air Dispersion Model*), entre otros, todos los cuales se han aplicado en la Región Metropolitana.

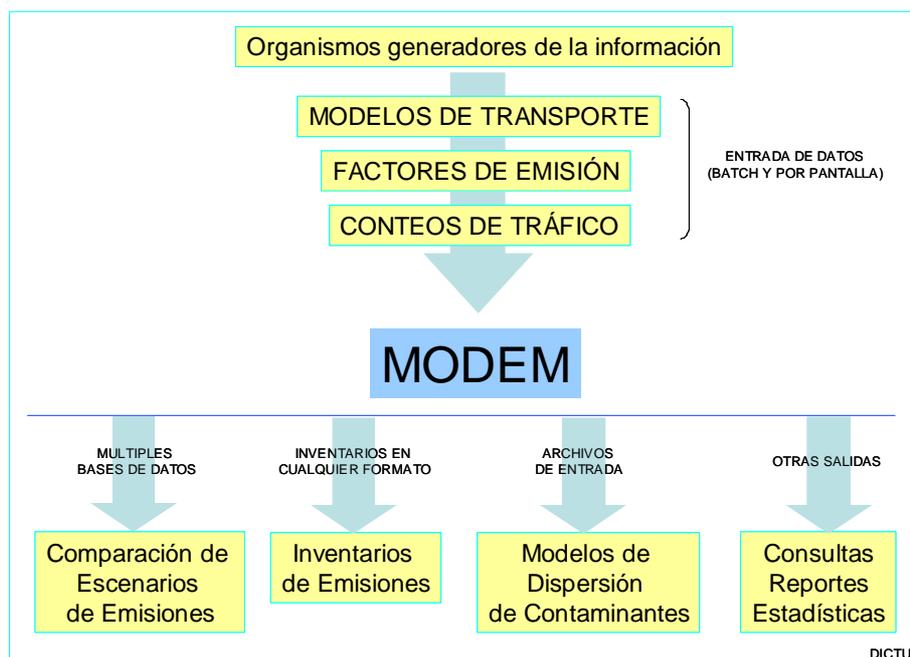
La siguiente figura, esquematiza la estructuración básica de las fuentes generadoras de emisión que registra el SAIE. Es importante señalar que las categorías representadas en esta estructura son a nivel agregado ya que al interior del sistema es posible llegar a tipos de fuentes específicas, como por ejemplo uso de pintura en base a solvente a nivel residencial u hornos de fundición de bronce con gas natural, etc.



**Figura 5. Esquema general del Sistema de Administración de Inventarios de Emisiones de la Región Metropolitana (SAIE). Fuente: CONAMA RM**

Por otro lado, se dispone del modelo de emisiones de fuentes móviles MODEM II, el cual sigue los mismos principios y genera también las entradas a los modelos de dispersión. En términos generales, estos sistemas corresponden a una estructuración conceptual de las metodologías de cálculo requeridas para la obtención de los complejos inventarios de fuentes industriales y areales, en el caso de SAIE, y fuentes móviles en el caso de MODEM II.

En ambos casos, los sistemas desarrollados permiten un traspaso automatizado de la información base para el inventario y procesos automáticos de cálculo de emisiones. En este sentido, es importante mencionar que los inventarios generados por ambos sistemas son de alta complejidad, considerando que uno de sus objetivos principales es la alimentación de modelos atmosféricos y la evaluación de beneficios de medidas de reducción de emisiones, lo cual implica la generación de inventarios distribuidos espacial y temporalmente y desagregado en sustancias químicas específicas para los COV (compuestos orgánicos volátiles) y las componentes del Material Particulado (carbono orgánico y elemental, metales, etc.). La siguiente figura esquematiza la estructura de funcionamiento del MODEM II, el cual permite la generación de archivos de modelación.



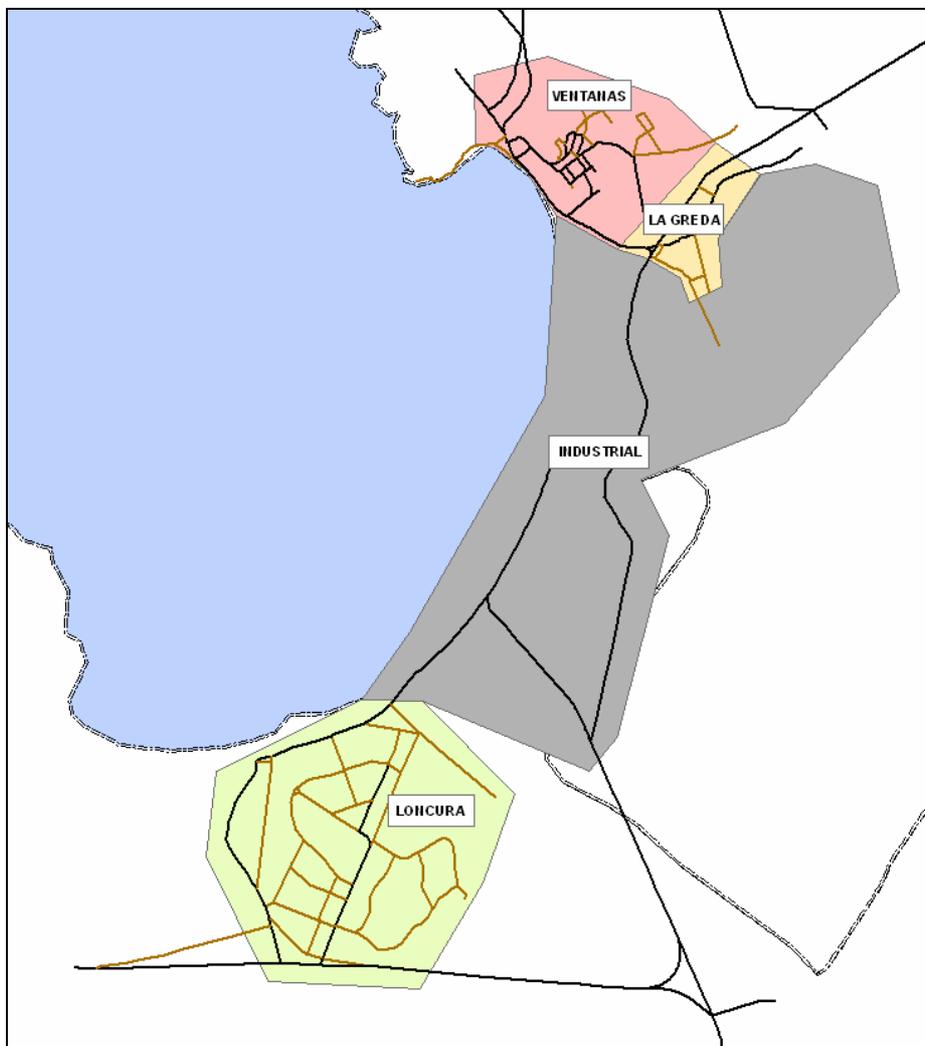
**Figura 6. Esquema general del MODEM II**

#### 4 DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES

A continuación, se describen las metodologías de estimación de emisiones de cada una de las fuentes emisoras consideradas en el presente estudio, así como también los antecedentes recopilados necesarios para efectuar la estimación de emisiones de cada fuente.

Para desarrollar el inventario de emisiones se dividió la zona de estudio en cuatro sectores, esto debido a que existen emisiones de área, como las emisiones residenciales, que no pueden ser ubicadas en el espacio en forma particular, por tanto se asignan a un área. Así es posible asignar las emisiones residenciales y las emisiones industriales a los sectores correspondientes.

La siguiente figura ilustra los sectores considerados para la zona de estudio.



**Figura 7. Sectores considerados para la zona de estudio**

## 4.1 Fuentes Móviles en Ruta

### 4.1.1 Metodología general de cálculo de emisiones vehiculares

La metodología general para estimar las emisiones vehiculares en ruta consiste en estimar los niveles de actividad de las diferentes categorías vehiculares y asociarles a cada una de ellas un nivel de emisión promedio o factor de emisión (ver siguiente ecuación).

Para los vehículos motorizados, el nivel de actividad es representado, básicamente, por el kilometraje recorrido por el vehículo en el tiempo y área donde se desarrolla el inventario, mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramos por kilómetro recorrido, los que generalmente son altamente dependientes de la velocidad media de circulación.

$$E_i = \sum_k \text{ Nivel de actividad}_k \times FE_{ik} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E<sub>i</sub>: Emisiones [gr] del contaminante considerado i

Nivel de actividad : Nivel de actividad de la categoría vehicular k

FE<sub>ik</sub> : Factor de emisión del contaminante i para la categoría k evaluada [gr/km]

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes, puede ser obtenido de una manera desagregada y en detalle estimando directamente la información a partir de datos de flujo vehicular (modelos de transporte, conteos vehiculares, etc.), entre otras variables, generados por los modelos de transporte. Sin embargo, muchas veces estos datos no están disponibles y es necesario estimar el nivel de actividad vehicular de forma más agregada con la ayuda de otros parámetros alternativos, tales como las estadísticas de consumo de combustible regionales, caracterización detallada del parque y/o encuestas directas a usuarios, o bien aplicar una metodología alternativa de asignación de flujo a la red vial, como en el caso del presente estudio.

### 4.1.2 Clasificación de fuentes móviles en ruta

Dentro de las fuentes móviles en ruta, considerando las características de las flotas locales de cada ciudad y la información disponible, se utilizan en términos generales las siguientes categorías básicas de vehículos:

- Vehículos livianos particulares
- Vehículos livianos comerciales
- Vehículos de alquiler
- Taxis colectivos
- Buses transporte público
- Buses transporte interurbano y rural
- Camiones livianos, medianos y pesados
- Motocicletas

Subcategorías más desagregadas se definen de acuerdo a las características locales y a la mejor información disponible.

### 4.1.3 Tipos de emisiones a considerar en los cálculos

La metodología de cálculo implementada en MODEM II asume que las emisiones provienen de tres fuentes fundamentales: las derivadas del motor cuando éste se encuentra en condiciones de operación estables (emisiones en caliente), aquellas provenientes del motor cuando éste se encuentra frío (emisiones por partidas en frío) y por último aquellas denominadas evaporativas (emisiones de hidrocarburos evaporados). Las emisiones totales serán, en consecuencia, la suma de estos tres tipos de emisiones, como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Desagregación de las emisiones totales**

<b>Desagregación de las emisiones totales:</b>			<b>Ecuación 2</b>
$E_{total}$	=	$E_{caliente} + E_{partidas\ en\ frío} + E_{evaporativas}$	
$E_{total}$	:	Emisiones totales del contaminante considerado [gramos]	
$E_{caliente}$	:	Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor [gramos]	
$E_{partidas\ en\ frío}$	:	Emisiones por partidas en frío [gramos]	
$E_{evaporativas}$	:	Emisiones por evaporación <sup>2</sup> [gramos]	

A estas fuentes se le suman las emisiones originadas por el desgaste de frenos y neumáticos y las emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas.

A su vez, se considera que las emisiones evaporativas en fuentes móviles provienen de tres fuentes primarias:

**Tabla 3. Fuentes primarias de emisiones evaporativas**

<b>Fuentes primarias de emisiones evaporativas:</b>	
•	Emisiones durante el día (diurnal)
•	Emisiones por detenciones en caliente (hot soak emissions)
•	Pérdidas durante el recorrido (running losses)

Las emisiones por partidas en frío se asocian a las emisiones producidas en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual la conducción se realiza en condiciones de temperatura de motor inferiores a las normales de diseño. Estas emisiones se destacan aún más cuando se estiman emisiones en ciudades donde el largo del viaje promedio es corto y las temperaturas son bajas.

Las emisiones evaporativas durante el día (diurnal), se asocian a las variaciones de temperatura naturales que se presentan durante el día. Las emisiones por detenciones en caliente (hot soak) se originan cuando el motor del vehículo es apagado (posterior a haber efectuado un recorrido), en donde el calor remanente calienta las líneas de combustible que ya no está fluyendo produciendo emisiones evaporativas. Estas emisiones pueden dividirse en “hot soak” cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado está por sobre los 70°C y en “warm soak” cuando la temperatura es menor a 70°C. Finalmente, se tienen las emisiones evaporativas

<sup>2</sup> Relevantes para especies de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos en vehículos a gasolina

generadas por pérdidas durante el recorrido (running losses) las cuales también se diferencian según el grado de temperatura del motor, definiéndose “hot running losses” cuando la temperatura del agua refrigerante del motor se encuentra sobre los 70°C y “warm running losses” cuando se encuentra por debajo de este valor.

Las fuentes anteriores se hacen significativas al tratarse de vehículos a gasolina (vehículos de ciclo Otto), por lo que el cálculo se refiere a este segmento del grupo de fuentes móviles en ruta.

En resumen, entonces, las emisiones asociadas a las fuentes móviles en ruta provienen de los siguientes tipos de descarga:

**Tabla 4. Tipo de descargas totales incorporadas en el cálculo de emisiones de fuentes móviles en ruta**

<b>Tipos de descargas de emisiones de fuentes móviles en ruta:</b>	
•	Emisiones en caliente provenientes del sistema de escape de los vehículos
•	Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido (running losses)
•	Emisiones evaporativas durante el día (diurnal)
•	Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak emissions)
•	Emisiones por partidas en frío
•	Emisiones provenientes de desgaste de frenos y neumáticos.
•	Emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas

De acuerdo a la información disponible, al contaminante considerado y a la precisión requerida en el cálculo de emisiones, desde el punto de vista de la metodología utilizada para el cálculo de emisiones, se distinguen dos tipos: metodología para cálculo de emisiones por arco y metodología para cálculo de emisiones por zonas, las cuales se describen en forma resumida a continuación. Ambas metodologías son utilizadas en los cálculos de emisiones en MODEM II.

#### 4.1.4 Metodología tipo arco

La metodología tipo Arco se basa en la existencia de una red vial, e idealmente la disposición de salidas de modelos de transporte. Cada arco tiene asociado características de operación básicas<sup>3</sup> asignadas según condiciones de equilibrio en la red, en un horario determinado (por ejemplo punta mañana), lo que permite tener valores de velocidad y flujos para cada arco.

A través de la aplicación de esta metodología se calculan con MODEM II los siguientes tipos de emisiones:

**Tabla 5. Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo arco**

<b>Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo arco:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Emisiones en caliente provenientes del sistema de escape de los vehículos</li><li>• Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido (running losses)</li><li>• Emisiones provenientes de desgaste de frenos y neumáticos.</li><li>• Emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas</li><li>• Consumo de combustible (CC). Aunque no se trata de emisiones, bajo esta metodología también se calcula el consumo de combustible (CC) para las diferentes categorías.</li></ul>

#### 4.1.5 Metodología tipo zona

En la metodología tipo Zona, dentro de MODEM II, las emisiones difusas (como las originadas en la evaporación de combustibles líquidos) no son calculadas por arco sino por zonas geográficas más extensas (por ejemplo, en el caso de la Región Metropolitana, estas corresponden a las comunas del Gran Santiago), utilizando información zonal como número de viajes entre sectores, vehículos de la categoría *i* por sector, información de temperaturas, largo promedio de viajes, entre otras.

A través de la aplicación de esta metodología, se calculan los siguientes tipos de emisiones:

**Tabla 6. Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo zona**

<b>Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo zona:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak emissions)<sup>4</sup></li><li>• Emisiones evaporativas durante el día (diurnal)<sup>5</sup></li><li>• Emisiones debidas a las partidas en frío</li></ul>

<sup>3</sup> Capacidad, velocidades, longitud y flujos entre otros.

<sup>4</sup> Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak emissions) cuyo factor de emisión esta expresado en [gr/detención] y depende de parámetros como la temperatura ambiental y la presión de vapor Reid del combustible utilizado.

<sup>5</sup> Emisiones evaporativas durante el día (diurnal) cuyo factor de emisión está expresado en [gr/día] y también depende de parámetros como la temperatura ambiental y la presión de vapor Reid del combustible.

#### 4.1.6 Metodologías específicas de cálculo de emisiones vehiculares

A continuación se describen las metodologías de estimación de emisiones asociadas a fuentes móviles en ruta.

##### Metodología de cálculo de emisiones en caliente por tubo de escape

La metodología general para este tipo de emisiones corresponde a:

$$E_{hora\ ijk} = F_{jk} \cdot L_j \cdot FE(v)_{ik} \cdot PF_{jk} \cdot C_{jk} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $E_{hora\ ijk}$  : Emisiones [gr] del contaminante considerado i en un arco j para la categoría vehicular k en una hora determinada.
- $F_{jk}$  : Flujo vehicular [veh/h] total en el arco j a la hora en que se establecieron los parámetros por arco bajo el modelo de transportes utilizado como base
- $L_j$  : Largo del arco evaluado [km].
- $FE(v)_{ik}$  : Factor de emisión en función de la velocidad [gr/km] del contaminante i para la categoría k evaluada.
- $PF_{jk}$  : Perfil de flujo o fracción del flujo total (Flujo jk) correspondiente a la hora evaluada y sector asociado al arco.
- $C_{jk}$  : Composición o fracción del flujo total en el arco j perteneciente a la categoría k para el sector asociado al arco.

En la siguiente figura se presenta de manera esquemática esta metodología con información proveniente de modelos de transporte o redes modeladas y para arcos agrupados por sectores geográficos (tipos asimilables según sectores específicos dentro del área de estudio). En esta ilustración es posible observar los requerimientos de datos adicionales a lo entregado por los modelos de transporte.

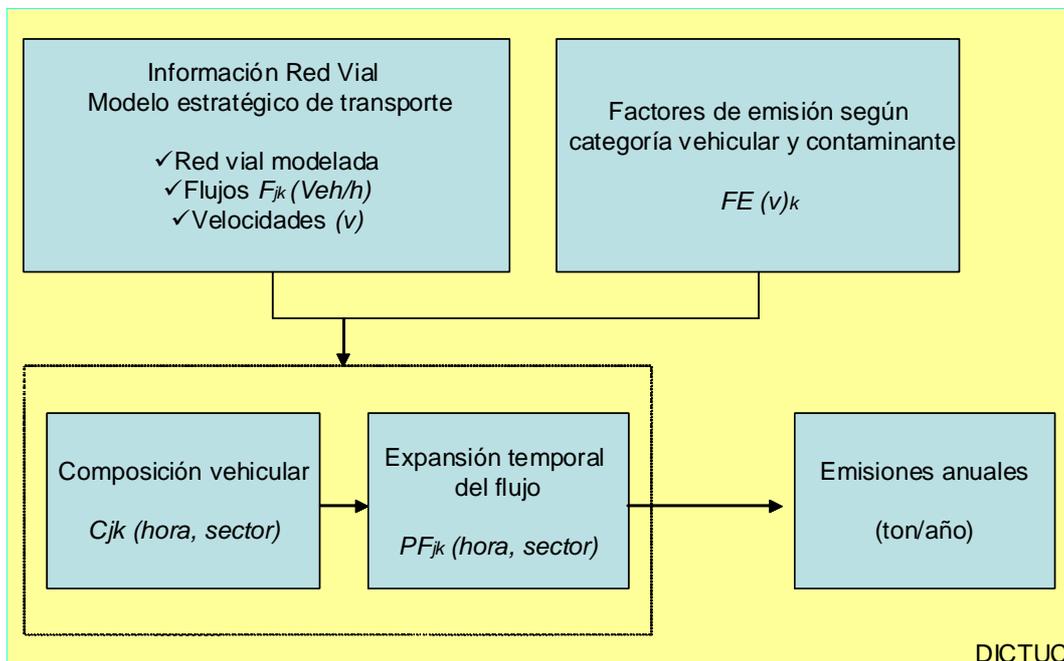


Figura 8. Esquema general para la aplicación de Metodología para Tubo de Escape.

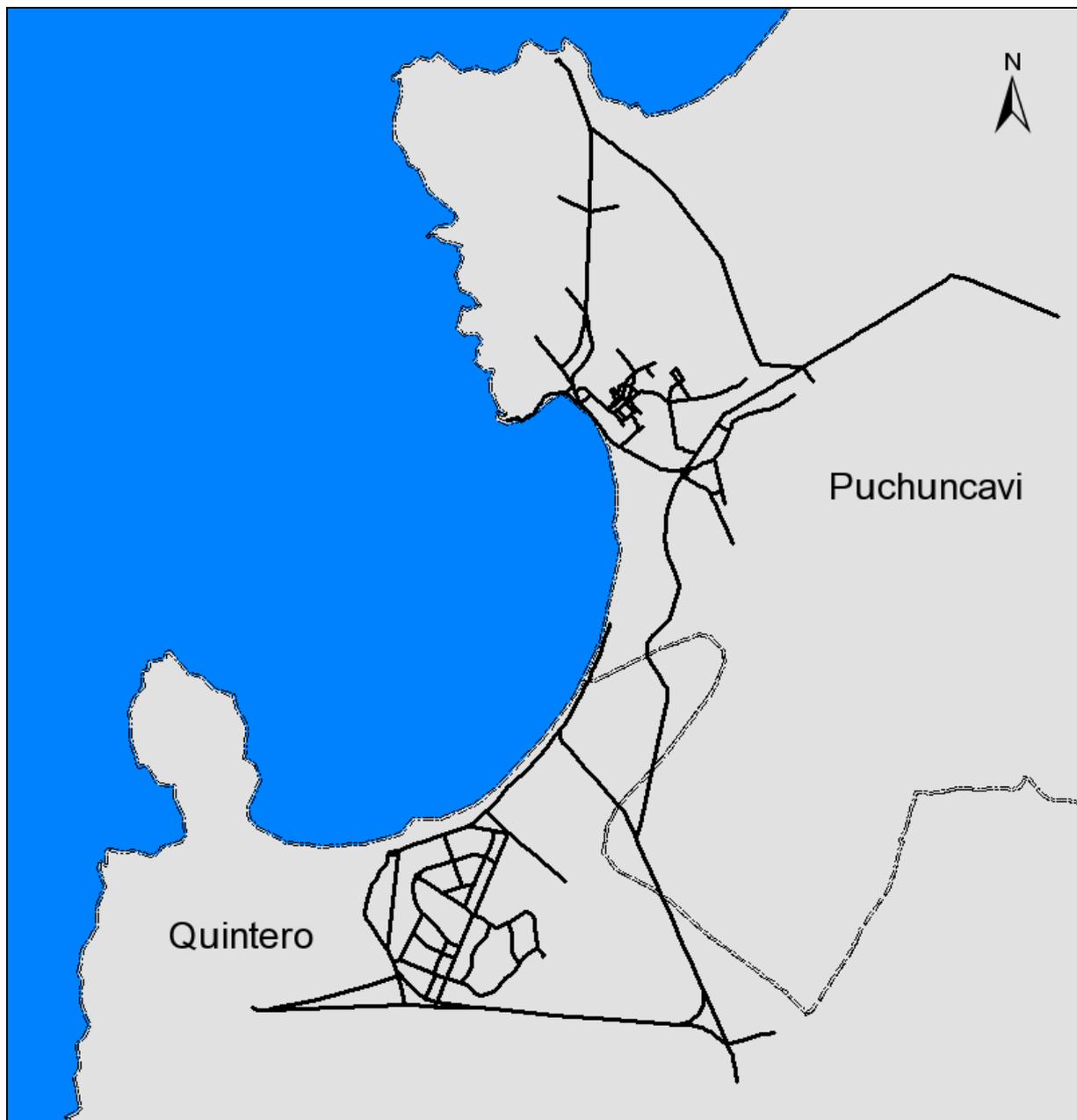
A continuación, se describe la obtención de los parámetros a los que se hace referencia en la figura anterior, y los antecedentes procesados para la estimación de emisiones de la zona.

### Modelación de transporte

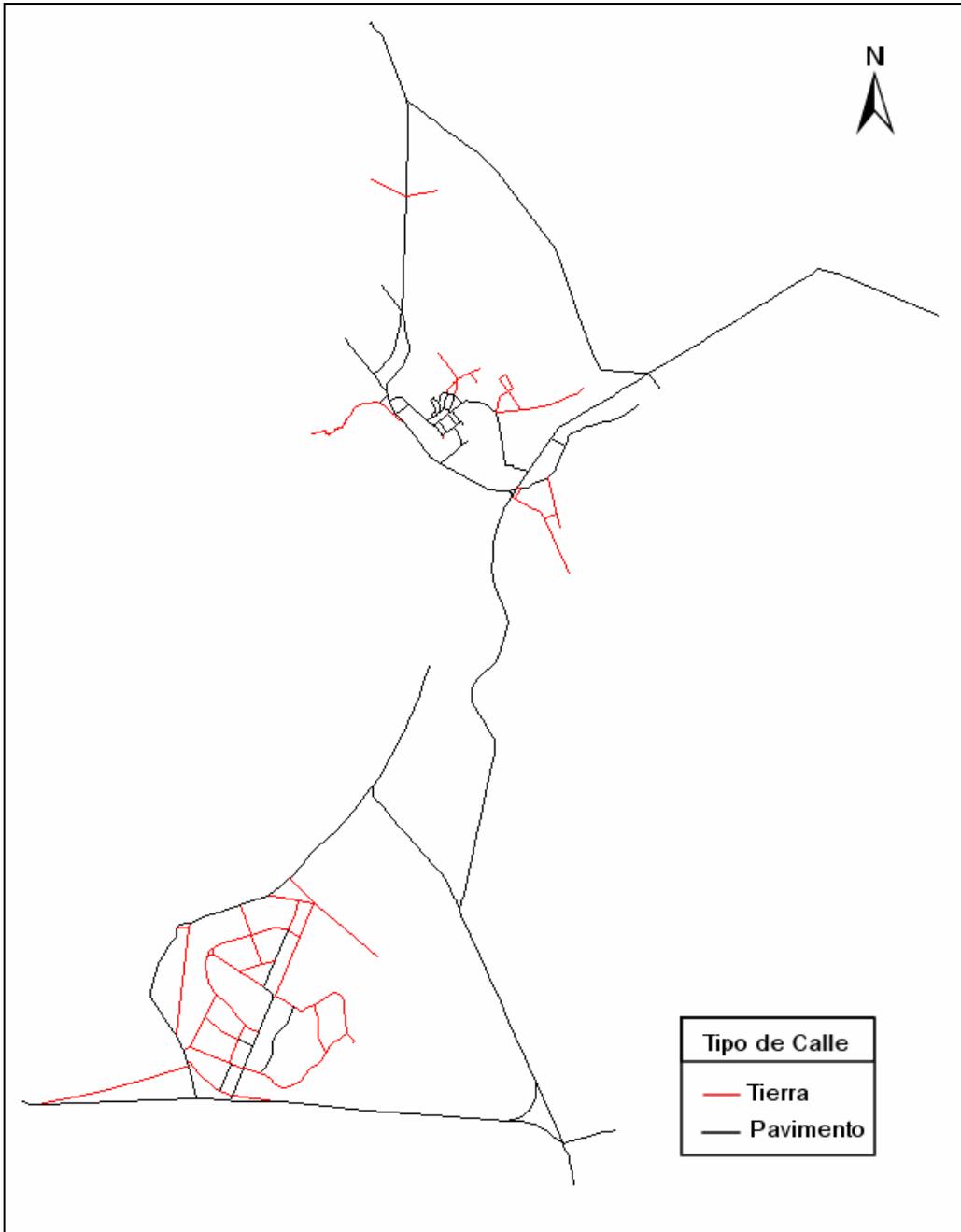
La información base utilizada para la estimación de emisiones es la entregada generalmente por modelos de transporte, como ESTR AUS para la Región Metropolitana. En zonas donde no existe modelación de flujos vehiculares sobre la red vial, se debe construir una red (red modelada) y asignar los flujos vehiculares con el detalle requerido por el modelo de emisiones MODEM II.

En el caso de la información de la modelación de transporte, el equipo consultor generó una red vial a partir de los antecedentes tomados en terreno. Esta información se refiere a dos archivos generados con información a nivel de cada arco de la red vial de la zona de estudio, con datos de flujo horario, separado en distintas categorías vehiculares (buses, camiones, taxis colectivos y vehículos de recorrido libre), velocidades por arco, para dos períodos del día (hora punta y fuera de punta), todo esto georreferenciado a través de sistema de información geográfica.

Las siguientes figuras muestran la red vial modelada y sus características (pavimentada o tierra); es sobre esta red donde posteriormente se realizaron conteos vehiculares para caracterizar flujos y composiciones vehiculares.



**Figura 9 Red vial considerada en la zona de estudio.**



**Figura 10 Tipo de superficie en red vial modelada.**

#### **4.1.7 Caracterización de flujos vehiculares (Ck)**

Con el objetivo de asignar flujos a una red modelada, es necesario utilizar datos provenientes de campañas de caracterización de flujos vehiculares que permitan generar las categorías vehiculares requeridas. Esta caracterización del flujo vehicular en cuanto a su composición hace posible obtener la mejor “fotografía” posible acerca de las diferentes clases de vehículos que circulan diariamente por cada ciudad y conocer sus proporciones relativas, vale decir, qué porcentaje del flujo total corresponde a vehículos livianos, cuanto a camiones, a buses, etc. Esto es necesario ya que la estimación de emisiones debe desagregarse en diferentes categorías vehiculares debido a las apreciables diferencias de emisiones entre un tipo de vehículo y otro.

En términos generales los modelos de transporte sólo distinguen los flujos asignados como aquellos que caracterizan el transporte de ruta fija, y aquellos de ruta variable, donde se encuentran agrupadas el grueso de las categorías vehiculares, como vehículos particulares y comerciales de todos los tipos. De esta manera, un trabajo de caracterización de flujos en terreno más una caracterización del parque local basada en estadísticas sectoriales como parque vehicular, revisión de bases de datos provenientes de plantas de revisión técnica y bases generadas por los diferentes gobiernos locales respecto a los permisos de circulación otorgados en cada uno de ellos, hacen posible desagregar los flujos vehiculares en todas aquellas categorías que el modelo de estimación de emisiones requiere.

#### **4.1.8 Campaña de Medición de Flujos Vehiculares**

Mediante una campaña de coteos vehiculares fue recogida información relevante para asignar flujos vehiculares a los arcos que componen la red vial definida dentro del área de estudio, estableciendo los nodos y arcos relevantes que interpretan y determinan el movimiento al interior de cada una de las localidades insertas en el área de estudio, así como también el de las vías interurbanas que las conectan.

La información recopilada corresponde a medición automática de flujo vehicular y, de manera simultánea a ésta, medición manual de clasificación vehicular en cada una de las estaciones automáticas y en otros puntos seleccionados.

#### 4.1.8.1 Red de Estaciones de Conteo

Sobre la red vial definida de la zona en estudio, se estableció un conjunto de 15 puntos de control para realizar mediciones con equipamiento instrumental y 35 puntos de control en donde se recabó información en forma manual, es necesario aclarar que cada punto equipado con estación instrumental posee a su vez conteos manuales para obtener mayor detalle de la composición de los flujos. Las siguientes tablas proporcionan información específica de los ejes donde se midió flujo vehicular con estaciones automáticas y conteos manuales:

**Tabla 7. Ejes con Conteo Automático**

UBICACIÓN
CAMINO A VENTANAS
F 150 - LÍMITE ZONA ESTUDIO
RUTA F 170 CAMINO QUINTERO-LONCURA
RUTA F 210 – ACCESO A QUINTERO
RUTA F-30 E
ACCESO A COSTANERA
AVENIDA EL BOSQUE (LONCURA)
BELLAVISTA (VENTANAS)
CAMINO COSTERO VIA 5 (LONCURA)
CAMINO LONCURA BAJO
ESMERALDA - RUTA F 150
F 150 - ENLACE VENTANAS
F 150 - SECTOR LA CHOCOTA
F-170 CAMINO COSTERO
RUTA F-30 E
RUTA F-212 CAMINO COSTERO

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8. Ejes con Conteo Manual**

UBICACIÓN
ACCESO A COSTANERA
ACCESO BRISAS DE LONCURA
ACCESO LONCURA EN CEMENTERIO
AUTOPISTA PUCHUNCAVI - ACCESO A HORCON
AVENIDA EL BOSQUE (LONCURA)
BELLAVISTA (VENTANAS)
BELLO HORIZONTE - MANUEL RODRIGUEZ
CAJA KAY - POMABAMBA
CAMINO A VENTANAS
CAMINO COSTERO VIA 5 (LONCURA)
CAMINO DE TIERRA
CAMINO LONCURA BAJO
CHIMBOTE - YUNGAY (TERM BUSES PALMIRA)
COPA DE AGUA EN CONSTRUCCION (HUELLAS)
CRUCE CALLE TIERRA
CRUCE VENTANAS - YPF
CRUCE VENTANAS_1
CRUCE VENTANAS_3
ESMERALDA - RUTA F 150
F 150 - ENLACE VENTANAS
F 150 - LÍMITE ZONA ESTUDIO
F 150 - SECTOR LA CHOCOTA
F-170 CAMINO COSTERO
HUARAS – CAMINO COSTERO
ITALIA - PEDRO ALDUNATE SOLAR
LAS BRISAS - LOS ALAMOS
LOS ALMOS - 11 DE SEPTIEMBRE
LOS CASTAÑOS
LOS CONQUISTADORES - RUTA F 150 (SECTOR CHACOTA)
LOS PESCADORES - AMINO A HORCON
PEDRO ALDUNATE SOLAR - ITALIA
RUTA F-30 E
RUTA F 170 CAMINO QUINTERO-LONCURA
RUTA F 210 - ACCESO A QUINTERO
RUTA F-212 CAMINO COSTERO
RUTA F-30 E
SUBIDA ALDUNATE

Fuente: Elaboración propia

Tanto en los puntos de medición automática y manual indicados, se realizó un registro vehicular automático simultáneo de clasificación vehicular, detallando el comportamiento de un día laboral, para lo cual la composición vehicular fue recabada manualmente. El período en el cual se extendió la campaña en terreno, fue desde el día 4 hasta el 14 de septiembre 2007.

La red de puntos de control fue definido de manera tal que considerara los caminos pavimentados y los no pavimentados, tanto al interior como al exterior de las localidades insertas en el área de estudio, así como también vías interurbanas que conecten estas localidades.

#### 4.1.8.2 Sistema de Medición Automático

En la recolección automática del flujo vehicular para este estudio, se utilizó un instrumental de origen inglés, marca Golden River Traffic, modelo Marksman 400 y MK3. Los instrumentos instalados recogieron la información durante 1 semana corrida, entre el 04 y el 13 de septiembre de 2007.

En las siguientes fotografías algunas estaciones automáticas instaladas y el tipo de instrumental instalado en ellas:



Figura 9. Disposición de Sensores Neumáticos e instrumental

### 4.1.8.3 Metodología General

La metodología general de recolección de información consiste básicamente en las siguientes tareas:

- Clasificación Manual de Flujo Vehicular
- Medición Automática de Flujo Vehicular

#### a) Períodos Horarios de Medición Manual

Para las mediciones manuales de clasificación vehicular, se efectuaron muestreos de media hora de duración en días laborales. Estos muestreos consisten en mediciones a intervalos de 15 minutos, durante 3 períodos horarios en día laboral. La medición se realiza separadamente para cada sentido de circulación vehicular de la vía.

La siguiente tabla muestra el esquema horario de medición manual. En esta tabla se indica, además, la codificación asignada a los distintos períodos punta definidos según distintos intervalos horarios del día:

**Tabla 10. Periodos de Medición Manual**

Tipo de Día	Período	Código	Horarios
Laboral	Punta Mañana	PM	07:00-09:00
	Fuera de Punta	FP	10:00-14:00
	Punta Tarde	PT	17:00-21:00

Fuente: Elaboración propia.

#### b) Clasificación Manual de Flujo Vehicular

En los períodos indicados anteriormente, y de forma simultánea a la medición automática de tráfico vehicular, se realizó un muestreo del tipo de vehículo que circula por cada punto de control, distinguiendo las categorías más usuales y propias de cada ciudad. Asimismo, se caracterizó, cada categoría, según tuviera sello verde o no.

Considerando los diversos tipos de vehículos y la funcionalidad de viajes que en ellos se realiza, se considerará al menos trece categorías vehiculares. La siguiente tabla muestra esta categorización indicando, además, la codificación adoptada para cada tipo de vehículo.

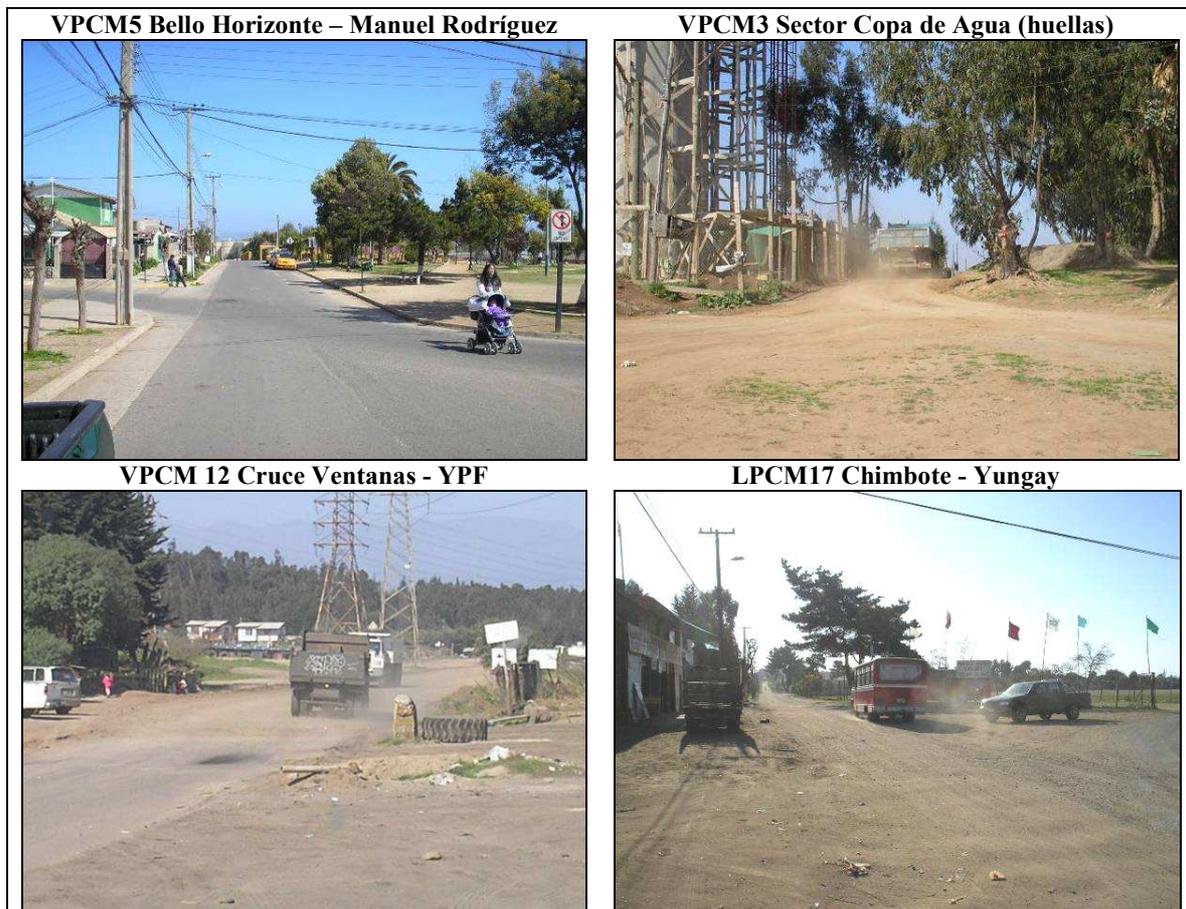
**Tabla 11. Categorías Vehiculares – Clasificación Manual**

Tipo de Vehículo	Código
Automóviles Particulares	AUTO
Camionetas y Van	VAN
Taxis Básicos	TAX
Taxis Colectivos	TXC
Furgón de Pasajeros	FURP
Furgón de Reparto	FURR
Camión Ligero	CLIG

Camiones de 2 ejes	C2EJ
Camiones de más de 2 ejes	CM2EJ
Buses Urbanos	BUS
Taxibuses Urbanos	TXBUS
Minibuses	MBUS
Otros Buses (instituciones, interurbanos)	OBUS

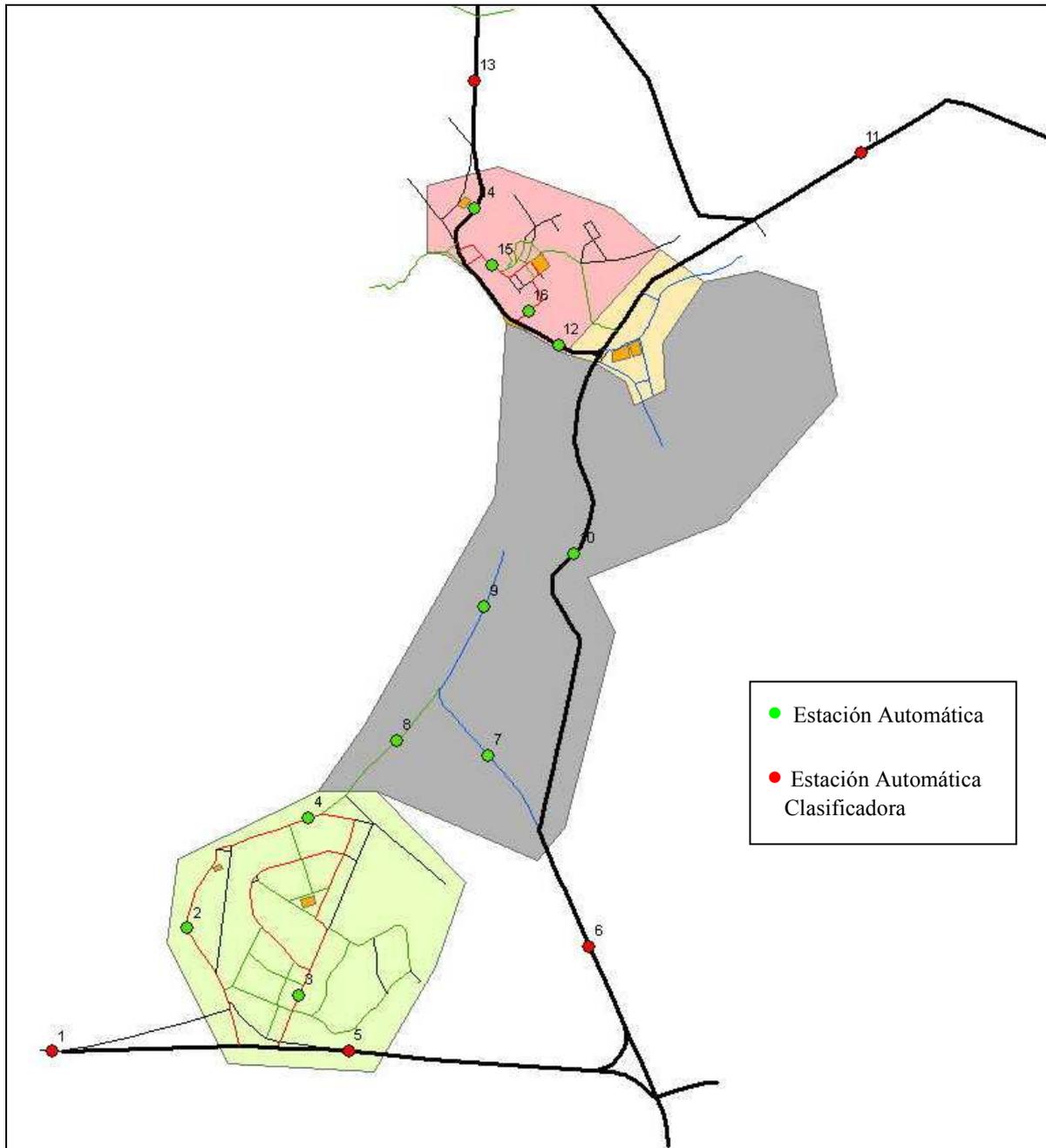
Fuente: Elaboración propia.

Para la caracterización del flujo vehicular, se establecieron lugares representativos de la zona de estudio. A continuación se presenta algunos de estos:



**Figura 12. Algunos lugares donde se realizaron mediciones manuales**

La siguiente figura muestra la ubicación de los puntos de conteo automático de flujos vehiculares en la zona de estudio.



**Figura 13. Puntos de conteo, estaciones automáticas.**

## **Medición de Niveles de Servicio**

La medición de niveles de servicio corresponde a la recolección en terreno de la trayectoria (posición y tiempo) de viaje en diferentes períodos horarios para los vehículos de transporte privado – típicamente vehículos livianos – y de transporte público de superficie –típicamente buses – en los arcos viales de la red definida para el área de estudio.

A partir de esta información se puede determinar, entre otros resultados, la velocidad comercial de operación de las distintas categorías de vehículos.

Para este estudio se realizaron mediciones con sistema de posicionamiento global GPS (Global Positioning System), recopilando la información de la trayectoria completa de los vehículos.

## **Metodología para Transporte Privado**

Para el caso de vehículos de transporte privado se empleó el método del vehículo flotante, que, básicamente, consiste en conducir un vehículo en una ruta predeterminada a la velocidad típica del resto de los vehículos. Esto es, el medidor deberá mantenerse “flotando” en el pelotón de vehículos, lo que implica que sólo debe adelantar si es adelantado. Por ejemplo, si es adelantado por tres vehículos, es necesario adelantar tres vehículos (no necesariamente los mismos tres); asimismo, se debe ignorar los vehículos que viran.

La circulación se debe realizar por la pista utilizada por la mayoría de los vehículos, típicamente, por la pista en que no existe o es mínima, la presencia de transporte público. Si no existe flujo vehicular o es muy bajo, el conductor puede elegir la velocidad de circulación, se debe conducir a una velocidad cómoda y segura, especialmente en el período nocturno.

El conductor no debe cambiar su estilo de conducir producto de la presión del trabajo que está realizando: debe conducir normalmente en un pelotón de vehículos. Asimismo, debe conducir en forma segura.

Para la recolección de información se utilizó el sistema GPS (Global Positioning System), herramienta que proporciona la posición referenciada del vehículo en un intervalo definido de tiempo. Esta información representa la trayectoria discreta del recorrido asignado, pudiendo, posteriormente, obtenerse datos como la velocidad o la aceleración en cualquier punto del trayecto. La velocidad o tiempo de viaje en cualquier arco es volcada sobre una planimetría digital georreferenciada de DICTUC.

Cada vehículo flotante se implementó con:

- Un conductor, encargado de conducir el vehículo por el circuito correspondiente,
- Un formulario de registro, para individualizar cada circuito de cada período, y
- Un GPS, instrumento que registra la trayectoria del vehículo.
- Una antena externa, para garantizar una mejor recepción satelital

Cada circuito es entregado al operador (persona que va a bordo del vehículo y se encarga de su conducción), quien tiene un conocimiento previo del sector. Para cada circuito de cada período, el operador registró en un formulario el evento que estuviera realizando.

Cada circuito se recorrió en tres oportunidades en cada período; asimismo, sólo se recorrió un circuito diario en cada período. Se evitó medir en vías afectadas por cualquier situación externa prolongada que afectara la normal circulación vehicular, tales como desvíos de tráfico, disminución de capacidad por obras viales, ferias libres y manifestaciones de cualquier tipo (huelgas, tomas, desfiles, entre otros).

### **Metodología para Transporte Público**

En este caso, se empleó el método de circular a bordo del vehículo de transporte público, sin interferir en el recorrido del mismo; se dispuso de rutas fijas, con un circuito predefinido. El operador sólo abordó el vehículo asignado en el punto de origen y continuó el viaje hasta terminar con la ruta asignada.

El operador lleva consigo a bordo del vehículo:

- Un formulario de registro, para individualizar cada circuito de cada período, y
- Un GPS, instrumento que registra la trayectoria del vehículo.

Cada circuito se recorrió en tres oportunidades en cada período; asimismo, sólo se recorrió un circuito diario en cada período.

### **Períodos de Medición**

Dependiendo del modo de transporte analizado, se consideró medir en diferentes períodos clásicos de días de tipo laboral, según se indica en la Tabla 14.

Cabe destacar que estos períodos horarios se encuentran en absoluta concordancia con las actividades de terreno correspondientes a las mediciones de tráfico vehicular.

**Tabla 14. Períodos de medición de niveles de servicio**

<b>Periodo</b>	<b>Horario</b>	<b>Transporte privado</b>	<b>Transporte público</b>
Punta Mañana	07:00 a 09:00	Sí	Sí
Fuera de Punta	10:00 a 14:00	Sí	Sí
Punta Tarde	17:00 a 21:00	Sí	Sí
Flujo Libre	23:00 a 06:00	Sí	No

Fuente: Elaboración propia

## Procesamiento y Validación de la Información

Conforme al tipo de transporte (privado y público) se definieron diferentes circuitos, los cuales se realizaron en aquellas vías ya sea asfaltadas como también de tierra, pertenecientes a la red vial del área de estudio. Los criterios básicos para la definición de circuitos fueron:

- Vías con presencia de transporte público,
- Vías esencialmente de transporte privado,
- Vías representativas de caminos de tierra,
- Vías bidireccionales, y
- Vías unidireccionales.

## Elección de Rutas

### a) Transporte privado

Una vez graficadas las vías seleccionadas en el Sistema de Información Geográfico (SIG) para efectuar la medición y, dadas las condicionantes propias de la tecnología utilizada, se planificaron rutas que optimizan tanto la continuidad de la medición como el tiempo disponible para efectuarla. Esto significa generar grupos de arcos de modelación que, al estar relacionados, generan un recorrido óptimo para los objetivos deseados. De este modo, se generaron rutas que, en lo posible, atravesaran las localidades; por ejemplo, de norte a sur o en sentido transversal.

Los vehículos empleados en la medición son de propiedad de DICTUC, los cuales fueron operados por personal experimentado de la empresa.

En la Tabla 15 se presentan las rutas consideradas para el desarrollo de las mediciones de niveles de servicio en transporte privado.

**Tabla 15 Rutas, transporte privado**

Ruta	Eje	Desde	Hasta
1	Camino Quintero-Horcón	Quintero	Ventanas
2	Camino Quintero-Horcón	Ventanas	Horcón
3	Av. El Bosque	Acceso Loncura	Loncura
4	Caminos interiores de Loncura	-	-
5	Caminos interiores de Ventanas	-	-

Fuente: Elaboración propia

### b) Transporte público

Se utilizó una metodología similar a la empleada en transporte privado, considerando, como criterio principal en la elección de las rutas, el grado de concentración de servicios de transporte público que éstas posean. En este sentido, se eligieron las rutas que pertenecen a la red del área de estudio. Luego, se identificaron las líneas de buses en las cuales se debe registrar su tiempo de viaje a través de los arcos seleccionados.

En la Tabla 16, se presentan las rutas consideradas para el desarrollo de las mediciones de niveles de servicio en transporte público. Cabe destacar que corresponden básicamente a las mismas rutas consideradas en transporte privado.

**Tabla 16. Rutas, transporte público**

Ruta	Eje	Desde	Hasta
1	Camino Quintero-Horcón	Quintero	Ventanas
2	Camino Quintero-Horcón	Ventanas	Horcón
3	Av. El Bosque	Acceso Loncura	Loncura
4	Caminos interiores de Loncura	-	-
5	Caminos interiores de Ventanas	-	-

Fuente: Elaboración propia

### **Procesamiento y Validación de la Información**

Completado el circuito en cada período, para cualquiera de ambas modalidades de transporte, el operador se dirigió a un punto asignado en terreno para el retiro y descarga de la información. Luego, se regresó al circuito asignado para medir los períodos restantes.

La información recopilada en cada GPS es automáticamente ingresada a un sistema de información geográfica para su revisión y validación. De estos datos, se extraen la velocidad media del tramo y la longitud recorrida.

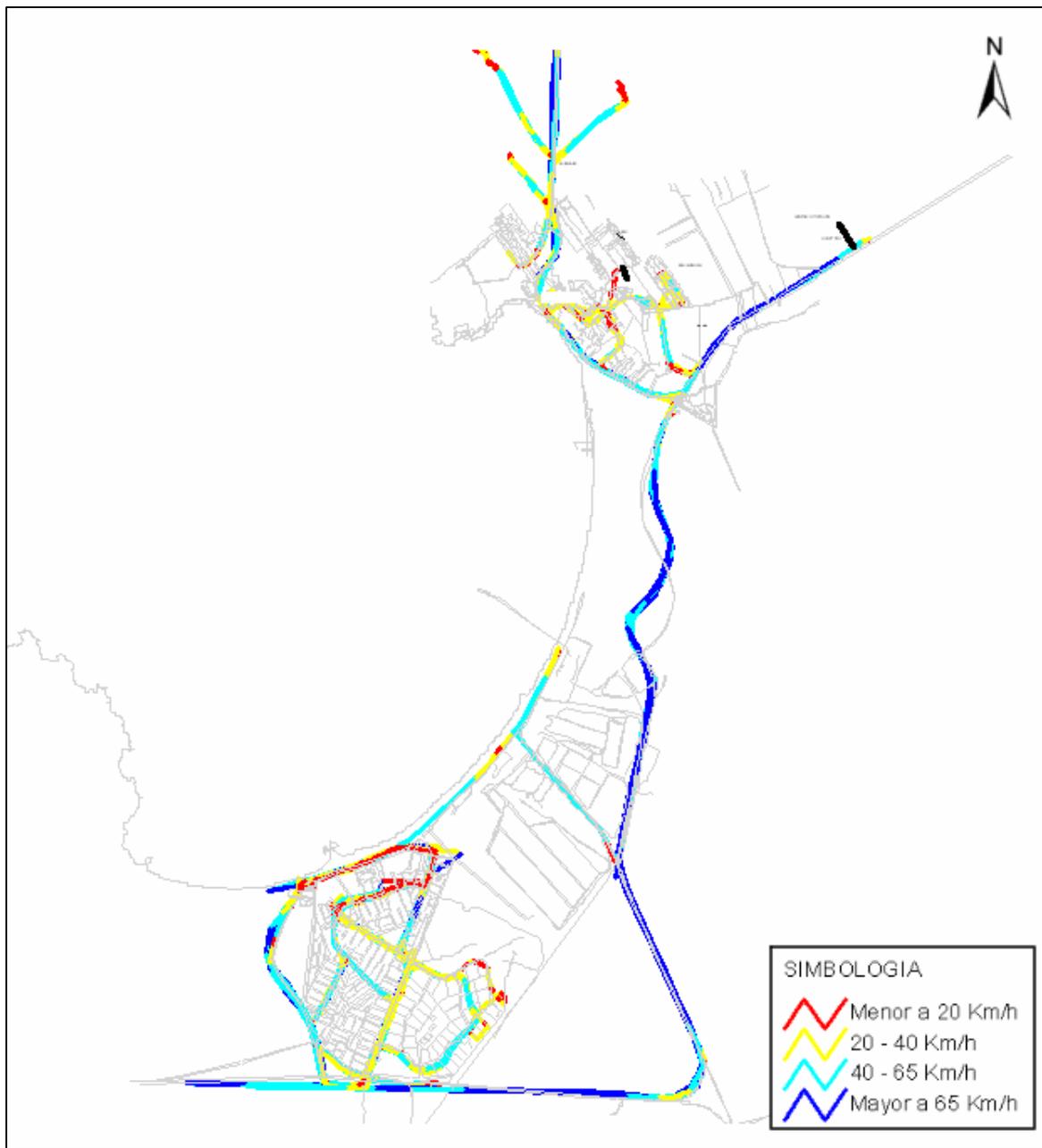
Para efectos de validación, se verifica que la velocidad medida no exceda los rangos máximos permitidos de velocidad media; es decir, que no se presenten velocidades promedio mayores a 100 Km/h. En el caso de la longitud, se comprueba con la registrada en las planimetrías existentes.

Es importante destacar que con esta validación es posible detectar omisiones en los recorridos, velocidades excesivas para terminar antes la ruta a recorrer o desvíos innecesarios.

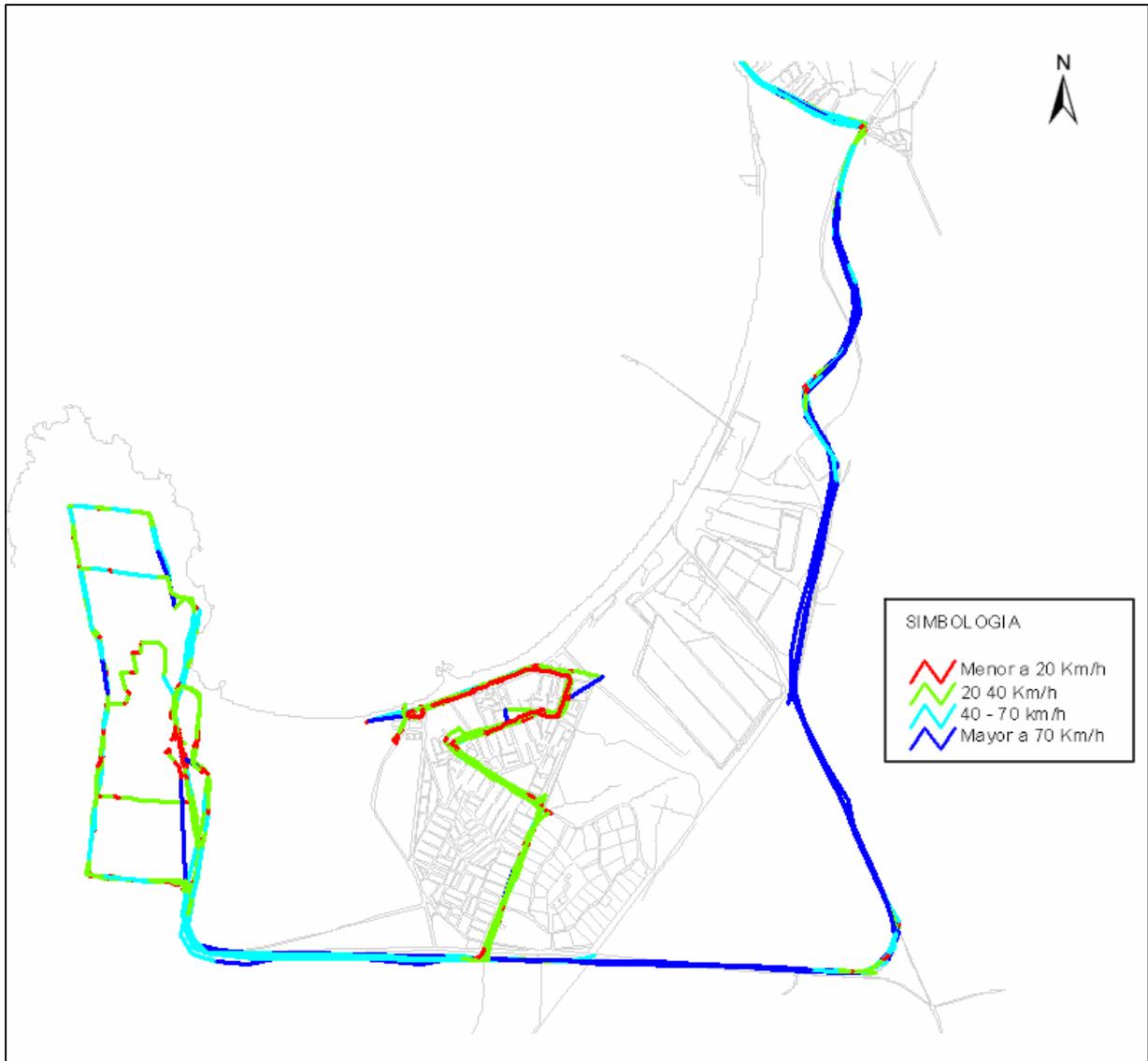
### **Reporte de Mediciones**

La información recopilada en cada GPS fue procesada, para posteriormente asignar las mediciones a los arcos de modelación, teniendo como resultado la red modelada con flujos asignados según los períodos de medición.

Las Figura 17 y Figura 18 muestran una gráfica de los recorridos realizados con GPS, en transporte privado y público, respectivamente.



**Figura 17: Cobertura de Mediciones GPS. Transporte Privado.**



**Figura 18: Cobertura de Mediciones GPS. Transporte Público.**

#### 4.1.9 Caracterización y Composición del Parque Automotriz

La revisión de los antecedentes existentes, respecto a las características propias del parque automotor local en el área de estudio, nos lleva a la revisión y análisis de dos grandes fuentes de información. La primera dice relación con la base de datos que cada una de las municipalidades maneja respecto a los permisos de circulación vehicular que otorgan cada año, y que además es resumida por el Instituto Nacional de Estadísticas INE en boletines anuales. La segunda es la base de datos generada en el proceso de plantas de Revisión Técnica, administrada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Otro antecedente importante es la consideración de las diferencias tecnológicas entre cada una de las categorías y el tipo de combustible que utilizan. En especial aquellas que indican diferencias entre posesión o no de convertidor catalítico en los vehículos livianos gasolineros y las diferencias de norma de emisión que cumplen los distintos vehículos pesados de transporte público de pasajeros y también camiones de carga con combustible diesel, que en definitiva son caracterizados según su antigüedad.

Para el caso de los buses de transporte público, en este estudio, se consideraron tres estándares para diferenciar su nivel de emisiones. Los Buses Tipo VTT (vehículos con tecnología tradicional) corresponden a la porción de la flota más antigua cuyos vehículos fueron ingresados al país con anterioridad al año 1994 y, por lo tanto, no estaban sujetos a ninguna norma de emisión particular. Los Buses Tipo 1 corresponden a la porción de la flota cuyos vehículos fueron ingresados al país entre los años 1995 y 1998 (cumpliendo norma de emisión EURO I) y por último los Buses Tipo 2 corresponden a la porción de la flota cuyos vehículos fueron ingresados a partir del año 1999 (cumpliendo norma de emisión EURO II)

#### Expansión temporal de flujos vehiculares (PF<sub>k</sub>)

Para poder calcular emisiones a lo largo de todo el día y todo el año, es decir, llegar a estimar las emisiones anuales, es necesaria una expansión del flujo vehicular entregado por los modelos de transporte, al menos a todo el día. Los modelos de transporte entregan solamente evaluaciones o asignaciones de flujos para ciertas horas específicas de modelación, generalmente un horario de punta y otro fuera de punta. Entonces, como el modelo de emisiones requiere calcular emisiones en un período continuo de tiempo, es necesario extrapolar estas asignaciones a todo el día y a todo el año, para lo cual se debe contar con perfiles de flujos diarios que caractericen el comportamiento a lo largo de los días y semanas característicos. En este sentido, los conteos continuos de flujos entregan la información relevante para su obtención.

Así, en la Figura 10, el flujo modelado está representado por la expresión “F<sub>kj</sub>”, mientras que el factor de extrapolación denominado “perfil de flujo” o “PF<sub>jk (hora)</sub>” permite entonces expandir este flujo a cualquier otra hora del día.

La siguiente figura muestra el comportamiento del flujo vehicular a lo largo del día y la semana, para el promedio de categorías vehiculares que circulan por la ciudad. Al modelo de emisiones

vehiculares MODEM II se le ingresaron perfiles temporales específicos por tipo de vehículo (vehículos particulares, vehículos comerciales, taxis colectivos, buses urbanos, buses rurales e interurbanos, camiones livianos y medianos, y camiones pesados). Estos antecedentes serán obtenidos del procesamiento de la información de la campaña de conteos vehiculares en terreno. La siguiente figura muestra un ejemplo de perfiles diarios normalizados para un tipo de vehículo en un punto de conteo del área de estudio.

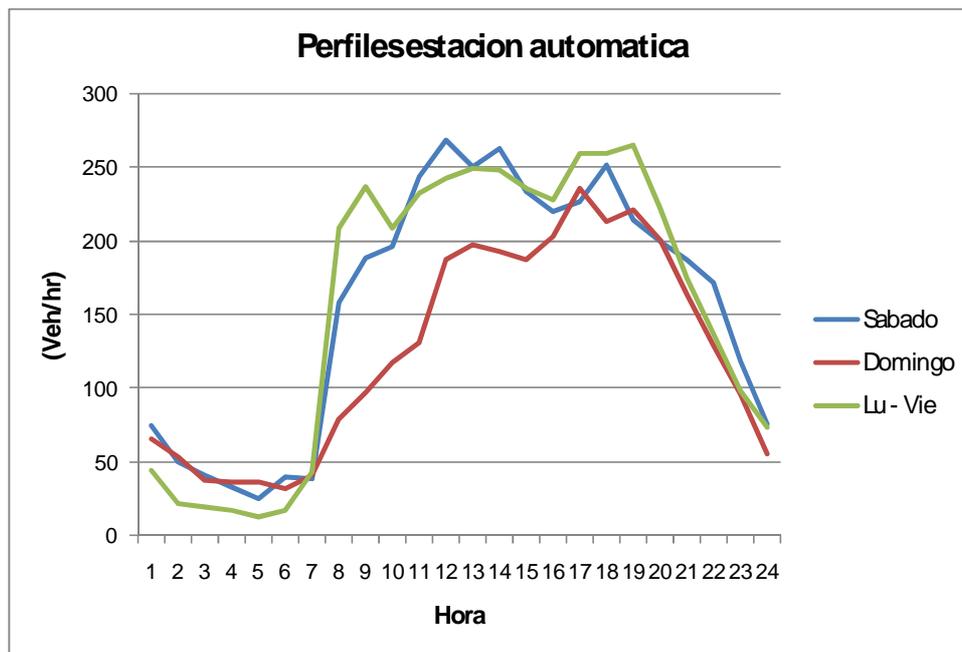


Figura 11: Perfil semanal en punto de conteo.

#### Factores de emisión (FE(v)<sub>ik</sub>)

Paralelo a la caracterización y expansión de flujos, composiciones vehiculares y todos aquellos aspectos que tienen que ver con la descripción y cuantificación del nivel de actividad de las fuentes móviles en ruta, es necesario incorporar al proceso de cálculo el nivel de emisión de contaminantes atmosféricos generados por las diferentes categorías vehiculares existentes, lo que se conoce como la tasa de emisión másica por unidad de desplazamiento o “factores de emisión”. Estos tienen en general la unidad de gramos por kilómetro recorrido y dependen, en su mayoría, de la velocidad media de circulación.

Como el factor de emisión “FE(v)<sub>ik</sub>” depende de la velocidad, esta última puede ser obtenida directamente desde el modelo de transporte, de datos provenientes de la calibración del modelo o bien mediante el empleo de técnicas específicas para estos fines. En términos generales dependiendo del modelo de transporte, MODEM II puede desarrollar sus propios cálculos mediante la incorporación de funciones flujo demora, para lo cual será necesario incorporar a MODEM II los parámetros calibrados para dichas funciones o bien trabajar de manera directa

con velocidades discretas entregadas por el modelo principalmente (velocidad de horario libre, punta y fuera de punta). En este caso se trabajará con velocidades medidas en terreno en las horas punta y fuera de punta.

#### Resolución Espacial de las emisiones

Uno de los propósitos de los inventarios es alimentar el modelo de dispersión, por lo tanto, se debe considerar el tipo de información de entrada que requiere el modelo señalado. Se adoptará una metodología del tipo arco que permita generar el inventario con un nivel de detalle de las emisiones a nivel de cada arco incluido en el análisis y generando de esta forma el formato y nivel de desagregación requerido para la modelación.

### 4.1.10 Metodología de cálculo de emisiones evaporativas

#### 4.1.10.1 Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido

En el caso de las running losses, por tratarse de pérdidas durante el recorrido del vehículo, es decir, en el trayecto recorrido sobre los arcos de la red vial, éstas se incluyen como cualquier otro contaminante en el cálculo de las emisiones totales, por lo que se consideran como emisiones de arco, es decir, bajo la metodología denominada tipo arco. Esta metodología hace diferencia según el grado de temperatura del motor, es decir, se denomina “hot running losses” cuando la temperatura del agua refrigerante del motor se encuentra sobre los 70°C y “warm running losses” cuando se encuentra por debajo de este valor. La expresión genérica para el cálculo por arco es:

$$E_{evapRL_{kj}} = \sum (FE_{evapRL_k} \cdot F_{kj} \times L_j) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- $E_{evapRL_{kj}}$  : emisiones evaporativas totales debidas al recorrido diario (running losses) de la categoría k por arco de la red vial j [gr/hr]
- $FE_{evapRL_k}$  : factor de emisión para emisiones evaporativas debidas al recorrido diario (hot running losses o warm running losses según corresponda) de la categoría k en estudio [gr/km]
- $F_{kj}$  : flujo de vehículos de la categoría k en el arco j evaluado.
- $L_j$  : longitud del arco j [km]

#### 4.1.10.2 Emisiones evaporativas durante el día (diurnal)

Las emisiones evaporativas durante el día (diurnal), se asocian a las variaciones de temperatura naturales que se presentan durante el día. La expresión de cálculo de emisiones totales diarias se presenta a continuación:

$$E_{evapD_k} = N_{v_k} \cdot FE_{evapD_k} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$E_{evapD_k}$  : Emisiones evaporativas totales debidas a las variaciones naturales de temperatura (diurnal) de la categoría  $k$ , en el área de estudio [gr/día]

$N_{v_k}$  : Número de vehículos de la categoría  $k$  en el área de estudio.

$FE_{evapD_k}$ : Factor de emisión para emisiones diarias debidas a cambios en la temperatura ambiente (diurnal) correspondiente a la categoría  $k$  [gr/día]

El número de vehículos  $N_{v_k}$ , se obtiene a partir de la información entregada por los municipios referentes a los permisos de circulación para el año 2006.

#### 4.1.10.3 Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak)

Las emisiones por detenciones en caliente (hot soak) se originan cuando el motor del vehículo es apagado (posterior a haber efectuado un recorrido), en donde el calor remanente calienta las líneas de combustible que ya no está fluyendo produciendo emisiones evaporativas. Estas emisiones pueden dividirse en “hot soak” cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado está por sobre los 70°C y en “warm soak” cuando la temperatura es menor a 70°C.

Al igual que para las emisiones durante el día, para las detenciones en caliente se considera la población de vehículos de acuerdo a la información entregada por los municipios.

La expresión de cálculo de emisiones totales diarias se presenta a continuación:

$$E_{evapHS_k} = N_{v_k} \cdot N_{vd_k} \cdot FE_{evapHS_k} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$E_{evapHS_k}$  : Emisiones evaporativas totales debidas a las detenciones en caliente (hot o warm soak según corresponda) de la categoría  $k$ , en el área de estudio expresadas en [gr/día]

$N_{v_k}$  : Número de vehículos de la categoría  $k$  en el área de estudio.

$N_{vd_k}$  : Número de viajes diarios promedio realizado por la categoría  $k$ .

$FE_{evapHS_k}$  : Factor de emisión para emisiones provenientes de las detenciones en caliente (hot o warm soak) de la categoría  $k$  [gr/detención]

#### 4.1.11 Metodología de cálculo de emisiones por partidas en frío

Las emisiones por partidas en frío se asocian a las emisiones producidas en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual la conducción se realiza en condiciones de temperatura de motor inferiores a las normales de diseño. Estas emisiones se destacan aún más cuando se estiman emisiones en ciudades donde el largo del viaje promedio es corto y las temperaturas son bajas.

La metodología de cálculo para este tipo de emisiones se basa en la fórmula genérica mostrada a continuación:

$$E_{i,j,k,m} = E_{cal\ ijkm} * (e_{frio}/e_{cal})_{jk} * (T_m) * F_{viaje} * (T_m, LV_k) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- $E_{ijkm}$  : Emisión de la comuna i, para el contaminante j, para la categoría de vehículo k, para el mes m, en Ton del contaminante/mes
- $E_{CALijkm}$  : Emisiones Calculadas con la metodología de arcos (emisiones en caliente) para la comuna i, contaminante j, vehículo k, en el mes m, en Ton/mes
- $(e_{frio}/e_{cal})_{jk}$  : Razón de emisiones entre motor frío y motor caliente para el contaminante j y vehículo k (adimensional).
- $F_{viaje}$  : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de  $T_m$  y  $L_v$
- $T_m$  : Temperatura promedio del mes m
- $LV_k$  : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k

La ecuación siguiente calcula efectivamente las emisiones en frío asociadas al tramo en que el vehículo transita con motor frío. La ecuación siguiente muestra el cálculo de las emisiones en caliente que habían sido calculadas para el tramo frío. Por lo tanto, éstas tendrán que ser restadas en el sistema de las calientes originales calculadas en el MODEM II antes que se incorporaren este tipo de emisiones.

$$E_{ijkm} = E_{cal,ijkm} \times F_{viaje} (T_m, LV_k) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- $E_{ijkm}$  : Emisión de la comuna i, para el contaminante j, para la categoría de vehículo k, para el mes m, en Ton del contaminante/mes
- $E_{CAL,ijkm}$  : Emisiones calculadas con la metodología de arcos (emisiones en caliente) para la comuna i, contaminante j, vehículo k, en el mes m, en Ton/mes
- $F_{viaje}$  : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de  $T_m$  y  $L_v$
- $T_m$  : Temperatura promedio del mes m
- $LV_k$  : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k

En las ecuaciones anteriores se hace referencia a dos parámetros importantes. Uno de ellos es la relación “ $e_{frio}/e_{cal}$ ”, correspondiente a la razón de emisiones en frío sobre las de tipo caliente. Este factor se aplica a la fracción del viaje en frío y depende de la temperatura ambiental, rangos de velocidad y del contaminante considerado. Las expresiones utilizadas para el cálculo de esta razón se muestran en la Ecuación 9. El otro parámetro importante corresponde al “ $F_{viaje}$ ” o

fracción del viaje que se considera realizada en frío. Este depende de la temperatura y del modo de conducción, en particular del largo del viaje promedio asignado y está dado por la siguiente ecuación:

$$F_{viaje} = 0.6474 - 0.02545 * LV_k - (0.00975 - 0.000384 * LV_k) * T_m \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$F_{viaje}$  : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de  $T_m$  y  $LV_k$ .

$LV_k$  : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k.

$T_m$  : Temperatura promedio del mes m.

**Tabla 19. Razón de Emisión  $e_{frío}/e_{cal}$  por partidas en frío**

Vehículos livianos de pasajeros a gasolina convencionales	Temperatura (°C)		$e_{frío} / e_{cal}$		
	CO	-10 : 30		3,7 - 0,09 * ta	
NOx	-10 : 30		1,14 - 0,006 * ta		
HCT	-10 : 30		2,8 - 0,06 *ta		
Vehículos livianos de pasajeros a gasolina Euro I, 1.4 2.0 litros	Velocidad	T°C	$e_{frío} / e_{cal} = AxV + BxT^o + C$		
			A	B	C
CO	5-25	-20 : 15	0.121	-0.146	3.766
	26-45	-20 : 15	0.299	-0.286	-0.58
	5-45	>15	0.0503	-0.363	8.604
NOx	5-25	>-20	0.0458	0.00747	0.764
	26-45	>-20	0.0484	0.028	0.685
HCT	5-45	-20 : 15	0.0157	-0.207	7.009
	26-45	-20 : 15	0.282	-0.338	4.098
	5-45	>15	0.0476	-0.477	13.44

Fuente.: COPERT<sup>6</sup>, 2001.

#### 4.1.12 Metodología de cálculo de emisiones proveniente del desgaste de frenos y neumáticos.

La metodología utilizada para calcular las emisiones de material particulado producto del desgaste de frenos y de neumáticos se resume en las siguientes ecuaciones:

$$MP_{frenos} = 0.0128 * PSBRK \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde, PSBRK es la fracción del particulado menor o igual al punto de corte involucrado. Para el caso de MP10 corresponde al 98% (0.98).

$$MP_{neumáticos} = 0.002 * PSTIRE * N^o_{neum} \quad \text{Ecuación 11}$$

<sup>6</sup> Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1), 2001.

Donde *PSTIRE* corresponde a la fracción del particulado menor o igual al punto de corte involucrado que para el caso de MP10 corresponde al 100% y el *N°neum* corresponde al número de neumáticos promedio utilizado por la categoría evaluada.

#### 4.1.13 Metodología de cálculo de emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas

A continuación se describe la metodología de estimación de emisiones proveniente de la resuspensión de material particulado sobre calles pavimentadas, metodología presentada en la última edición del AP-42, correspondiente a diciembre de 2003<sup>7</sup> y actualizada en noviembre del año 2006.

$$Epa = Ed(1 - P/4N) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Con, } Ed = e * F * L \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

Epa : tasa de emisión anual (o del período bajo estudio) de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/año].

Ed : tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/día].

p : días con precipitaciones mayores de 0.254 mm. durante el periodo considerado.

N : número de días del periodo de estudio (365 en el caso anual)

e : factor de emisión de partículas por calles [g/vehículo-km].

F : flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : longitud del tramo [km].

#### 4.1.14 Factores de emisión de fuentes móviles en ruta

Las emisiones vehiculares dependen de múltiples variables, razón por la cual, seleccionar factores de emisión adecuados para una ciudad es sin duda una tarea compleja. En el presente estudio los desarrollos de más de una década disponibles en la Región Metropolitana permiten abordar de mejor forma esta tarea.

Idealmente, y sobre todo en ciudades donde el sector transporte tiene un alto impacto en la contaminación atmosférica, es recomendable emprender un esfuerzo para realizar mediciones a nivel local, dado que los factores de emisión que se usan internacionalmente no representan adecuadamente aquellos elementos propios de cada ciudad y que pueden ser determinantes en los niveles de emisión. Por otra parte, los factores de emisión determinados en forma experimental en Chile, son representativos de ciclos de marcha del Gran Santiago y, por lo tanto, también podrían experimentar diferencias en otras ciudades del país. Ejemplificando situaciones que determinan la diferencia entre emisiones de dos tipos de vehículos de características tecnológicas

---

<sup>7</sup> <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

similares, basta mencionar que los niveles de emisión de dichos vehículos experimentarán diferencias explicadas por su estado de mantenimiento, la forma de operación, etc.

Las emisiones vehiculares tienen su origen en tres dimensiones diferentes: tecnología vehicular, forma de uso de la tecnología (mantención, patrón de conducción, etc) y combustible usado (tipo y calidad). Los modelos de factores de emisión buscan identificar las variables que impactan en las emisiones y cuantificarlas de forma tal que los usuarios puedan estimar factores de emisión que son producto de una serie de parámetros de entrada. Algunas de las variables que se deben considerar a la hora de seleccionar factores de emisión adecuados se presentan a continuación:

- Tecnología (vehículos con o sin convertidor catalítico, tipos de certificación de emisiones, sistemas de control, etc)
- Ciclo de Marcha: Se refiere a la forma de circulación en cada ciudad, considera las velocidades medias, detenciones, aceleraciones, partidas en frío, etc)
- Antigüedad del parque vehicular
- Kilometraje promedio anual por categoría
- Estado de Mantención (existencia de revisiones técnicas obligatorias, por ejemplo)
- Calidad de los combustibles: Composición, contenidos de azufre, plomo, benceno, etc.
- Aspectos meteorológicos y geográficos.
- Otros: Sistema de transmisión, aire acondicionado, etc.

El parque automotor chileno, y por consiguiente el de las ciudades objeto de este estudio, es mucho más parecido al europeo y japonés que al de EUA, por lo tanto, se han de considerar principalmente los factores de emisión propuestos en el estudio europeo COPERT III para la estimación de las emisiones vehiculares en caliente, emisiones evaporativas y emisiones por partidas en frío, considerando los factores de emisión locales que se han desarrollado en nuestro país y los factores de corrección que se puedan calcular por mejoras en las características de los combustibles y ajustes por factores de deterioro especialmente en lo que respecta al deterioro de los catalíticos.

El modelo COPERT tiene la ventaja de que en su documentación deja conocer las ecuaciones que relacionan el tipo de vehículo y la velocidad promedio con el factor de emisión, siendo además la base de todos los estudios realizados a la fecha en Chile.

Actualmente se han generado curvas de emisiones para todas las categorías vehiculares, teniendo como referencia el estudio “Actualización de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana”<sup>8</sup>, estudio “Actualización del Modelo de Cálculo de Emisiones Vehiculares”<sup>9</sup>, “Hot Emission Model for Mobile Sources: Application to the Metropolitan Region of the City of Santiago, Chile”<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> Conama RM – Diciembre 2000

<sup>9</sup> Sectra – Enero 2002

<sup>10</sup> Corvalan&Osses, Urrutia “Journal of the Air Waste Management Association (ISSN 1047-3289), 2002

Para el caso de las emisiones de material particulado provenientes de la resuspensión de polvo desde calles pavimentadas y desgaste de frenos y neumáticos, los factores de emisión provienen de las metodologías indicadas por el AP42 de la EPA, metodologías que han sido aplicadas en los inventarios de emisiones de la Región Metropolitana en estudios de CONAMA RM<sup>11</sup>. Respecto a los factores de especiación de material particulado en MP10 y MP2,5, estos se basan en los perfiles de especiación de la última actualización del SPECIATE (versión 3.2) de la EPA.

Cabe mencionar que CONAMA RM y SECTRA están ejecutando en la actualidad estudios asociados a la generación de nuevos factores de emisiones locales, tanto de vehículos livianos como de transporte público y vehículos pesados. Si durante la ejecución del presente estudio se contara con los nuevos factores de emisión no habría inconveniente en su incorporación.

### Factores de emisión de los tipos de descargas considerados en el inventario

A continuación se presentan una serie de tablas con los factores de emisión utilizados en este estudio para los siguientes elementos: (MP10) – (MP2,5) – (CO) – (HCT) – (NOx) – (SO2) – (CO2) – (CH4) – (N2O) – (NH3) – y Consumo de Combustible (CC), cada uno de ellos considerados para cada categoría de vehículos asociados a distintos tipos de emisión según corresponda.

### Factores para emisiones evaporativas

La tabla siguiente muestra los factores de emisión utilizados para la estimación de emisiones evaporativas.

**Tabla 20. Factores de emisión para estimar emisiones evaporativas en vehículos de ciclo Otto (basados en COPERT II)**

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivo canister)	Vehículos controlados (dotados con canister)
Diurnal	[gr/día]	$9,1 * \exp(0,0158 * (RVP - 61,2) + 0,0574 * (t_{\min} - 22,5) + 0,0614 * (t_{\text{inc}} - 11,7))$	0,2 * (no controlado)
Warm soak	[gr/detención]	$\exp(-1,644 + 0,01993 * RVP + 0,07521)$	$0,2 * \exp(-2,41 + 0,02302 * RVP + 0,09408 * t_a)$
Hot soak	[gr/detención]	$3,0042 * \exp(0,02 * RVP)$	$0,5 * 0,3 * \exp(-2,41 + 0,02302 * RVP + 0,09408 * t_a)$
Hot soak y Warm soak (vehículos con inyección de combustible)	[gr/detención]	0,7	No aplicable
Warm Running losses	[gr/km]	$0,1 * \exp(-5,967 + 0,04259 * RVP + 0,1773 * t_a)$	0,1 * (no controlado)
Hot Running losses	[gr/km]	$0,136 * \exp(-5,967 + 0,04259 * RVP + 0,1773 * t_a)$	0,1 * (no controlado)

Notas:  $t_a$  : temperatura ambiente  
 $t_{\text{inc}}$  : incremento de temperatura ambiente a lo largo del día  
 $t_{\min}$  : temperatura ambiente mínima  
 RVP: presión de vapor Reid del combustible

<sup>11</sup> “Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana”, 2000. “Modelo de Dispersión de Contaminantes para la Región Metropolitana”, 2004.

## Factores de Emisión de Polvo de Calles Pavimentadas

Los factores de emisión de polvo desde calles pavimentadas, ecuación de cálculo de emisiones incorporadas a MODEM II, corresponden a las versiones de noviembre del año 2006 del AP-42 de la EPA relativo a fuentes misceláneas de emisiones de polvo fugitivo desde calles pavimentadas<sup>12</sup>.

El factor de emisión se puede obtener de la siguiente forma:

$$e = k \left( \frac{Sp}{2} \right)^{0,65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1,5} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Sp : contenido de material fino, fracción de polvo de diámetro  $\leq 75$  micrones [g/m<sup>2</sup>].

k : constante, depende del tamaño de partícula a considerar [gr/VKT].

W : peso promedio de la categoría de vehículo en movimiento [ton].

El valor de la constante  $k$  varía según el tamaño de partícula como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 21. Valores de k, según tamaño de partícula**

Tamaño de partícula	Valores de k en [gr/VKT].
MP 2.5	0,66
MP 10	4,60
MP 15	5,50
MP 30*	24

\* Se asocia a PTS. Fte.: AP42.

Respecto a la carga de sedimentos de material fino de la superficie del camino, debido a la carencia de estudios sobre el tema en la mayoría de las ciudades de Chile, se considera normalmente los valores por defecto del AP-42 Capítulo 13, Cuadro 13.2.1-3, valores que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 22. Carga de finos**

Flujo vehicular (v/día)	$\leq 500$	$> 500 \leq 10.000$	$> 10.000$
Carga de finos (g/m <sup>2</sup> )	0,6	0,11*	0,03

\* En AP-42 se encuentra separado en flujos entre 500-5000 y 5000-10000, con valores de 0,2 y 0,06 respectivamente.

Fuente: AP42.

Para una correcta caracterización del contenido de *silt* en los caminos, sitios eriazos y pilas de acopio presentes en el área de estudio, se realizó una campaña de toma de muestras de polvo y un posterior análisis para determinar el contenido de silt y humedad en los casos en que la metodología lo requiera.

<sup>12</sup> <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

## **Campaña de toma de muestras de polvo.**

Durante el mes de noviembre se realizó una campaña de toma de muestras de polvo en 42 puntos, distribuidos en:

- Calles pavimentadas
- Calles no pavimentadas
- Sitios eriazos
- Calles al interior de zona industrial

El procedimiento de recolección de muestras de polvo aplicado es distinto para cada situación, en el caso de:

**Muestreo de polvo de calles pavimentadas**, el método empleado para dicho muestreo es el aspirado del polvo, en un área definida, conteniendo la muestra en bolsas desechables herméticas.

**Muestreo de polvo de calles no pavimentadas**, el método empleado para dicho muestreo es el barrido superficial de un área determinada, para posteriormente ser depositada en una bolsa hermética.

**Muestreo pilas de acopio**, el método empleado para este muestreo, es la extracción de una porción de la pila a través de una pala y luego ser depositada en una bolsa hermética. La cantidad de muestras va a depender del tamaño de la pila.

**Muestreo sitios eriazos**, el método empleado para dicho muestreo es el barrido superficial de un área determinada para posteriormente ser depositada en una bolsa hermética.

## **Equipos y materiales**

- Marco metálico para delimitar el área de muestreo.
- Brocha para recolectar polvo desde la superficie
- Pala plástica para recolectar polvo
- Aspiradora
- Bolsas para aspiradora.
- Bolsas con cierre hermético para guardar muestras de polvo
- Etiquetas para identificar bolsas con muestras de polvo
- Formulario para identificación de las bolsas con muestras.
- Artículos de seguridad (conos, chaquetas reflectantes, etc).

El polvo recolectado es el que se encuentra sobre la superficie al interior de un marco (área conocida), para calles y sitios eriazos. Si la cantidad de polvo recolectada es inferior a la

requerida para el análisis, se repetirá la operación las veces necesarias, dejando constancia del número de repeticiones y el área sobre la cual se recolecto la muestra.

Las siguientes imágenes muestran la ubicación de los puntos de toma de muestra seleccionados en el área de estudio.

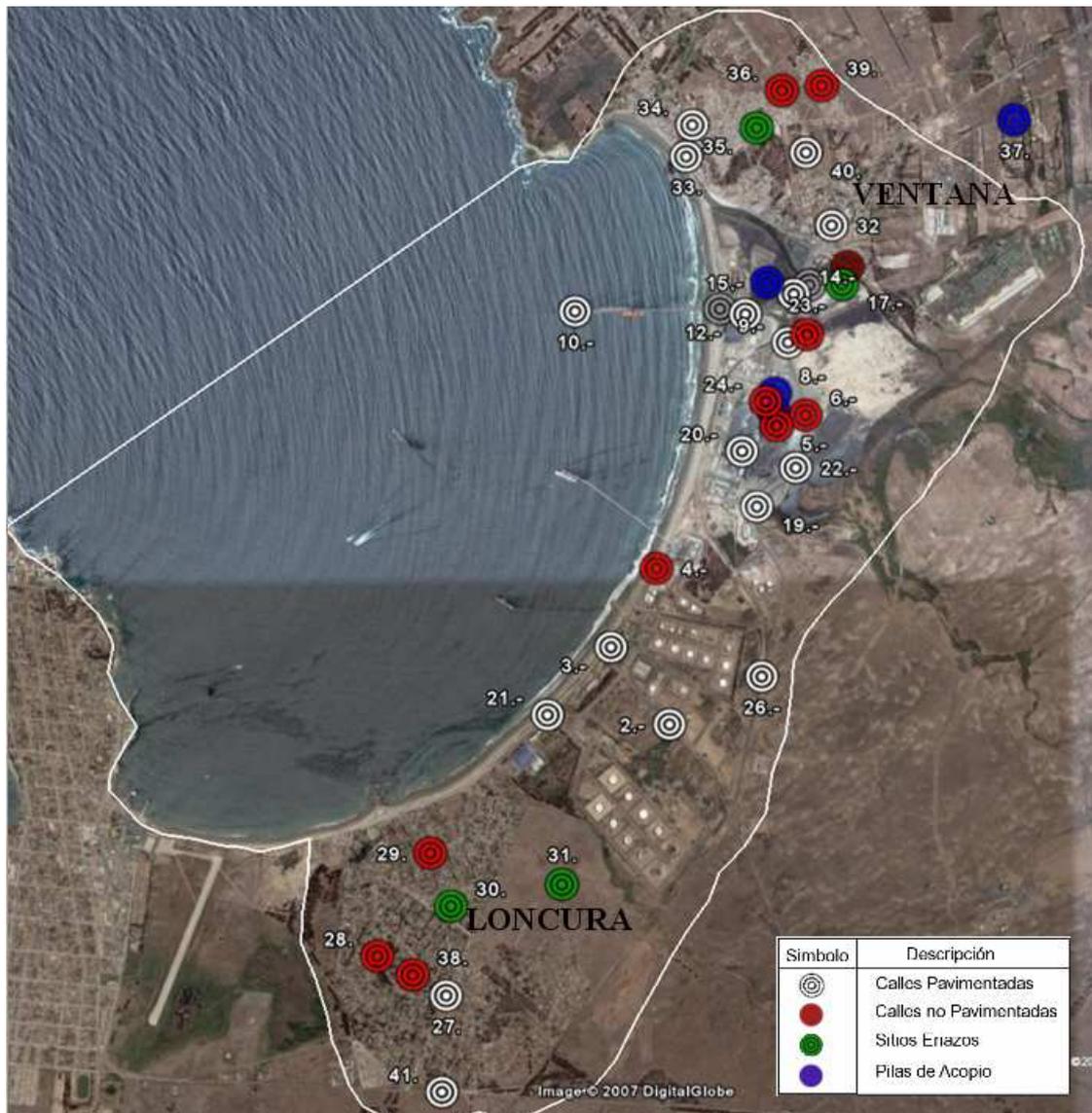
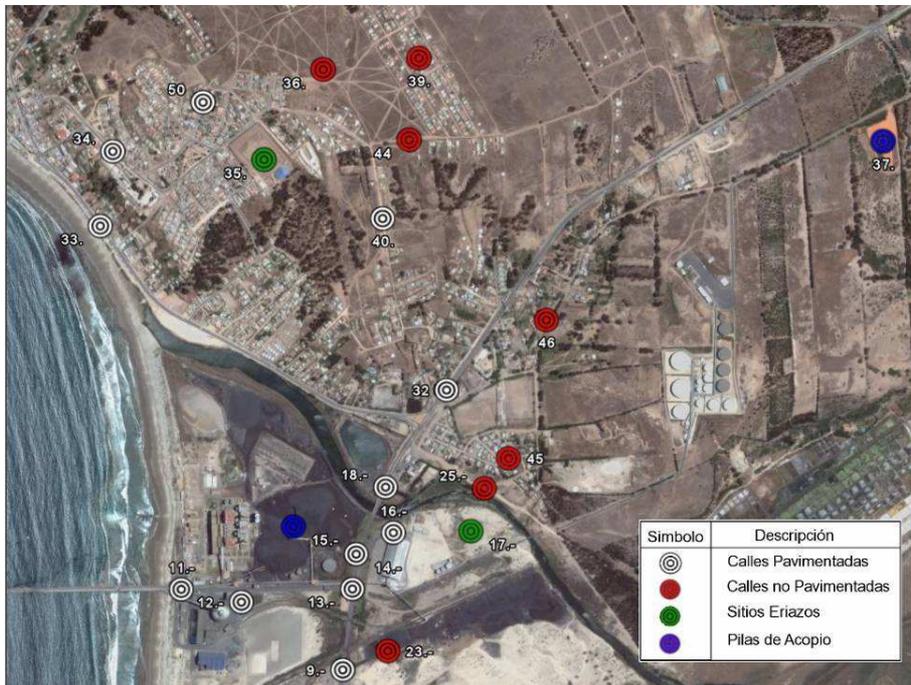
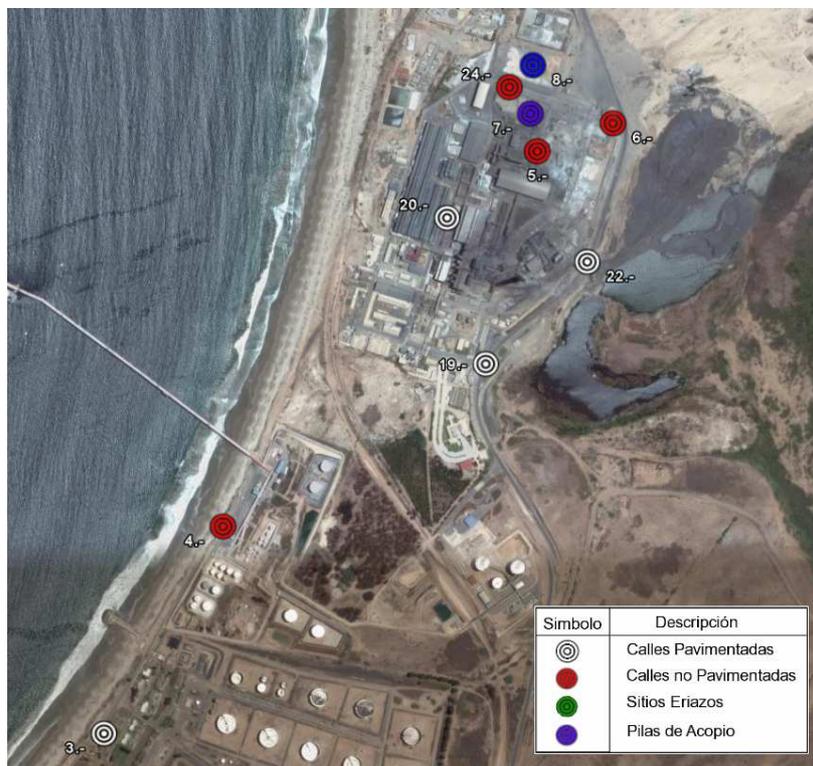


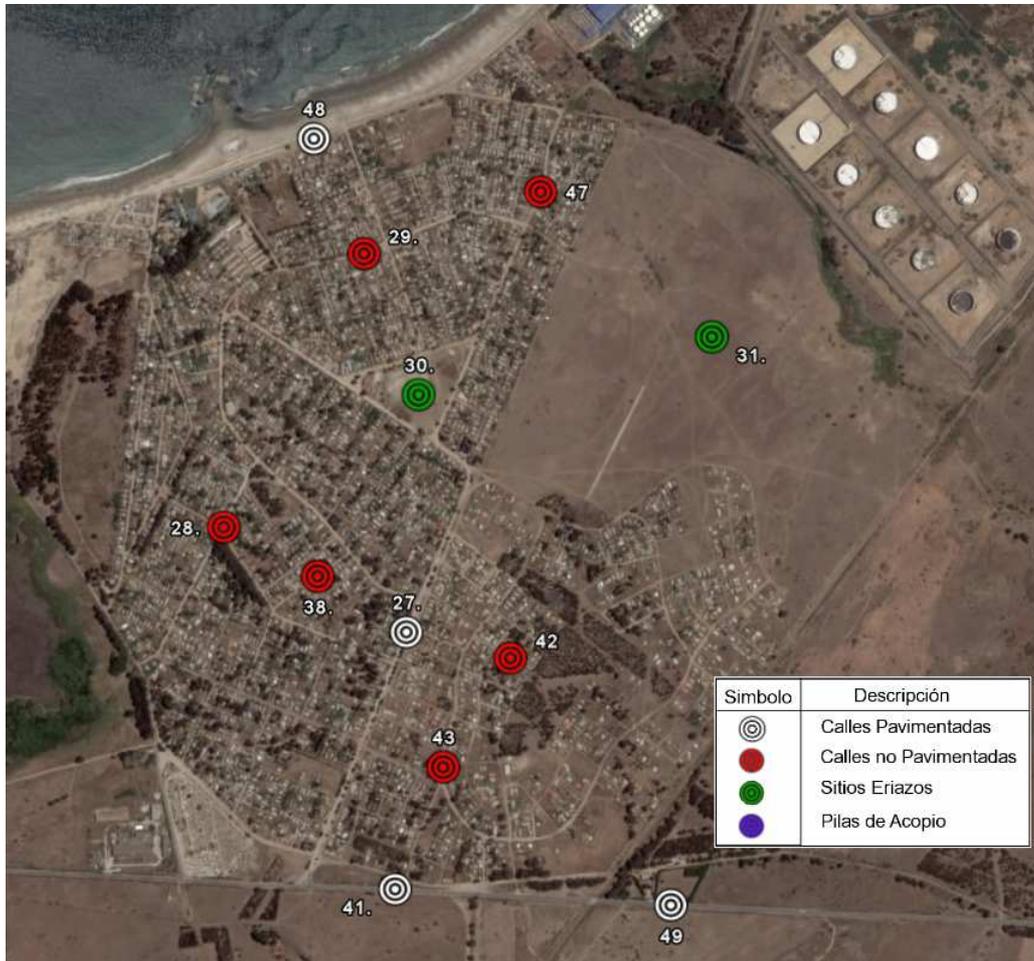
Figura 12: Puntos de toma de muestra de polvo.



**Figura 13: Puntos de toma de muestra de polvo sector Ventanas**



**Figura 14: Puntos de toma de muestra de polvo Sector Industrial**



**Figura 15: Puntos de toma de muestra de polvo Sector Loncura**

La siguiente tabla entrega una descripción de cada punto seleccionado para toma de muestras.

**Tabla 23. Detalle de puntos de muestreo de polvo.**

<b>Id_tipo</b>	<b>Calle</b>	<b>Detalle</b>
Calle pavim	Camino El Bato	Camino de entrada de camiones a Oxiquim, Copec y Enap
Calle pavim	Camino El Bato (intersección con Camino Costero)	Bifurcación Oxiquim/Enap – Copec
Calle pavim	Ruta F-30	Entrada y salida camiones - Catamuctun
Calle pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Sitio de embarque N° 5 (mayor movimiento de cargas) - Puerto Ventanas
Calle pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Calle interna (entrada al muelle) - Puerto Ventanas
Calle pavim	Ruta F-30	Entrada y salida de camiones - Aes Gener
Calle pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Zona de acopio concentrados - Minera Andina
Calle pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Zona entrada Planta Almacenamiento de Granos – Puerto Ventanas
Calle pavim	Ruta F-30	Carretera F-30 frente a entrada vehicular - Codelco
Calle pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Calle interna carga cátodo - Codelco
Calle pavim	Camino Costero	Ruta costera frente a COPEC
Calle pavim	Ruta F-30	Entrada al botadero de escoria (Carretera F-30) – Codelco
Calle pavim	Ruta F-30	Carretera F-30, frente a estanques de ENAP.
Calle pavim	Av el Bosque (entre Av Brisas Marinas y Cardenales)	Avenida el Bosque (Loncura)
Calle pavim	Ruta F-30 (antes del cruce a Av Pedro Almirante Soler, de norte a sur)	Ruta F-30 E
Calle pavim	Av Pedro Almirante Soler (entre Italia y el mirador)	Avenida Pedro Aldunate Solar (costanera Ventanas)
Calle pavim	Bellavista (entre Italia y La Torre)	Calle Bellavista (Ventanas)
Calle pavim	Calle Ventanas	Calle en Ventana (con pavimento) En google sale de tierra pero está pavimentada.
Calle pavim	Ruta F-30	Carretera en Loncura
Calle pavim	Ruta F-30	Salida zona industrial (Carretera F-30 hacia el norte)
Calle pavim	Ruta F-30	Zona ingreso vehicular-Puerto Ventanas
Calle pavim	Ruta F-30	Ruta F-30 entrada a zona industrial por el sur
Calle pavim	Camino Costero (entre Pomabamba y Calle F)	Calle pavim. Costanera, Loncura.
Calle pavim	Ruta F-30	Carretera, Loncura
Calle pavim	Union (entre Teniente Merino y Pje Corvi)	Calle pavim. Flujo medio, Ventana.
Calle no pavim	Camino Costero	Ruta costera entrada Oxiquim
Calle no pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Zona Operación camiones internos acopio circulantes – Codelco
Calle no pavim	A un costado de la Ruta F-30	Zona entrada y salida camiones - Codelco
Calle no pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Calle entrada/salida camiones con carbón - Catamuctun
Calle no pavim	Camino publico a las Salinas	Ruta entrada Bodega Combustibles – Puerto Ventanas
Calle no pavim	SECTOR INDUSTRIAL	Calle entrada interna para camiones externos de concentrado y cátodos
Calle no pavim	Av Los Alamos (entre Los Acacios y Los Maitenes)	Avenida Los Alamos (Loncura)
Calle no pavim	Caja-Cay (entre Nogales y Pomabamba)	Calle Caja-Cay (Loncura)

Calle no pavim	Calle Ventanas sector alto	Caminos en Ventanas (Sector alto). Tomar muestra "en" la calle o huella, no fuera de ella.
Calle no pavim	Pje Los pinos (entre Av Brisas Marinas y Los Eucaliptus)	Calle local, sin pavim, en Loncura
Calle no pavim	Venecia (entre Olguin y Espiñeira)	Calle local, sin pavim, en Ventana
Calle no pavim	Los Peumos (entre Las Raices y Av Las Brisas)	Calle tierra, flujo bajo, Loncura
Calle no pavim	Av Las Brisas (entre Ls Maitenes y Tricahue)	Calle tierra flujo medio, Loncura
Calle no pavim	Calle Ventanas	Calle tierra flujo medio, Ventanas
Calle no pavim	Pasaje 1 (entre 21 de Mayo y calle La Plaza)	Calle tierra flujo bajo, La Greda
Calle no pavim	Camino el Bosque	Calle tierra flujo medio, La Greda
Calle no pavim	Yungay (entre Caja-Cay y Huaras)	Calle tierra flujo medio, Loncura
Pila acopio	SECTOR INDUSTRIAL	Pilas de Concentrados - Codelco
Pila acopio	SECTOR INDUSTRIAL	Pilas de Fundentes cálcicos y silícicos - Codelco
Pila acopio	SECTOR INDUSTRIAL	Pilas de carbón - Aes Gener
Pila acopio	Pila de Bauxita	Muestra Silt Bauxita
Sitio eriazo	SECTOR INDUSTRIAL	Sitio eriazo Planta Almacenamiento de Granos - Puerto Ventanas
Sitio eriazo	Loncura	Sitio eriazo entre estanques y Loncura.
Sitio eriazo	Bello Horizonte	Cancha en Ventanas, en calle Bello Horizonte c/ Campos de Deporte
Sitio eriazo	Entre Chimbote y Yungay	Sitio de estacionamiento de buses (Loncura)

Las siguientes imágenes ilustran las actividades realizadas en distintos puntos de toma de muestra de polvo durante la campaña.



Figura 16: Toma de muestra de polvo en distintos puntos.

## Resultados de muestras de polvo

La siguiente tabla entrega el contenido promedio de Silt obtenido en los análisis de laboratorio realizados.

**Tabla 24. Contenido de Silt promedio (g/mt<sup>2</sup>)**

Tipo	Sector	(g/mt <sup>2</sup> )
Calle pavimentada	Carretera	0,18
	Industrial	14,13
	Loncura	1,62
	Ventana	2,33
Calle sin pavimentar	Industrial	271,29
	La Greda	103,15
	Loncura	138,43
	Ventana	134,15
Sitio Eriazo	Industrial	8,51
	Loncura	155,52

Los resultados muestran claramente una menor carga de Silt en carreteras y calles pavimentadas, donde el flujo vehicular es alto, lo que produce mayor resuspensión de polvo, y por tanto un efecto de “limpieza” de las vías. Las calles sin pavimentar y los sitios eriazos en tanto, muestran mayores contenidos de Silt debido a su composición.

Los resultados de los análisis de contenido de finos en las muestras de polvo recolectadas, se detallan en el Anexo 1.

## Factores de Especiación por Tamaño de Material Particulado

Respecto a la especiación de material particulado en MP10 y MP2,5, se consideran los perfiles de especiación del AP-42 de la EPA, valores que se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 25. Especiación de particulado para tubo de escape**

Tipo de Vehículo	MP10	MP2,5
Vehículos a diesel	100%	92%

Fuente: SPECIATE 3.2, EPA.

## Factores de emisión de fuentes móviles en ruta

**Tabla 26. Factores de Emisión para Vehículos Livianos de pasajeros y Taxis**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION PACIN III (gr/km)
Vehículos particulares livianos sin convertidor catalítico. (sin normas de emisión)  Taxis sin convertidor catalítico (sin normas de emisión)	CO	$0.0203 * V^2 - 2.2662 * V + 77.661$
	HCT	$11.589 * V^{-0.5595}$
	NO <sub>x</sub>	$9.5 * 10^{-6} * V^3 - 0.0016 * V^2 + 0.0738 * V + 1.2586$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	$3.31 * 10^{-5} * V^2 - 0.00573 * V + 0.268$
	N <sub>2</sub> O	0.005
	NH <sub>3</sub>	0.002
CC	$595.76 * V^{-0.534}$	
Vehículos particulares livianos con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior)  Taxis con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior)	CO	$28.844 * V^{-0.8384}$
	HCT	$1.1851 * V^{-0.616}$
	NO <sub>x</sub>	$1.1 * 10^{-6} * V^3 - 0.0001677 * V^2 + 0.0031795 * V + 0.4835758$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	$1.1176 * 10^{-5} * V^2 - 0.00196 * V + 0.099652$
	N <sub>2</sub> O	0.053
	NH <sub>3</sub>	0.070
CC	$552.25 * V^{-0.5486}$	
Vehículos particulares livianos otros <sup>13</sup> . (sin norma de emisión)	MP10	$(0.000058 * V^2 - 0.0086 * V + 0.45)$
	CO	$5.41301 * V^{-0.574}$
	HCT	$4.61 * V^{-0.937}$
	NO <sub>x</sub>	$0.000101 * V^2 - 0.014 * V + 0.918$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	$0.0000019 * V^2 - 0.1775 * V + 7.9936$
	N <sub>2</sub> O	0.027
	NH <sub>3</sub>	0.001
	CC	$0.014 * V^2 - 2.084 * V + 118.489$

<sup>13</sup> Corresponde a vehículos particulares a diesel

**Tabla 27. Factores de Emisión para Vehículos Livianos Comerciales**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION PACIN III (gr/km)
Vehículos livianos comerciales sin convertidor catalítico < 3.5 ton (sin normas de emisión)	CO	$0.01104*V^2-1.5132*V+57.789$
	HCT	$0.000677*V^2-0.1170*V+5.4734$
	NO <sub>x</sub>	$0.0179*V+1.9547$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.15
	N <sub>2</sub> O	0.006
	NH <sub>3</sub>	0.002
	CC	$0.0234*V^2-3.3718*V+195.96$
Vehículos livianos comerciales con convertidor catalítico < 3.5 ton, Tipo I (EURO I o superior)	CO	$0.0037*V^2-0.5215*V+19.127$
	HCT	$0.0000577*V^2-0.01047*V+0.5462$
	NO <sub>x</sub>	$0.0000755*V^2-0.009*V+0.666$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	$1.2969*10^{-5}*V^2-0.0021098*V+0.101995$
	N <sub>2</sub> O	0.053
	NH <sub>3</sub>	0.07
	CC	$0.0234*V^2-3.3718*V+195.96$
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton, Tipo I (sin normas de emisión)	MP10	$(0.000045*V^2-0.004885*V+0.1932)$
	CO	$0.000223*V^2-0.026*V+1.076$
	HCT	$0.0000175*V^2-0.00284*V+0.2162$
	NO <sub>x</sub>	$0.000241*V^2-0.03181*V+2.0247$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.005
	N <sub>2</sub> O	0.017
	NH <sub>3</sub>	0.001
CC	$0.0198*V^2-2.506*V+137.42$	
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton (EURO I o superior), Tipo II	MP10	$(0.00003015*V^2-0.00327295*V+0.12944)$
	CO	$0.00018286*V^2-0.02132*V+0.88232$
	HCT	$0.00001085*V^2-0.0017608*V+0.134044$
	NO <sub>x</sub>	$0.00020244*V^2-0.0267204*V+1.660254$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.005
	N <sub>2</sub> O	0.017
	NH <sub>3</sub>	0.001
CC	$0.0198*V^2-2.506*V+137.42$	

**Tabla 28. Factores de Emisión para Camiones Livianos**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION PACIN III (gr/km)
Camiones livianos Tipo I Convencionales <7.5 t (sin normas de emisión)	MP10	$4.5563 * V^{-0.707}$
	CO	$37.280 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.120 * V^{-0.8774}$
	NO <sub>x</sub>	$50.305 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0014 * V^2 - 0.1737 * V + 7.5506$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.085
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$
	Camiones livianos Tipo II < 7.5 ton (EURO I o superior)	MP10
CO		$18.64 * V^{-0.6945}$
HCT		$30.09 * V^{-0.8774}$
NO <sub>x</sub>		$35.2135 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00098 * V^2 - 0.12159 * V + 5.28542$
SO <sub>2</sub>		(1)
CO <sub>2</sub>		(2)
CH <sub>4</sub>		0.06375
N <sub>2</sub> O		0.03
NH <sub>3</sub>		0.003
CC		$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$
Camiones livianos Tipo III < 7.5 ton (EURO II o superior)		MP10
	CO	$14.912 * V^{-0.6945}$
	HCT	$19.6585 * V^{-0.8774}$
	NO <sub>x</sub>	$25.1525 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0007 * V^2 - 0.060795 * V + 3.7753$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.0595
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$
	Camiones livianos Tipo IV < 7.5 ton (EURO III o superior)	MP10
CO		$10.438 * V^{-0.6945}$
HCT		$14.7441 * V^{-0.8774}$
NO <sub>x</sub>		$17.60675 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00049 * V^2 - 0.060795 * V + 2.64271$
SO <sub>2</sub>		(1)
CO <sub>2</sub>		(2)
CH <sub>4</sub>		0.04165
N <sub>2</sub> O		0.03
NH <sub>3</sub>		0.003
CC		$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$

**Tabla 29. Factores de Emisión para Camiones Medianos**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION PACIN III (gr/km)
Camiones Medianos Tipo I 7.5 – 16 ton (sin normas de emisión)	MP10 CO HCT NO <sub>x</sub>  SO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O NH <sub>3</sub> CC	$9.6037 * V^{-0.7259}$ $37.28 * V^{-0.6945}$ $40.12 * V^{-0.8774}$ $92.584 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0006 * V^2 - 0.0941 * V + 7.7785$ (1) (2) 0.085 0.03 0.003 $1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo II 7.5 – 16 ton (EURO I o superior)	MP10 CO HCT NO <sub>x</sub>  SO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O NH <sub>3</sub> CC	$6.242405 * V^{-0.7259}$ $18.64 * V^{-0.6945}$ $30.09 * V^{-0.8774}$ $64.8088 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00042 * V^2 - 0.06587 * V + 5.44495$ (1) (2) 0.06375 0.03 0.003 $1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo III 7.5 – 16 ton (EURO II o superior)	MP10 CO HCT NO <sub>x</sub>  SO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O NH <sub>3</sub> CC	$3.84184 * V^{-0.7259}$ $14.912 * V^{-0.6945}$ $28.084 * V^{-0.8774}$ $46.292 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0003 * V^2 - 0.04705 * V + 3.88925$ (1) (2) 0.0595 0.03 0.003 $1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo IV 7.5 – 16 ton (EURO III o superior)	MP10 CO HCT NO <sub>x</sub>  SO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O NH <sub>3</sub> CC	$2.689036 * V^{-0.7259}$ $10.4384 * V^{-0.6945}$ $19.6588 * V^{-0.8774}$ $32.4044 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00021 * V^2 - 0.032935 * V + 2.722475$ (1) (2) 0.04165 0.03 0.003 $1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$

**Tabla 30. Factores de Emisión para Camiones Pesados**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION PACIN III (gr/km)
Camiones Pesados Tipo I convencionales (sin normas de emisión)	MP10	$10.933 * V^{-0.7054}$
	CO	$37.280 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.12 * V^{-0.8774}$
	NO <sub>x</sub>	$116.16 * V^{-0.5859}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.175
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo II (EURO I o superior)	MP10	$7.10645 * V^{-0.7054}$
	CO	$20.504 * V^{-0.6945}$
	HCT	$20.06 * V^{-0.8774}$
	NO <sub>x</sub>	$63.888 * V^{-0.5859}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.0875
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo III (EURO II o superior)	MP10	$2.73325 * V^{-0.7054}$
	CO	$16.776 * V^{-0.6945}$
	HCT	$18.054 * V^{-0.8774}$
	NO <sub>x</sub>	$46.464 * V^{-0.5859}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.07875
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo IV (EURO III o superior)	MP10	$1.913275 * V^{-0.7054}$
	CO	$11.7432 * V^{-0.6945}$
	HCT	$12.6378 * V^{-0.8774}$
	NO <sub>x</sub>	$32.5248 * V^{-0.5859}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.055125
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$

**Tabla 31. Factores de Emisión para Buses Transporte Público, Rurales, Particulares e Institucionales**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTORES EMISION PACIN III (gr/km)
Buses Transporte Público Convencionales (sin normas de emisión)	MP10	$12.09253 * V^{-0.7360}$
	CO	$59.003 * V^{-0.7447}$
	HCT	$43.647 * V^{-1.0301}$
	NO <sub>x</sub>	$89.174 * V^{-0.5185}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.175
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
CC	$864.1 * V^{-0.4318}$	
Buses Transporte Público EURO I	MP10	$5.109585 * V^{-0.7360}$
	CO	$29.5015 * V^{-0.7447}$
	HCT	$32.73525 * V^{-1.0301}$
	NO <sub>x</sub>	$62.4218 * V^{-0.5185}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.13125
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
CC	$1001.3 * V^{-0.4318}$	
Buses Transporte Publico EURO II	MP10	$3.14436 * V^{-0.7360}$
	CO	$23.6012 * V^{-0.7447}$
	HCT	$30.5529 * V^{-1.0301}$
	NO <sub>x</sub>	$44.587 * V^{-0.5185}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.1225
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
CC	$1645.9 * V^{-0.4318}$	
Buses Transporte Publico EURO III	MP10	$2.201052 * V^{-0.7360}$
	CO	$16.52084 * V^{-0.7447}$
	HCT	$21.38703 * V^{-1.0301}$
	NO <sub>x</sub>	$31.2109 * V^{-0.5185}$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.08575
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
CC	$1645.9 * V^{-0.4318}$	

**Tabla 32. Factores de Emisión para Buses Interurbanos**

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION PACIN III (gr/km)
Buses Interurbanos Convencionales (sin normas de emisión)	MP10	$9,2934 * V^{-0.7373}$
	CO	$63,791 * V^{-0.8393}$
	HCT	$44,217 * V^{-0.8870}$
	NO <sub>x</sub>	$125,87 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0,0010 * V^2 - 0,1608 * V + 14,308$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.175
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0,0398 * V^2 - 6,294 * V + 425$
Buses Interurbanos Euro I	MP10	$6,04071 * V^{-0.7373}$
	CO	$35,08505 * V^{-0.8393}$
	HCT	$22,1085 * V^{-0.8870}$
	NO <sub>x</sub>	$69,2285 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0,00055 * V^2 - 0,08844 * V + 7,8694$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.0875
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0,0398 * V^2 - 6,294 * V + 425$
Buses Interurbanos EURO II	MP10	$2,32335 * V^{-0.7373}$
	CO	$28,70595 * V^{-0.8393}$
	HCT	$19,89765 * V^{-0.8870}$
	NO <sub>x</sub>	$50,348 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0,0004 * V^2 - 0,06432 * V + 5,7232$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.07875
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0,0398 * V^2 - 6,294 * V + 425$
Buses Interurbanos EURO III	MP10	$1,626345 * V^{-0.7373}$
	CO	$20,0942 * V^{-0.8393}$
	HCT	$13,928355 * V^{-0.8870}$
	NO <sub>x</sub>	$35,2436 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0,00028 * V^2 - 0,045024 * V + 4,00624$
	SO <sub>2</sub>	(1)
	CO <sub>2</sub>	(2)
	CH <sub>4</sub>	0.055125
	N <sub>2</sub> O	0.03
	NH <sub>3</sub>	0.003
	CC	$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0,0398 * V^2 - 6,294 * V + 425$

(1) y (2): A continuación se describirá el procedimiento de cálculo de emisiones de SO<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>

## Emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Estas emisiones están directamente relacionadas con los consumos de combustible, asumiéndose para el cálculo de CO<sub>2</sub>, que todo el carbono contenido en el combustible es oxidado.

$$ECO_2 = 44.011 \times (CC/12.011 + 1.008 \times r \text{ H:C}) - (ECO/28.011) - \text{Ecuación 15} \\ (EHCT/13.85) - (EMP/12.011)$$

Donde:

CC	:	Consumo de Combustible
ECO	:	Emisiones de CO
EHCT	:	Emisiones de HCT
EMP	:	Emisiones de Material Particulado
r H:C	:	Relación entre el hidrogeno y carbono existente en el combustible 1.8 para gasolina; 2.0 para diesel

En el cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub> se asume que todo el contenido de azufre (S) en el combustible se transforma completamente en SO<sub>2</sub>, si consideramos que el peso atómico del azufre es 32 y el del oxígeno 16, el peso final será entonces el doble que el del azufre, siendo su fórmula de cálculo la siguiente:

$$ESO_2 = 2 \times CC \times Scomb \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

CC	:	Consumo de Combustible
Scomb	:	Contenido de azufre en el combustible (en peso m/m)

### 4.1.15 Cálculo de emisiones

#### Fuentes Móviles en Ruta

La estimación de emisiones para la zona de estudio fue realizada utilizando MODEM II. La información de flujos vehiculares fue obtenida a partir de los conteos vehiculares realizados, y la composición tecnológica de los vehículos se obtuvo a partir de la información de las plantas de revisión técnica entregada por la contraparte.

La siguiente tabla detalla la composición tecnológica considerada para la estimación de emisiones.

**Tabla 33. Composiciones tecnológicas para fuentes móviles**

<b>Tipo vehiculo</b>	<b>Participación</b>
Camiones livianos diesel convencional	0,5124
Camiones livianos diesel tipo 1	0,4876
	<b>1,0000</b>
Camiones medianos diesel convencional	0,5124
Camiones medianos diesel tipo 1	0,4876
	<b>1,0000</b>
Veh. Partic. Cata T1	0,6337
Veh. Partic. Cata T2	0,0510
Veh. Partic. No Cata	0,2889
Veh. Partic. Otros	0,0265
	<b>1,0000</b>
Veh. Com. Cata T1	0,4640
Veh. Com. Cata T2	0,0108
Veh. Com. No Cata	0,2525
Veh. Com. Diesel T1	0,2224
Buses particulares (sin definir)	0,0503
	<b>1,0000</b>
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo1	0,7654
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo2	0,1276
Taxis Colectivos No Catalíticos	0,0700
	<b>1,0000</b>
Camión Pesado Diesel Conv	0,5540
Camión Pesado Diesel Tipo 1	0,4460
	<b>1,0000</b>
Buses Interurbanos Diesel Convencional	0,2126
Buses Interurbanos Diesel Tipo 1	0,2875
Buses Rurales Diesel Convencional	0,2275
Buses Rurales Diesel Tipo 1	0,1405
Buses Rurales Diesel Tipo 2	0,1320
	<b>1,0000</b>

La siguiente tabla muestra los resultados de las emisiones estimadas para el área de estudio

**Tabla 34. Emisiones fuentes móviles en ruta (ton/año)**

	PM10	PM10 DF	PM 10 DN	PM 2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	N2O	CH4	CC	KM REC
Veh Part Cat. Tipo 1	0,05	0,09	0,06	0,05	11,98	3,53	1,42	0,14	0,79	2.236,02	0,60	0,30	702,58	11.310.128,82
Veh Part Cat. Tipo 2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,73	0,07	0,03	0,01	0,06	180,00	0,05	0,00	56,55	910.379,69
Veh Part No Catalíticos	0,10	0,04	0,03	0,09	122,92	10,24	7,62	0,07	0,01	1.159,98	0,03	0,28	365,92	5.157.033,17
Veh Part Otros	0,08	0,00	0,00	0,07	0,26	0,23	0,06	0,06	0,00	73,09	0,01	0,00	23,30	473.040,43
Veh Comerciales Cat. Tipo1	0,03	0,06	0,04	0,03	19,59	3,20	1,25	0,13	0,52	2.061,27	0,39	0,20	647,77	7.435.720,36
Veh Comerciales Cat. Tipo2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,02	0,01	0,00	0,01	47,99	0,01	0,00	15,08	173.072,80
Veh Comerciales No Catalíticos	0,07	0,03	0,02	0,07	45,39	12,37	5,48	0,07	0,01	1.120,17	0,02	0,61	352,50	4.046.378,00
Veh Comerciales Diesel Tipo1	0,29	0,03	0,02	0,27	1,48	3,86	0,41	0,59	0,00	745,83	0,06	0,02	237,74	3.564.017,69
Buses Part	0,53	0,01	0,00	0,49	2,50	9,10	0,63	0,31	0,00	388,82	0,02	0,14	123,98	806.070,55
Camiones Livianos Diesel Convencional	0,29	0,01	0,01	0,26	2,46	2,91	1,28	0,27	0,00	341,61	0,03	0,09	108,94	1.094.234,57
Camiones Livianos Diesel Tipo1	0,18	0,01	0,01	0,16	1,17	1,94	0,91	0,26	0,00	325,15	0,03	0,07	103,67	1.041.273,96
Camiones Medianos Diesel Convencional	0,42	0,01	0,01	0,39	1,85	4,01	0,99	0,32	0,00	403,43	0,02	0,06	128,63	739.159,61
Camiones Medianos Diesel Tipo1	0,26	0,01	0,01	0,24	0,88	2,67	0,71	0,31	0,00	383,97	0,02	0,04	122,41	703.384,51
Buses Interurbanos Diesel Convencional	0,41	0,01	0,00	0,38	1,93	7,61	1,12	0,40	0,00	503,65	0,02	0,13	160,58	737.938,98
Buses Interurbanos Diesel Tipo1	0,36	0,01	0,00	0,33	1,44	5,66	0,76	0,54	0,00	681,20	0,03	0,09	217,15	997.918,43
Buses Rurales Diesel Convencional	0,57	0,01	0,00	0,53	2,71	9,56	0,71	0,32	0,00	403,58	0,02	0,14	128,69	789.310,09
Buses Rurales Diesel Tipo1	0,15	0,00	0,00	0,14	0,84	4,13	0,33	0,23	0,00	289,03	0,01	0,06	92,14	487.678,40
Buses Rurales Diesel Tipo2	0,09	0,00	0,00	0,08	0,63	2,77	0,29	0,36	0,00	446,39	0,01	0,06	142,29	458.174,72
Taxis Colectivos Cat Tipo1	0,01	0,02	0,01	0,01	2,97	0,86	0,34	0,03	0,17	531,91	0,13	0,08	167,13	2.486.704,13
Taxis Colectivos Cat Tipo2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,03	0,02	0,01	0,03	88,68	0,02	0,00	27,86	414.558,99
Taxis Colectivos No Cat	0,00	0,00	0,00	0,00	4,93	0,47	0,36	0,00	0,00	55,27	0,00	0,02	17,42	227.422,64
Taxis Colectivos otros	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07	0,06	0,02	0,02	0,00	19,62	0,00	0,00	6,25	120.209,11
Camiones Pesados Diesel Convencional	1,54	0,02	0,01	1,41	5,45	25,40	2,99	1,47	0,01	1.840,87	0,06	0,34	586,89	1.945.310,04
Camiones Pesados Diesel Tipo1	0,80	0,01	0,01	0,74	2,42	11,24	1,20	1,18	0,00	1.482,20	0,05	0,14	472,47	1.566.079,93
<b>TOTAL</b>	<b>6,27</b>	<b>0,39</b>	<b>0,26</b>	<b>5,76</b>	<b>235,23</b>	<b>121,91</b>	<b>28,93</b>	<b>7,11</b>	<b>1,65</b>	<b>15.809,72</b>	<b>1,67</b>	<b>2,87</b>	<b>5.007,97</b>	<b>47.685.199,60</b>

DF: Desgaste de freno. DN: Desgaste de neumáticos

## **Polvo resuspendido**

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos en las estimaciones de polvo resuspendido por vehículos en calles pavimentadas y sin pavimentar.

**Tabla 35. Emisiones de polvo resuspendido en calles pavimentadas (ton/año)**

<b>Sector</b>	<b>MP10</b>	<b>MP2,5</b>
Industrial	96,69	13,87
La Greda	55,03	7,90
Loncura	57,09	8,19
Ventanas	17,18	2,47
<b>Total</b>	<b>225,99</b>	<b>32,42</b>

**Tabla 36. Emisiones de polvo resuspendido en calles sin pavimentar (ton/año)**

<b>Sector</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2,5</b>
Ventanas	118,67	17,73
Loncura	283,60	42,39
La Greda	12,64	1,25
<b>Total</b>	<b>414,92</b>	<b>41,25</b>

## 4.2 Fuentes Móviles Fuera de Ruta

### 4.2.1 Maquinaria vehicular

El tipo de maquinaria terrestre considerada dentro del presente estudio es aquella asociada a la maquinaria utilizada dentro del vertedero municipal del área de estudio.

La fuente de información para fuentes móviles fuera de ruta es la siguiente:

- Maquinaria utilizada en el vertedero en el área de estudio. (información entregada por Municipalidad de Quintero).

Para el cálculo de emisiones de fuentes móviles fuera de ruta se utiliza la metodología EPA descrita en el documento “*EPA420-P-04-009, April 2004, NR-009c, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling--Compression-Ignition*”. Estas fuentes serán consideradas como fuentes de zona, no como fuentes de arco, debido a la dificultad de localizar geográficamente el lugar de emisión.

Esta metodología se basa en la siguiente ecuación:

$$E_{i,k} = EF_i * T_k * C_k * W \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

- $E_{i,k}$  : Emisiones del contaminante i producidas por un vehículo tipo k [gr]  
 $EF_{ik}$  : Factor de emisión del contaminante i para los vehículos tipo k [gr/hp-h]  
 $T_k$  : Tiempo de operación promedio de los vehículos del tipo k[h]  
 $C_k$  : Porcentaje de carga (respecto a la potencia nominal) durante la operación normal de los vehículos tipo k  
 $W$  : Potencia nominal [hp]

El factor de emisión debe ser ajustado según:

$$EF_{adj}(HC, CO, NO_x) = EF_{SS} * TAF * DF \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

- $EF_{adj}$  : Factor de emisión ajustado (g/hp-hr).  
 $EF_{SS}$  : Factor de emisión en caliente (g/hp-hr). (Tabla 47)  
 $TAF$  : Factor de ajuste transiente. (Tabla 48)  
 $DF$  : Factor de deterioro

**Tabla 37. Consumo de combustible y factores de emisión para HC, CO, NOx Y MP según potencia de motor y tecnología.**

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM
>0 to 11	Base	0.408 <sup>b</sup>	1.5	5.0	10.0	1.0
	Tier 0		1.5	5.0	10.0	1.0
	Tier 1		0.7628	4.1127	5.2298	0.4474
	Tier 2		0.5508	4.1127	4.3	0.50
	Tier 4A		0.5508	4.1127	4.3	0.28
	Tier 4B		0.5508	4.1127	4.3	0.28
>11 to 16	Base	0.408 <sup>b</sup>	1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 0		1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 1		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 2		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 4A		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
	Tier 4B		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
>16 to 25	Base	0.408 <sup>b</sup>	1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 0		1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 1		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 2		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 4A		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
	Tier 4B		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
>25 to 50	Base	0.408 <sup>b</sup>	1.8	5.0	6.9	0.8
	Tier 0		1.8	5.0	6.9	0.8
	Tier 1		0.2789	1.5323	4.7279	0.3389
	Tier 2		0.2789	1.5323	4.7279	0.3389
	Tier 4A		0.2789	1.5323	4.7279	0.20
	Tier 4		0.1314	0.153	3.0000	0.0184

**(Continuación Tabla anterior)**

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM
>50 to 75	Base	0.408	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.99	3.49	6.9	0.722
	Tier 1		0.5213	2.3655	5.5988	0.4730
	Tier 2		0.3672	2.3655	4.7	0.24
	Tier 4A		0.1836	2.3655	3.0	0.20
	Tier 4		0.1314	0.237	3.00	0.0184
>75 to 100	Base	0.408	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.99	3.49	6.9	0.722
	Tier 1		0.5213	2.3655	5.5988	0.4730
	Tier 2		0.3672	2.3655	4.7	0.24
	Tier 3B		0.1836	2.3655	3.0000	0.30
	Tier 4		0.1314	0.237	3.00	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.237	0.276	0.0092
>100 to 175	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.3384	0.8667	5.6523	0.2799
	Tier 2		0.3384	0.8667	4.1	0.18
	Tier 3		0.1836	0.8667	2.5	0.22
	Tier 4		0.1314	0.087	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.087	0.276	0.0092
>175 to 300	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.3085	0.7475	5.5772	0.2521
	Tier 2		0.3085	0.7475	4.0	0.1316
	Tier 3		0.1836	0.7475	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.075	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.075	0.276	0.0092

**(Continuación Tabla anterior)**

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM
>300 to 600	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2025	1.3060	6.0153	0.2008
	Tier 2		0.1669	0.8425	4.3351	0.1316
	Tier 3		0.1669	0.8425	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.084	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.084	0.276	0.0092
>600 to 750	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.1473	1.3272	5.8215	0.2201
	Tier 2		0.1669	1.3272	4.1	0.1316
	Tier 3		0.1669	1.3272	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.133	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.133	0.276	0.0092
>750 except generator sets	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.076	2.392	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	2.392	0.0276
Gen sets >750 to 1200	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.076	2.392	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	0.460	0.0184
Gen sets >1200	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.076	0.460	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	0.460	0.0184

Fuente: AP42 EPA

**Tabla 38. Factor de ajuste transiente según tipo de maquinaria.**

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF	HC	CO	NOx		PM		BSFC
			Assignment	Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270001000	Recreational Vehicles All	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270001020	Recreational Vehicles Snowmobiles	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001030	Recreational Vehicles All Terrain Vehicles	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001040	Recreational Vehicles Minibikes	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001050	Recreational Vehicles Golf Carts	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001060	Recreational Vehicles Speciality Vehicle Carts	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002003	Construction Equipment Pavers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002006	Construction Equipment Tampers/Rammers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002009	Construction Equipment Plate Compactors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002015	Construction Equipment Rollers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002018	Construction Equipment Scrapers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002021	Construction Equipment Paving Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002024	Construction Equipment Surfacing Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002027	Construction Equipment Signal Boards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002030	Construction Equipment Trenchers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002033	Construction Equipment Bore/Drill Rigs	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002036	Construction Equipment Excavators	Excavator	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002039	Construction Equipment Concrete/Industrial Saws	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002042	Construction Equipment Cement & Mortar Mixers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002045	Construction Equipment Cranes	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002048	Construction Equipment Graders	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002051	Construction Equipment Off-highway Trucks	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002054	Construction Equipment Crushing/Proc. Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002057	Construction Equipment Rough Terrain Forklifts	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002060	Construction Equipment Rubber Tire Loaders	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002063	Construction Equipment Rubber Tire Dozers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002066	Construction Equipment Tractors/Loaders/Backhoes	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002069	Construction Equipment Crawler Dozer	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002072	Construction Equipment Skid Steer Loaders	SSLoader	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002075	Construction Equipment Off-Highway Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002078	Construction Equipment Dumpers/Tenders	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002081	Construction Equipment Other Construction Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270003010	Industrial Equipment Aerial Lifts	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003020	Industrial Equipment Forklifts	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01

**Continuación Tabla**

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF	HC	CO	NOx		PM		BSFC
			Assignment	Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270003030	Industrial Equipment Sweepers/Scrubbers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003040	Industrial Equipment Other General Industrial Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003050	Industrial Equipment Other Material Handling Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003060	Industrial Equipment AC\Refrigeration	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003070	Terminal Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270004000	Lawn & Garden Equipment ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004010	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004011	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004015	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004016	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004020	Lawn & Garden Equipment Chain Saws < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004021	Lawn & Garden Equipment Chain Saws < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004025	Lawn & Garden Equipment Trimmers/Edgers/Brush Cutters	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004026	Lawn & Garden Equipment Trimmers/Edgers/Brush Cutters (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004030	Lawn & Garden Equipment Leafblowers/Vacuums	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004031	Lawn & Garden Equipment Leafblowers/Vacuums Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004035	Lawn & Garden Equipment Snowblowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004036	Lawn & Garden Equipment Snowblowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004040	Lawn & Garden Equipment Rear Engine Riding Mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004041	Lawn & Garden Equipment Rear Engine Riding Mowers (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004045	Lawn & Garden Equipment Front Mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004046	Lawn & Garden Equipment Front Mowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004050	Lawn & Garden Equipment Shredders < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004051	Lawn & Garden Equipment Shredders < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003030	Industrial Equipment Sweepers/Scrubbers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003040	Industrial Equipment Other General Industrial Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003050	Industrial Equipment Other Material Handling Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003060	Industrial Equipment AC\Refrigeration	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003070	Terminal Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270004000	Lawn & Garden Equipment ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004010	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004011	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004015	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004016	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

**Continuación Tabla**

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF	HC	CO	NOx		PM		BSFC
			Assignment	Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270004055	Lawn & Garden Equipment Lawn & Garden Tractors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004056	Lawn & Garden Equipment Lawn & Garden Tractors (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004060	Lawn & Garden Equipment Wood Splitters	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004061	Lawn & Garden Equipment Wood Splitters Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004065	Lawn & Garden Equipment Chippers/Stump Grinders	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004066	Lawn & Garden Equipment Chippers/Stump Grinders (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004071	Lawn & Garden Equipment Commercial Turf Equipment (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004075	Lawn & Garden Equipment Other Lawn & Garden Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004076	Lawn & Garden Equipment Other Lawn & Garden Equipment (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270005010	Farm Equipment 2-Wheel Tractors	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005015	Farm Equipment Agricultural Tractors	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005020	Farm Equipment Combines	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005025	Farm Equipment Balers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005030	Farm Equipment Agricultural Mowers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005035	Farm Equipment Sprayers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005040	Farm Equipment Tillers > 6 HP	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005045	Farm Equipment Swathers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005050	Farm Equipment Hydro Power Units	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270005055	Farm Equipment Other Agricultural Equipment	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005060	Farm Equipment Irrigation Sets	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006000	Light Commercial ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006005	Light Commercial Generator Sets	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006010	Light Commercial Pumps	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006015	Light Commercial Air Compressors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006020	Light Commercial Gas Compressors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006025	Light Commercial Welders	AreWelder	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270006030	Light Commercial Pressure Washers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270007005	Logging Equipment Chain Saws > 6 HP	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270007010	Logging Equipment Shredders > 6 HP	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270007015	Logging Equipment Forest Equipment	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270008005	Airport Service Equipment Airport Support Equipment	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270009010	Other Underground Mining Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270010010	Other Oil Field Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020005	Recreational Pleasure Craft, Inboards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020010	Recreational Pleasure Craft, Outboards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020015	Recreational Pleasure Craft, Personal Water Craft	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020025	Recreational Pleasure Craft, Sailboat Aux. Outboard	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2285002015	Railway Maintenance	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18

**Factor de deterioro asociado:**

$$DF = 1 + A * (\text{factor de edad})^b \quad \text{Para factor de edad} \leq 1$$

$$DF = 1 + A \quad \text{Para factor de edad} > 1$$

A : Constante según tipo de contaminante/tecnología (Tabla 49).

b : Constante, para vehículos diesel se considera b=1 para un factor de deterioro lineal.

$$\text{Factor de edad} = \frac{(\text{horas}_{\text{acumuladas}} * \text{factor}_{\text{de carga}})}{\text{vida}_{\text{media a carga completa}}} \quad \text{Ecuación 19}$$

**Tabla 39. Factor de deterioro (A) para motores diesel fuera de ruta**

Pollutant	Relative Deterioration Factor (A) (% increase/%useful life)			
	Base/Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3+
HC	0.047	0.036	0.034	0.027
CO	0.185	0.101	0.101	0.151
NOx	0.024	0.024	0.009	0.008
PM	0.473	0.473	0.473	0.473

Fuente: AP42 EPA

**Factor de ajuste MP10:**

La emisión de MP depende del contenido de sulfuro en el combustible, por tanto el factor de emisión para MP se calcula usando:

$$EF_{adj} (MP) = EF_{SS} * TAF * DF - S_{MPadj} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$S_{MPadj} = BSFC * 453.6 * 7.0 * soxcnv * 0.01 * (soxbas - soxdsl) \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

BSFC : Uso de combustible (lb/hp-hr)

453.6 : conversión de libras a gramos.

7.0 : gramos de MP sulfato / gramos MP sulfuro

S<sub>MPadj</sub> : Factor de ajuste de emisión por variación de contenido de sulfuro en el combustible.

soxcnv : gramos MP sulfuro por gramos de sulfuro combustible consumido

0.01 : conversión de porcentaje a fracción

soxbas : porcentaje de peso por defecto de sulfuro en el combustible

soxdsl : porcentaje de peso de sulfuro en combustible

Existe un valor base para soxcnv = 0.02247 y para soxbas el valor por defecto es de 0.33.

## Nivel de actividad

El nivel de actividad para este tipo de fuente esta dado por las horas de funcionamiento de la maquinaria y de su potencia.

En la siguiente tabla se especifica la maquinaria que funciona al interior del vertedero y los camiones recolectores que disponen los residuos en el.

**Tabla 40. Maquinaria al interior del vertedero y camiones recolectores.**

	Maquinaria				Camiones	
	Modelo	Potencia (Hp)	Horas uso (año)	Cantidad	Nº camiones día (promedio)	Distancia recorrida (Km)
Vertedero Quintero	Cargador Frontal CATERPILAR 938F	150	2880	1	9	0,7
	Motoniveladora CATERPILAR 320-C	150	2880	1		

## Cálculo de Emisiones

A continuación se reportan las emisiones producto del funcionamiento de la maquinaria al interior del vertedero municipal de Quintero y de la circulación de los camiones recolectores desde el ingreso al predio hasta el lugar de disposición. Las emisiones provenientes de maquinaria al interior de la zona industrial se reportan en el capítulo de fuentes fijas. Se reporta además la emisión de polvo resuspendido debido al tránsito de los camiones recolectores al interior del vertedero.

**Tabla 41. Emisiones maquinaria y camiones al interior del vertedero (ton/año).**

	HC	CO	NO <sub>x</sub>	MP
<b>Vertedero Municipal Quintero</b>	0,07	0,28	1,0	0,08

**Tabla 42. Emisiones polvo resuspendido de camiones al interior del vertedero (ton/año).**

	MP10	MP2,5
<b>Vertedero Municipal Quintero</b>	0,60	0,06

## 4.3 Fuentes Estacionarias

### 4.3.1 Combustión residencial de GLP y Kerosene

#### 4.3.1.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La combustión residencial tiene relación con las emisiones atmosféricas que se producen al quemar algún tipo de combustible en las residencias particulares ya sea para calefacción, calentar agua o cocción de alimentos. Los combustibles que se estudiarán en esta sección son: gas licuado, kerosene y leña.

Las emisiones dependen del tipo de combustión, la composición del combustible y del tipo de equipo donde se produce la combustión. Las emisiones se determinan al multiplicar el consumo de combustible por un factor de emisión de acuerdo a la siguiente expresión general:

$$E = FE \cdot Na$$

**Ecuación 22**

Donde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio [ton/año]
- FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del tipo de combustible [Ton/kg combustible]
- Na : Nivel de actividad, definido en este caso por el consumo anual de combustible [kg/año]

El kerosene es un derivado del petróleo obtenido de su destilación. Su uso residencial corresponde principalmente para la calefacción durante los meses de invierno. En Chile se ha introducido un nuevo tipo de estufa denominada “catalítica” la cual utiliza un kerosene de composición distinta al kerosene convencional. A la fecha no existen datos nacionales de emisiones para este tipo de estufa, la metodología presentada no hace distinción entre éstas.

Las emisiones de gas licuado (GLP) dependen del diseño de los quemadores y de la ventilación del flujo de gas; un mal diseño, un bloqueo de la ventilación e insuficiente aire provoca una combustión incompleta produciendo emisiones de CO y COV. Las emisiones de NO<sub>x</sub> se producen en función de la temperatura, del exceso de aire y de la mezcla combustible/aire. Las emisiones de SO<sub>x</sub> dependen directamente de la cantidad de azufre en el combustible.

Los factores de emisión para Gas Licuado y Kerosene, provienen del AP-42 de la EPA, estos valores se muestran en Tabla 43.

**Tabla 43. Factores de emisión por combustión residencial.**

Combustible	TOC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub> *	MP	Unidad
GLP	87,47	221,68	1090,42	1,68	33,55	Kg/1000 m <sup>3</sup>
Kerosene	298,73	599,13	2156,88	4313,76	299,57	Kg/1000 m <sup>3</sup>

Fuente: AP-42, EPA.

\*: Corresponde a SO<sub>2</sub>

#### 4.3.1.2 Niveles de Actividad

El nivel de actividad requerido para la estimación de emisiones de contaminantes para la combustión de GLP y Kerosene corresponde al consumo anual para cada combustible [kg/año]. En el caso del GLP y Kerosene se utilizan las estadísticas de la SEC al 2006 que aportan datos de consumo a nivel regional tanto para combustibles líquidos como gaseosos.

Además se debe tener en cuenta que antes de ser utilizado el GLP en el consumo residencial, los balones de GLP al ser manipulados sufren una serie de fugas, estimadas en un 3.5%.

Los valores registrados por la SEC y utilizados para el cálculo de emisiones se reportan en la siguiente tabla:

**Tabla 44. Consumo Residencial de Combustibles 2006.**

Combustible	Localidades	Consumo ( Ton/año)
GLP	Ventana	123,21
	Loncura	61,60
	La Greda	89,32
Kerosene	Ventana	6,08
	Loncura	3,04
	La Greda	4,40

Fuente: SEC 2006

#### 4.3.1.3 Cálculo de Emisiones

Aplicando la metodología antes descrita, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 45. Emisión de Contaminantes asociados a la combustión residencial**

Combustible	Comuna	MP10	MP2,5	CO	NO <sub>x</sub>	VOC	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
		(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)
GLP	Ventana	0,0073	0,0073	0,0483	0,2378	0,0191	0,0002	0,0005
	Loncura	0,0053	0,0053	0,0350	0,1724	0,0138	0,0001	0,0003
	La Greda	0,0037	0,0037	0,0241	0,1189	0,0095	0,0001	0,0002
Kerosene	Ventana	0,0021	0,0021	0,0043	0,0154	0,0021	0,0255	0,0005
	Loncura	0,0011	0,0011	0,0021	0,0077	0,0011	0,0128	0,0003
	La Greda	0,0016	0,0016	0,0031	0,0112	0,0015	0,0185	0,0004
<b>TOTAL</b>		<b>0,0211</b>	<b>0,0163</b>	<b>0,1169</b>	<b>0,5634</b>	<b>0,0472</b>	<b>0,0572</b>	<b>0,0022</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 4.3.2 Combustión residencial de leña

### 4.3.2.1 Antecedentes generales

La leña está formada por un 43% de carbono (C), un 7% de hidrógeno (H) y un 49% de oxígeno (O<sub>2</sub>). La composición elemental de la madera no sufre mayores variaciones en las diferentes especies. Los principales compuestos orgánicos de la madera son celulosa (40-50% del peso de leña seca), hemicelulosa (20-30%), lignina (20-30%) y una pequeña fracción que incluye resinas y cenizas. La celulosa son polímeros polisacáridos que incluyen una combinación de carbono, hidrogeno y oxigeno. La lignina, su contenido y composición varía según la especie de leña, esta compuesta de aromáticos los que en la fase de pirólisis de la combustión produce hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP's.

Se puede decir que el material particulado que se produce durante la combustión residencial de leña corresponde en un 96% a MP<sub>10</sub> y en un 93% a MP<sub>2,5</sub>. Las partículas están compuestas principalmente por partículas orgánicas y carbono elemental (hollín), y una pequeña fracción corresponde a sales inorgánicas como KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, entre otras.

Por ejemplo, resultados de emisiones en artefactos de combustión abierta, indican que cerca del 74% de MP<sub>2,5</sub> corresponde a carbono orgánico y entre un 1-18% a carbono elemental (Fine et al., 2002), el resto corresponde a finas sales que incluyen una combinación de sodio, manganeso, potasio, calcio, zinc, amonio, sulfatos, carbono y nitrato, dependiendo de la especie de madera.

Los compuestos orgánicos presentes en el humo dependen de las condiciones de la combustión y del contenido de lignina en la madera. Las principales especies presentes de HAP son acenaphthylene, naphthalene, anthracene, phenanthrene, benzo(a)pyrene y benzo(e)pyrene. Otros compuestos incluyen una variedad de aldehídos, fenoles, alcoholes, cetonas, carboxilo ácido, ethane, etanol. Los compuestos orgánicos como formaldehídos, benceno, tolueno, xylene, y HAP's, incluyendo benzo(a)pyrene son conocidos por su nivel de toxicidad carcinógeno en el aire.

Las características más importantes de la leña que determinan la producción de calor son su contenido de humedad y densidad. Al comparar el contenido de energía entre maderas blandas de las duras, estas últimas tienen un valor energético mayor (19,2 MJ/kg) que las maderas blandas (18,2 MJ/kg). Maderas duras toman un mayor tiempo en quemarse y producen una mayor cantidad de cenizas que las maderas blandas. Por su parte, el contenido de humedad en la leña requiere de mayor energía para ser evaporada, reduciendo la eficiencia de la combustión y el valor energético del combustible, aumentando las emisiones (Rogge et al., 1998).

#### 4.3.2.2 Metodología para Estimar Emisiones de la Combustión Residencial de leña

Básicamente, las emisiones se determinan al multiplicar el consumo anual asociado a cada combustible por un factor de emisión, de acuerdo a la siguiente expresión general:

$$E_i = FE_{ij} \cdot N_{aj} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

- $E_i$  : Emisiones del contaminante  $i$  en estudio [ton/año]
- $FE_{ij}$  : Factor de emisión del contaminante  $i$  en estudio para un artefacto del tipo  $j$ , [Ton/kg combustible]
- $N_{aj}$  : Nivel de actividad, definido en este caso por el consumo anual de leña asociado al artefacto  $j$  [kg/año]

Respecto a la distribución espacial de las emisiones generadas por la combustión residencial de leña, ésta se efectúa directamente en función del nivel de detalle de la información de consumo de combustible disponible, por ejemplo, a nivel comunal o a nivel de distrito censal o bien mediante el uso de factores de distribución, en el caso que sólo se posea información agregada del consumo.

Para el caso de la combustión residencial de leña, el **nivel de actividad** está en función de la siguiente información:

- El tipo de artefacto de combustión, que puede ser cocina, calefactor, salamandra, combustión abierta, otros.
- El consumo de combustible, expresado en masa por unidad de tiempo (dependiendo de la caracterización temporal del consumo en forma horaria, semanal, mensual, estacional, anual).
- El contenido de humedad del combustible (seco < 25% y húmedo > 40%).
- El período de encendido del artefacto (con objeto de caracterizar períodos de encendido estacional, semanal y diario) (para caracterizar el nivel de actividad)

Así, las emisiones totales corresponderán a la suma total del aporte de contaminantes de cada artefacto de combustión de acuerdo a su período de uso o encendido, a la cantidad de combustible consumido, considerando además la calidad del combustible en cuanto a su contenido de humedad.

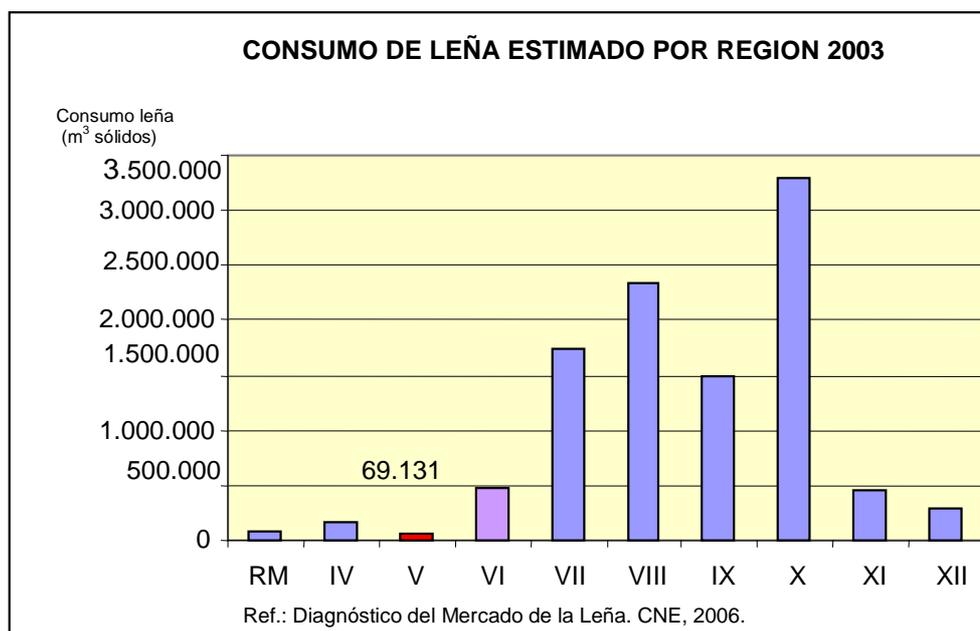
#### 4.3.2.3 Revisión de información disponible de consumo de leña en la región

Según, el estudio “*Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile*” desarrollado por el Centro de Micro Datos del Departamento de Economía de la Universidad de Chile para la CNE, en el año 2006, estimó a partir del consumo agregado de leña del sector residencial y de los datos de distintas encuestas recopiladas a nivel de país, una relación de demanda de leña en metros cúbicos sólidos y proyectó los niveles de consumo para cada región usando la información socioeconómica de la encuesta CASEN 2003.

Para el sector rural, se realizó un ajuste adicional usando otros estudios INFOR–CNE (1994) y los Censos de 1992 y 2002.

De acuerdo al período intercensal 1992 al 2002, en la V región el consumo promedio de un hogar consumidor de leña no supera el  $m^3$  sólido por año.

La siguiente figura muestra el consumo para el año 2003, en particular se puede decir que el consumo se concentra entre las Regiones VIII a X Región. El consumo de la V Región se estima en un valor cercano a los  $69,131m^3$  sólidos.



**Figura 17. Proyección de Consumo de leña residencial para el año 2003 ( $m^3$  sólidos)**

Por otro lado, en la V región el consumo promedio rural para los que consumen leña o sus derivados es 5 a 6 veces más alto que el consumo urbano.

De acuerdo a la información disponible es posible estimar las emisiones por uso de leña sólo a nivel regional, desagregado según sector residencial, comercial e institucional y el sector industrial (ver tabla siguiente). La forma de desagregación comunal se efectuó para el presente estudio a partir de distribución poblacional.

**Tabla 46. Proyección del Consumo de Leña y desechos industriales, en m<sup>3</sup> sólidos, por región y sector**

REGION	Proyección Consumo Residencial	Dev. Est. Consumo Residencial	Proyección Consumo Comercial e Institucional	Dev. Est. Consumo Comercial e Institucional	Proyección Consumo Industrial	Dev. Est. Consumo Industrial	Proyección Consumo Total de leña	Dev. Est. Consumo Total	Estimación consumo de desechos industriales	Proyección Consumo Total de combustibles de madera
I										
II										
III										
IV	158.760	3.910			271.884	2.799	430.644	4.809	---	---
V	69.131	2.693	10.881	423,9	289.139	19.410	369.150	19.601	---	---
VI	468.883	11.420	1.680,8	40,9	192.838	7.787	663.402	13.822	---	---
VII	1.737.238	27.270	11.279,5	177,1	1.078.895	3.509	2.827.413	27.495	---	---
VIII	2.341.014	58.183	66.328,7	1.648,5	1.479.555	9.091	3.886.898	58.912	---	---
IX	1.485.064	43.344	67.275,8	1.963,6	654.519	5.024	2.206.859	43.679	---	---
X	3.302.928	40.645	373.405,7	4.595,1	135.528	812	3.811.862	40.912	---	---
XI	459.280	10.105	83.630,1	1.840,0	3.107	36	546.017	10.271	---	---
XII	281.477	14.243					281.477	14.243	---	---
RM	90.133	1.694	12.204,6	229,4	25.306	63.724	127.644	63.747	---	---
Nacional	10.393.908	90.114	626.686	10.918	3.858.888	68.021	14.879.482	113.431	5.076.000	19.955.482

Fuente: "Diagnóstico del mercado de la leña". Centro de Microdatos U. de Chile – CNE, 2006.

#### 4.3.2.4 Revisión y selección de factores de emisión

Con respecto al factor de emisión, está en función del tipo de artefacto y del contenido de humedad de la leña. También, se pueden usar factores de emisión de acuerdo al modo de operación del artefacto.

A continuación se listan los estudios de factores de emisión revisados dentro del presente estudio para determinar los factores de emisión más apropiados para utilizar en la estimación de emisiones.

**a) Factores de emisión entregados dentro del estudio denominado "Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile". Thomas Nussbaumer. Report for CONAMA and COSUDE. Zürich, 10. May 2006.**

Dentro del informe del proyecto COSUDE<sup>14</sup> (Nussbaumer, 2006), se entregan antecedentes de mediciones de emisiones efectuadas a estufas típicas chilenas medidas en Suiza por expertos de dicho país, obteniéndose factores de emisión para distintos tipos de operación del artefacto de calefacción.

Respecto a las conclusiones del estudio destacan los resultados obtenidos para la estufa tradicional chilena, para la que se señala que las emisiones de MP son ampliamente sensibles a los distintos tipos de operación. Entre una operación 'ideal' y 'típica' las emisiones aumentan en un factor de 12 a 60. Entre una operación 'mala' y 'típica' aumentan de un factor de 5 a 26.

<sup>14</sup> Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile. Report for CONAMA and COSUDE. Zürich, 10. May 2006. Disponible en el expediente público de la Norma.

La tabla siguiente presenta los valores de mediciones obtenidos por el estudio Suizo:

**Tabla 47. Resultados de las mediciones estudio suizo comparativo.**

Operación	Humedad	Estufa chilena		Estufa Suiza de 2 etapas		Observaciones
		Carga troncos leña	MP [mg/m <sup>3</sup> ] normalizado a 13% O <sub>2</sub>	Carga troncos leña	MP [mg/m <sup>3</sup> ] normalizado a 13% O <sub>2</sub>	
<b>Operación ideal</b> con trozos de leña pequeños y secos, 30% carga. No incorpora en la medición el aporte de contaminantes que se da durante el encendido del artefacto.	12%	2 x 750 g	20	Carga Completa	10 - 20	Para efectos de pruebas se mantuvo el monitoreo continuo de CO con objeto de mantener las condiciones de la combustión. Por lo tanto, esta operación no es practicable en la realidad.
<b>Operación ideal</b> con trozos de leña pequeños y secos, 30% carga. Incorpora en la medición el encendido.	12%	2 x 750 g	50	Carga Completa	20 - 30	
<b>Operación típica</b> para calefacción, carga completa.	20%	3 x 1500 g	250 – 1.200 (125 – 600)	Carga Completa	30- 50 (30 – 50)	La combustión en dos etapas permite una reducción de aproximadamente un 90%.
<b>Operación típica para calefacción, carga completa</b>	33%	3 x 1500 g	500 – 1.200 (250 – 600)	Carga Completa	60 – 150 (50 – 100)	La combustión en dos etapas permite una reducción de aproximadamente un 50%.  No obstante se observa la influencia de la humedad de la leña.
<b>Mala operación, ingreso de aire cerrado durante operación. Siguiendo Instrucciones del Fabricante.</b>	20%	3 x 1500 g	6.600 (5.500)	Carga Completa	No es posible operar	

Nota: Emisiones de MP (mg/m<sup>3</sup>) con 13% en volumen de O<sub>2</sub>, de acuerdo al método de US-EPA; los valores entre paréntesis son siguiendo el método VDI.

Con respecto a factores de emisión de MP para la Estufa tradicional chilena, se tiene:

- Para una condición ideal de operación con 12 % de humedad de leña, el factor de emisión corresponde a 0,6 g/kg de leña seca.
- Para una condición típica de operación con 20 % de humedad de leña, el factor de emisión corresponde a un rango entre los 3,0 - 14,4 g/Kg. leña seca.
- Para una condición mala de operación con 20 % de humedad de leña, el factor es de 79,3 g/Kg. leña seca.

Al revisar los resultados del estudio “Real-life emissions from residential wood burning appliances in New Zealand” de A.J. Scout, Junio 2005, Ministry for the Environment, se indica que en condiciones de real operación de los artefactos se producen emisiones sustancialmente mucho más altas que el factor de emisión que comúnmente se ha utilizado para reflejar una “operación real”.

El factor de emisión que reflejaría la “operación real” no es suficientemente robusto pero es útil como un indicador de la incertidumbre asociada cuando se estiman las emisiones de la combustión residencial de leña. El uso de un factor de emisión potencialmente no representativo puede resultar en subestimaciones que se reflejarán en otras evaluaciones con objetivos de reducción de la contaminación, como por ejemplo en las metas de reducción.

De lo anterior, se deduce que se requiere analizar y justificar los factores de emisión que se seleccionen y que debieran reflejar, en lo posible, reales condiciones de operación.

**b) “Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales” (Septiembre 2006).**

La Comisión Nacional del Medio Ambiente, solicitó al laboratorio SERPRAM, realizar una serie de ensayos de medición en artefactos de combustión de uso residencial que operan con leña (cuatro calefactores y una cocina de combustión a leña), con el propósito de conocer información de línea base de sus emisiones a escala de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio consistieron en medir las concentraciones de material particulado y gases (O<sub>2</sub> y CO) generados por cada artefacto a tasas de quemado fijas, con el objetivo de determinar las emisiones de material particulado y otros parámetros de interés ambiental como el monóxido de carbono y la eficiencia térmica.

Las citadas mediciones se efectuaron en conformidad a lo especificado en los métodos CH-28 de certificación, el método CH-5 G para la determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución y el método CH-3A, para la determinación del contenido de oxígeno y monóxido de carbono en los gases. Todos los métodos señalados corresponden a métodos oficializados por el Ministerio de Salud a través del Instituto de Salud Pública (ISP).

Los artefactos usados fueron los siguientes:

- Estufa Bosca
- Estufa Amesti
- Estufa Pucón
- Estufa Gerten
- Cocina Gross

Donde cada uno tiene especificaciones y características de fabricante, material y entrada de aire.

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos de dichas mediciones según calefactor, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 48. Emisiones de MP<sub>10</sub> Resumen estudio SERPRAM.**

<b>Calefactor</b>	<b>Tasa Quemado kg/h</b>	<b>Flujo Aire m<sup>3</sup>N/h</b>	<b>MP<sub>10</sub> g/h</b>	<b>MP<sub>10</sub> g/kg leña</b>
A 1	1,67	17,4	4,66	3,0
A 2	1,38	14,9	3,20	2,6
B	1,21	12,2	2,54	2,4
D 1	2,18	22,6	6,74	3,8
D 2	1,23	13,6	28,69	23,8
E	1,92	27,2	5,01	3,0

Fuente: promedio de datos de Serpram

Nota: Mediciones no desarrolladas en condiciones de operación normal, sino en condiciones de laboratorio, según la norma CH-5G.

### **c) Factores de emisión utilizados en inventarios anteriores, CONAMA-CENMA.**

Si bien las características del tipo de leña, artefactos o modos de operación en algunos casos utilizados en la Región Metropolitana no son equivalentes a lo ocurridos en otras regiones, a continuación se resumen a modo de referencia los factores de emisión que han sido utilizados en los inventarios disponibles para la R.M en cuanto a la quema residencial de leña. Estos se basan en el estudio, “Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área metropolitana de Santiago” CNE, del año 1992. Para esta metodología, se hace una distinción entre consumidores de leña formales (altos recursos) e informales (bajos recursos.)

El estudio de INTEC-CNE realizó la medición de emisiones de gases y material particulado para distintos equipos de combustión a leña utilizando métodos recomendados por la EPA, con el objeto de proponer factores de emisión por tipo de equipo. La tabla siguiente resume algunos antecedentes de dicho estudio.

**Tabla 49. Año del estudio de la CNE, equipos considerados y sus características**

Año del Estudio	1992
Equipos Medidos	Estufas doble cámara: marca BOSCA, Winter y Calpolo.
	Estufas simple a leña
	Salamandras con carga frontal y vertical
	Chimenea abierta tradicional (con un buen control de tiraje)
	Chimeneas modelo insert: con una carga de leña de 1,5 a 3,0 Kg/hr.
Especie de leña	Eucaliptus
Condición de leña seca	15% de humedad.
Condición de leña verde	35% de humedad.

A continuación se presentan los resultados de los factores de emisión para los distintos tipos de equipos. La Tabla siguiente muestra la proposición realizada en el estudio de la CNE de uso de factores de emisión, según el tipo de combustión en abierta o cerrada.

Nótese que los FE propuestos por la CNE corresponden a Partículas Totales en Suspensión (PTS).

**Tabla 50. FE<sup>1</sup> por tipo de equipo a leña (g/kg)**

Equipo	PTS	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CO	PAH	Benzo <sup>2</sup>	Aldehídos Totales	Formal dehídos
Estufas doble cámara	7.0	--	1.18	35.5	48.9	0.0602	0.0134	0.43	0.21
Salmandra (carga frontal)	8.0	--	1.68	0.31	37.4	0.0426	0.0071	0.57	0.28
Salmandra (carga vertical)	8.5	--	1.76	11.5	31.9	0.0945	0.0012	0.7	0.47
Estufa simple	5.7	--	1.12	13.1	20.9	0.0173	0.0046	0.51	0.24
Chimenea abierta	16.6	--	2.00	0.72	--	0.089	0.024	1.45	0.61
Chimenea modelo insert <sup>3</sup>	3.6-20.1	--	1.02-1.72	7.3-82.7	--	0.0148-0.134	0.0038-0.0186	--	--

1 Las emisiones son para leña de especie eucaliptus seca, con un 15% de humedad.

2 Benzo corresponde a la suma de benzoantraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, diobenzofluoranteno y benzo perileno.

3 El modelo insert es un modelo diseñado que reemplaza a la chimenea tradicional al ser colocada en el hogar de esta última. Los valores límites del intervalo de emisión dependen de la carga de leña correspondiente a 1,5 a 3,0 Kg/hr.

Fuente: CNE. Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área Metropolitana de Santiago. 1992.

La siguiente Tabla entrega los factores de emisión que se han empleado para confeccionar inventarios anteriores:

**Tabla 51. FE para equipos de quema cerrada y abierta utilizadas en los inventarios de CONAMA R.M. (g/kg)**

Equipo	PTS	CO	CH <sub>4</sub>	HCNM	NO <sub>x</sub>	PAH	Benzo	Aldehídos Totales	Formal-Dehídos
Estufas y Salamandras	7.3	34.8	0.2-22.1 (***)	0.1-13.4 (**)	1.44	54x10 <sup>-3</sup>	7.6x10 <sup>-3</sup>	0.55	0.30
Chimeneas y otros equipos de quema abierta	16.6	(*)	0.5	0.2	2.0	89x10 <sup>-3</sup>	24x10 <sup>-3</sup>	1.45	0.61

Fuente: Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área Metropolitana de Santiago. 1992.

(\*): En el estudio no se propone factor para el CO y en los inventarios se tomaba el mismo valor que para quema cerrada 34,8

(\*\*): Para la R.M se utilizaba el valor 6,8

(\*\*\*): Para la R.M. se utilizaba el valor 11,15

En el caso de Amoniaco se utilizaba el valor 1,088 tanto para quema cerrada como quema abierta. No fue posible encontrar la fuente. Posiblemente RADIAN 1991.

#### **d) Factores de emisión utilizados en inventario de emisiones IX región, CONAMA año 2002.**

En el marco del estudio: “*Estimación de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos por Combustión Residencial a Leña en las Comunas de Temuco y Padre las Casas, IX Región Septiembre de 2001*”, fueron utilizados los factores de emisión presentados en la Tabla 52. Es importante destacar que este inventario fue desarrollado mediante una encuesta que diferenció tipos de equipos, y que contó con un diseño estadístico apropiado.

El criterio utilizado para seleccionar los FE para cada equipo de combustión, fue que éste reflejara las condiciones de los equipos que existen en el área de estudio, los que se denominaran equipos equivalentes.

**Tabla 52. Factores de emisión IX Región.**

FUENTE BIBLIOGRÁFICA	Equipo de combustión según la referencia	Equipo equivalente	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COV	SO <sub>x</sub>
EIIP/EPA	Estufa Convencional <sup>a</sup>	Cocina a leña	15.30	1.40	115.40	26.50	0.20
EIIP/EPA	Estufa Convencional <sup>b</sup>	Equipo simple (una cámara).	15.30	1.40	115.40	26.50	0.20
CNE	Estufas doble cámara <sup>c</sup>	Equipo doble cámara	--	--	-- <sup>f</sup>	35.50	---
EIIP/EPA	Cocina Catalítica (Fase II)	Equipo doble cámara	8.10	1.00	53.50	7.5	0.20
CNE	Chimenea abierta <sup>d</sup>	Chimenea abierta/albañilería	16.60	2.00	--	--	0,18
EIIP/EPA	Chimeneas y cocinas <sup>e</sup>	Chimenea abierta/albañilería	--	--	126.3	114.5	0,2
CADE-IDEPE	Salamandras <sup>g</sup>	Salamandras	15.86	0.87	51.32	0.83	0.26

a. Fabricada antes de 1988 equivalente a cocina a leña utilizada en área de estudio.

b. Equivalente a equipo simple de una cámara. No se adopta Ref. CNE según Tabla 2.5, pues el valor es menor que el de la estufas doble Cámara, lo que produce una inconsistencia en términos de tecnología.

- c. Equipos modelo BOSCA fabricada antes de 1992, equivalente a equipos de doble cámara en general.
- d. Chimenea diseñada con tiraje adecuado, equivalente a chimenea de albañilería. FE para MP10, NO<sub>x</sub> y PAH
- e. Equivalentes a chimeneas albañilería, FE para CO, COV y SO<sub>x</sub>.
- f. Las estufas doble cámara y cocinas catalíticas (Fase II) son equivalentes, menos para el COV. Para las cocinas catalíticas las emisiones son menores porque están equipadas con un catalizador cerámico cubierto con un metal noble (platino, paladio etc), que permite la combustión de estos compuestos a temperaturas mucho menores.
- g. Las Salamandras tienen una eficiencia y tecnología distinta a los equipos de doble cámara. El FE en el CNE, está en un rango de (8-8,5), rango en el que también está el equipo doble cámara (8,1) del EIIP. Se estima inconveniente tomar el rango sugerido por CNE, se selecciona el FE propuesto por CADE-IDEPE, mostrado en el mismo estudio de la CNE.

**e) "Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Residential Wood Combustion. 2001"**

Con respecto al uso de factores de emisión en la US-EPA, el Programa de Mejoramiento de Inventarios de Emisiones (sigla EIIP en inglés) reportó el año 2001 para la fuente emisora combustión residencial de leña, una lista de factores de emisión para elementos como benceno, cadmio, cromo, manganeso, metiletilcetona, níquel, fenol, tolueno y oxileno. Asimismo, establece una lista de 28 compuestos y familias de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), además de factores de emisión para los contaminantes típicos que se producen durante la combustión incompleta.

**Tabla 53. FE para distintos contaminantes por tipo de equipo (g/kg).**

EQUIPOS	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COV	SOX	PAH <sup>f</sup> Total	HAP <sup>g</sup> Total
Estufas y Cocinas <sup>a</sup>	17.30	1.30	126.30	114.50	0,18	--	--
Estufas <sup>b</sup>	17.30	1.30	126.30	114.50	0,18	--	--
Cocina Catalítica (Fase II) <sup>c</sup> <sup>d</sup>	8.10	1.00	53.50	7.5	0.20	0.207	1.12
Cocina Convencional <sup>e</sup>	15.30	1.40	115.40	26.50	0.20	0.365	1.6

- a. Se recomienda su uso cuando no se cuenta con información desagregada de equipos de combustión.
- b. Fabricación de equipos hasta 1988.
- c. Certificadas para cumplir con las normas EPA del 1 Julio, 1990. Con una tasa de quemado 5.5 Kg/hr.
- d. Para catalíticos con una buena mantención y con un uso normal. En general un catalítico más nuevo produce emisiones de MP más bajas y los más antiguos emisiones más altas.
- e. Fabricada antes del 1° de Julio de 1986.
- f. PAH, corresponde a la familia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.
- g. HAP, siglas en inglés corresponden a la familia de "Hazardous Air Pollutants"- contaminantes peligrosos.

Fuente: EIIP, Residential Wood Combustion. 2001.

## Espección

Dentro del estudio del Desert Research Institute<sup>15</sup> se expone que del contenido total de material particulado emitido por la fuente de combustión residencial el 95,8% corresponde a la fracción respirable menor a 10µm y 93,1% corresponde a MP2,5, siendo estos últimos valores los que serán utilizados como referencia para el presente estudio.

La siguiente figura muestra la distribución por tamaño de partícula para los distintos tipos de fuentes generadoras de material particulado, según lo indicado por la referencia citada anteriormente.

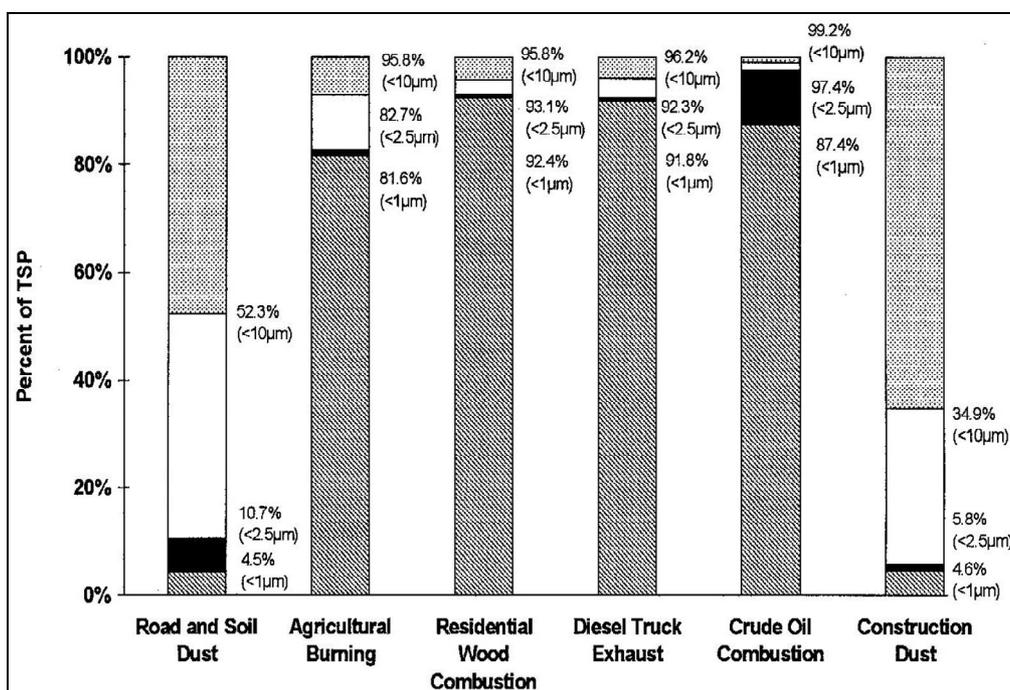


Figura 18. Distribución de tamaño para distintos tipos de fuentes de MP.

<sup>15</sup>. Reconciling Urban Fugitive dust Emissions Inventory and Ambient Sources Contribution Estimates”, DRI, Desert Research Institute 1999.

#### 4.3.2.5 Niveles de actividad

En entrevista con los municipios de Puchuncaví y Quintero se informó al equipo consultor que en la zona no existe un consumo importante de leña, por lo tanto se utilizará como referencia el consumo de leña estimado por el estudio de la CNE.

La siguiente tabla resume el consumo de leña estimado para la V Región por dicho estudio.

**Tabla 54. Consumo de leña 2003 V región**

<b>Año</b>	<b>Consumo Leña (m<sup>3</sup>)</b>
2003 (base CNE)	69.131

Fuente: Estudio CNE

Debido a que la información disponible no es específica del área de estudio, se estimó un consumo per-cápita para V región, el cual fue aplicado a la población de área de estudio, obteniéndose los consumos que muestra la siguiente tabla.

**Tabla 55. Consumo de leña 2006 Zona de estudio.**

<b>Localidad</b>	<b>Consumo (ton/año)</b>
LA GREDAS	53
VENTANA	105
LONCURA	76
<b>Total</b>	<b>233</b>

Fuente: Estimación en base a estudio CNE

Las emisiones fueron calculadas tomando como referencia los factores de emisiones utilizados en el marco del estudio “Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región del Libertador Bernardo O’Higgins, desarrollado por DICTUC para CONAMA VI, 2007. Estos factores corresponden a una selección de factores provenientes de los estudios revisados.

**Tabla 56. Factores de emisión para combustión de leña residencial (g/kg).**

<b>MP<sub>10</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>COV</b>	<b>SOX</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
17,3	1,3	126,3	114,5	0,18	1,088

## Calculo de emisiones

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla

**Tabla 57. Emisiones provenientes del consumo de leña, 2006**

Localidad	Consumo (Ton)	Emisiones (ton)					
		MP10	NOX	CO	COV	SOX	NH3
La Greda	53,00	0,92	0,07	6,69	6,07	0,01	0,06
Ventana	104,60	1,81	0,14	13,21	11,98	0,02	0,11
Loncura	75,85	1,31	0,10	9,58	8,69	0,01	0,08
<b>Total</b>	<b>233,45</b>	<b>4,04</b>	<b>0,30</b>	<b>29,49</b>	<b>26,73</b>	<b>0,04</b>	<b>0,25</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3 Cigarrillos

#### 4.3.3.1 Metodología de Cálculo de emisiones y factores de emisión

Las emisiones provenientes de este tipo de fuente se obtienen al multiplicar un factor de emisión por el nivel de consumo en la población. Los factores se derivan de estudios referentes al tipo y cantidad de emisiones producidas por la quema del tabaco.

El nivel de consumo se obtiene de la sumatoria entre las cantidades producidas a nivel nacional y las importaciones para luego restar las exportaciones efectuadas en el país, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$C = PN + I - E$$

**Ecuación 24**

Donde:

- C : consumo neto [cigarrillos/año]
- PN : producción nacional [cigarrillos/año]
- I : importaciones [cigarrillos/año]
- E : exportaciones [cigarrillos/año]

La información de producción nacional se obtiene a través de INE, mientras que las cantidades importadas y exportadas a través de los servicios de Aduana.

La información disponible permite obtener solamente el consumo nacional. Para obtener el consumo del área de estudio se debe entonces obtener el consumo per cápita a nivel nacional dividiendo el consumo nacional por el número de habitantes mayores de 15 años del país (se realiza el supuesto que la población fumadora supera esa edad), tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{C_N}{P_N}$$

**Ecuación 25**

Donde:

C<sub>p</sub>: consumo per cápita nacional [ton/año-habitante]

C<sub>N</sub>: consumo neto nacional [ton/año]

P<sub>N</sub>: población nacional mayor a 15 años [habitantes]

Luego, se debe multiplicar la cantidad de habitantes mayor a 15 años del área de estudio por el consumo per cápita calculado en el paso previo:

$$C = C_p * P$$

**Ecuación 26**

Donde

C: consumo en el área de estudio [ton/año]

P: población del área de estudio mayor a 15 años [habitantes]

Finalmente, el consumo de cigarrillos per cápita obtenido para el sector se multiplica por el factor de emisión respectivo obteniendo de esta manera las emisiones para el contaminante en cuestión.

El consumo de cigarrillos genera emisiones de material particulado muy fino el que está constituido por al menos 150 sustancias tóxicas, entre las que se encuentran el ácido arsenioso, quinoleína, acroleína, aldehídos, fenoles, bensoalfapirenos, metales pesados como plomo, cobre y estaño. Esto constituye una fuente considerable de emisión en lugares cerrados y mal ventilados, siendo parte importante de la contaminación intradomiciliaria.

La siguiente Tabla indica los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones, los cuales provienen del estudio “Toxic Volatile Organic Compounds in Environmental Tobacco Smoke: Emission Factor for Modeling Exposures of California Populations”, desarrollado por California Air Resources Board.

**Tabla 58. Factores de emisión consumo de cigarrillos**

Contaminante	FE [mg/cig]
Amoniaco	5,2
Material particulado	8

Fuente: CARB

### 4.3.3.2 Niveles de Actividad

Los niveles de actividad están dados por el consumo de cigarrillos que existe en la V Región, valores estimados mediante la metodología descrita anteriormente.

**Tabla 59. Consumo de cigarrillos, 2006**

<b>Localidad</b>	<b>Consumo (cig/año)</b>
Ventana	909.134
La greda	1.957.382
Loncura	1.493.930
<b>Total</b>	<b>4.360.447</b>

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de Emisiones

Las emisiones obtenidas fueron las siguientes:

**Tabla 60. Emisiones provenientes del consumo de cigarrillos, 2006**

Localidad	Emisión MP [ton/año]	Emisión NH <sub>3</sub> [ton/año]
Ventana	0,01	0,00
La greda	0,02	0,01
Loncura	0,01	0,01
<b>Total</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4 Emisiones Evaporativas

##### 4.3.4.1 Aplicación de Pinturas

###### Metodología y factores de emisión

La metodología para la estimación de las emisiones de COV producto del uso de pintura arquitectónica en cada centro urbano y comuna de estudio, consiste en la cuantificación del consumo de pinturas en base acuosa, en base a solventes y en el uso de adelgazante (diluyente) a nivel nacional durante el año en estudio. De este total se determina la cantidad vendida en cada comuna en forma proporcional a su población.

El consumo de pintura residencial en la región se multiplica por factores de emisión que dan cuenta del porcentaje de COV utilizado en la formulación de los productos.

Así, la metodología general de estimación de emisiones provenientes de la aplicación de pinturas se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = C * FE$$

Ecuación 27

Donde

E : Emisiones anuales de COV [ton/año]

C : Consumo de pintura anual [ton/año]

FE : Factor de emisión de COV [ton/ton]

La determinación de la producción de pintura residencial y su posterior comercialización se obtiene de los informes del INE sobre la producción industrial de pinturas.

El sector de mayor consumo de pintura es el pintado de edificios y mantención periódica de las fachadas de casas, por lo cual su distribución se realiza en forma proporcional a la población. El consumo de diluyente asociado a la aplicación de pinturas en base a solventes se asume, según especialistas del rubro industrial de pinturas, como un 12% de la cantidad de pintura en base a solvente a utilizar.

Los factores de emisión a utilizar para el cálculo de emisiones asociadas a la aplicación de pintura arquitectónica, son los propuestos por la Agencia Ambiental de California, los que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 61. Factores de Emisión para Pinturas

Producto	FE [Kg/m <sup>3</sup> ]	FE [kg/Ton]
Pintura base agua	52,50	52,50 <sup>a</sup>
Pintura base solvente	343,62	343,62 <sup>a</sup>
Adelgazante	766,90	995,97 <sup>b</sup>

a: se utilizó una densidad promedio de 1 kg/lit

b: se utilizó una densidad de 0.77 kg/lit. Este valor corresponde a TOG.

En la siguiente tabla se muestran los valores anuales para el uso de pintura arquitectónica en el área de estudio. Respecto al consumo de pintura asociado a talleres de auto, no se estimó esta fuente ya que se requieren mayores antecedentes para poder desarrollar la estimación de emisiones. Respecto al consumo industrial, las emisiones se asocian al inventario de fuentes fijas.

**Tabla 62: Consumo de Pintura Arquitectónica 2006 (Ton/año)**

Localidades	Pintura Arquitectónica	Venta (ton/año)	Exportación (ton/año)	Importación (ton/año)	Neto (ton/año)
Ventana	Base Agua	6,88	0,06	0,76	7,57
	Base Solvente	3,49	0,10	0,99	3,39
	Diluyente	-	-	-	0,41
La Greda	Base Agua	3,44	0,03	0,38	3,79
	Base Solvente	1,74	0,05	0,49	1,69
	Diluyente	-	-	-	0,20
Loncura	Base Agua	4,98	0,05	0,55	5,49
	Base Solvente	2,53	0,07	0,72	2,46
	Diluyente	-	-	-	0,29

Fuente: 1: Antecedentes INE Anuario Ventas Físicas 2000-2003, y proyección Dictuc.

2: Aduana 2006.

Aplicando la metodología explicada anteriormente, se obtienen las emisiones de COV por el uso de pintura arquitectónica que se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 63: Emisiones de COV, año 2006 (Ton/año)**

Localidades	Tipos Solvente			Total COV (ton/año)
	Base Acuosa	Base Solvente	Diluyente	
Ventana	0,40	1,16	0,40	1,97
La Greda	0,20	0,58	0,20	0,98
Loncura	0,29	0,84	0,29	1,43
Total	0,88	2,59	0,90	<b>4,38</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.4.2 Aplicación de adhesivos

##### Metodología y factores de emisión

La metodología para la estimación de las emisiones de COV producto del uso de adhesivos, consiste en la cuantificación de la producción de adhesivos en base solventes y base acuosa comercializados en las regiones de estudio y su multiplicación por factores de emisión que dan cuenta del porcentaje de solvente utilizado en la formulación de los productos.

La ecuación de cálculo de emisiones está representada por la siguiente ecuación:

$$E = V_s * FE_s + V_a * FE_a \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde

E : emisiones de VOC producto de la aplicación de adhesivos [ton/año]

V<sub>s</sub> : venta de adhesivo base solvente [ton/año].

FE<sub>s</sub> : factor de emisión del adhesivo base solvente [ton VOC/ton de adhesivos]

V<sub>a</sub> : venta de solvente base acuosa [ton/año]

FEa : factor de emisión base acuosa [ton VOC/ton de adhesivos]

La determinación de la producción de adhesivos y su posterior comercialización se obtiene de los informes del INE sobre la producción industrial de adhesivos y su contraste con datos obtenidos de ASIQUIM, además de la utilización de datos de exportaciones e importaciones registrados por Aduana. La desagregación regional y comunal es generada a partir de la cantidad de población del área estudiada y de indicadores de actividad económica regional.

El consumo industrial de adhesivos es principalmente en la industria del calzado, el cuero y la madera, por lo cual es posible obtener a futuro antecedentes de su uso mediante la declaración de emisiones en base al Decreto Supremo N°138. Otro sector importante de consumo es el asociado al pegado de alfombras. El resto del consumo es de tipo residencial por lo cual se pueden obtener antecedentes mediante la encuesta de consumo familiar del INE.

Los factores de emisión utilizados provienen de estudios efectuados por la California Air Resources Board, sin embargo estos corresponden a emisiones de COV y sus valores resultan muy inferiores a los contenidos de solventes utilizados en la formulación de productos por las empresas chilenas, ya que éstas no tienen que cumplir con restricciones en tal sentido.

**Tabla 64. Factores de emisión para uso de adhesivos**

Naturaleza de la base de adhesivos	FE[kg COV/ton]
Solvente	430,90
Agua	0,00

Fuente: CARB.

Como ya se mencionó, el proceso de cálculo de emisiones requiere la cuantificación del consumo de adhesivo desagregadas en base acuosa y en base a solventes; esta información no se encuentra detallada a nivel regional por lo que los valores obtenidos a nivel nacional de ventas físicas de adhesivos durante el año en estudio, se ponderan por un factor que se asume representativo de la actividad económica en la región el cual es calculado en base al PIB registrado en el año y en el área de estudio.

**Tabla 65: Consumo de Adhesivo (ton/año) año 2006**

Localidades	Adhesivo	Venta (ton/año)	Exportación (ton/año)	Importación (ton/año)	Neto (ton/año)
Ventana	Base Agua	20,12	0,41	0,77	20,49
	Base Solvente	10,84	0,22	0,42	11,03
La Greda	Base Agua	10,06	0,21	0,39	10,24
	Base Solvente	5,42	0,11	0,21	5,52
Loncura	Base Agua	14,59	0,30	0,56	14,85
	Base Solvente	7,86	0,16	0,30	8,00

Fuente: Aduana 2006

Aplicando la metodología descrita anteriormente, las emisiones de COV por el uso de adhesivos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 66: Emisiones de COV, año 2006 (Ton/año)**

Localidades	Tipo de Solvente	
	Base Agua	Base Solvente
Ventana	0,00	4,75
La Greda	0,00	2,38
Loncura	0,00	3,45
<b>Total</b>	<b>0,00</b>	<b>10,58</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4.3 Solventes de Uso Doméstico

##### Metodología y factores de emisión

La metodología de estimación para el uso de solventes residenciales se basa en los resultados de la Encuesta de Presupuestos Familiares que realiza el INE cada 10 años. La última encuesta, se efectuó durante los años 1996 y 1997, cuyos resultados se entregaron al público a fines del año 1999.

Los productos que se consideran parte del grupo de solventes de uso doméstico se listan a continuación:

4632: Líquidos para limpiar y desmanchadores.

4633: Cera para pisos.

4634: Desodorantes ambientales.

4635: Insecticidas, fumigantes y desinfectantes.

9131: Cosméticos.

9153: Perfume, colonia y lociones.

9154: Desodorante.

9155: Otros del grupo 915, como champú, perfume, desodorante y otros.

Los productos bajo los códigos 9131 (cosméticos) y 9153 (perfume, colonia y lociones) se eliminaron del estudio, porque de acuerdo con el documento de la EPA<sup>16</sup>, tienen un bajo porcentaje de compuestos orgánicos fotorreactivos. También se eliminó del estudio el grupo 9155 (otros compuestos) por desconocerse la naturaleza de estos productos.

Los solventes de uso domésticos están constituidos por compuestos orgánicos volátiles y no volátiles, que no son necesariamente reactivos. Como consecuencia de esto, los factores de emisión están asociados al porcentaje de compuestos volátiles del producto, los cuales corresponden al valor de la formulación, donde se supone que todo el compuesto se volatiliza.

<sup>16</sup> "Compilation and Speciation of National Emission Factors for Consumer/Commercial Solvent Use: Information Compiled to Support Urban Air Toxics Assessment Studies", USA EPA, Abril 1989.

Los factores presentados en el Tabla 67 fueron obtenidos del documento de la EPA que especifica las emisiones de solventes de uso doméstico y comercial.

**Tabla 67. Factores de Emisión para Solventes de Uso Doméstico**

Producto	Factor [%/p COV]		
	Promedio	Mín	Máx
4632: Líquidos para limpiar y desmanchadores <sup>1</sup>	9.1	1.0	42.0
4633: cera para pisos	35.2	2.0	96.0
4634: desodorantes ambientales	67.3	35.5	95.0
4635: insecticidas, fumigantes y desinfectantes <sup>2</sup>	71.4	10.8	100.0
9154: desodorante	66.4	43.8	79.5

Fuente: USA-EPA

1: equivalente a “all purpose cleaners summary”. 2: se juntaron dos categorías: “insect sprays summary” y “herbicides y fungicides”.

### Niveles de Actividad

Para el cálculo del nivel de actividad se usaron los valores de consumo de solventes domésticos del último Censo para la Región Metropolitana donde se actualizó el consumo per cápita considerando el número total de personas de la RM al 2006. Posteriormente este consumo per cápita es aplicado al área de estudio. Los valores se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 68. Consumo de Solventes de Uso Doméstico (ton/año)**

Localidades	Consumo				
	Limpiador y desmanchadores	Cera para Pisos	Desodorante Ambiental	Insecticidas, fumigantes y Desinfectantes	Desod. General
Ventana	0,04	1,79	0,02	0,06	0,11
La Greda	0,02	0,90	0,01	0,03	0,05
Loncura	0,03	1,30	0,02	0,04	0,08
Total	0,10	3,99	0,05	0,13	0,24

Fuente: Elaboración propia

## Cálculo de Emisiones

La metodología general de estimación de emisiones provenientes del uso de solventes domésticos se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = C * FE \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

E : Emisiones anuales de COV [ton/año].

FE : Factor de emisión de COV [ton/año]

C : consumo de solvente anual [ton/año]

Aplicando la metodología explicada anteriormente, las emisiones de COV por el uso de adhesivos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 69. Emisiones deCOV (ton/año)**

Localidades	Consumo				
	Limpiador y desmanchadores	Cera para Pisos	Desodorante Ambiental	Insecticidas, fumigantes y Desinfectantes	Desod. General
Ventana	0,004	0,63	0,02	0,04	0,07
La Greda	0,002	0,32	0,01	0,02	0,04
Loncura	0,003	0,46	0,01	0,03	0,05
<b>Total</b>	<b>0,009</b>	<b>1,40</b>	<b>0,04</b>	<b>0,09</b>	<b>0,16</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.4.4 Aplicación de Asfalto

#### Metodología y factores de emisión

Las superficies y pavimentos de asfalto están compuestos por un agregado compactado y un adhesivo de asfalto. En esta categoría de fuente se manejan las emisiones de hidrocarburos de la evaporación de estos adhesivos.

La caracterización del asfalto se basa en el solvente que es utilizado como diluyente, y el tiempo necesario para su curado (por ejemplo, la gasolina o nafta son utilizadas como diluyentes para un curado rápido, mientras que el Kerosene y otros aceites combustibles de baja volatilidad son utilizados para un curado medio y lento).

Las emisiones de COV provienen de la evaporación del solvente destilado de petróleo que se utiliza para licuar el cemento asfáltico. El tipo y cantidad de diluyente usado son las dos variables principales que afectan las emisiones COVs totales y el tiempo en el que se presentan.

La metodología general de estimación de emisiones provenientes de la aplicación de asfalto y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = C * FE$$

**Ecuación 30**

Donde:

E : Emisiones anuales de COV [ton/año].

FE : Factor de emisión de COV [ton/año]

C : calles asfaltadas [Km/año]

El factor de emisión de acuerdo a las características anteriormente descritas se encuentra representado por la siguiente ecuación

$$FE = \frac{A * e * \frac{Vd}{100}}{0.001} * \frac{\rho d}{1000} * Peva$$

**Ecuación 31**

Donde:

A : Ancho de la calle ( metro)

E : Espesor del metro lineal

Vd : Porcentaje en volumen del diluyente contenido en la mezcla.

$\rho d$  : Densidad del diluyente en ( kg/l)

Peva : Porcentaje del diluyente que se evapora.

### Niveles de Actividad

Los niveles de actividad están dados por los Kilómetros de calles que son asfaltados en el área de estudio, esta información se obtuvo a partir de la información solicitada a las Municipalidades de Quintero y Puchuncaví. La superficie reportada en el caso de Loncura es de 4.105,35 m<sup>2</sup>, para La Greda no se reportó información. Para la localidad de Ventanas se estimó la superficie pavimentada y por lo tanto asfaltada mediante una relación entre los kilómetros totales pavimentados durante el año 2006 en la comuna de Puchuncaví, la superficie existente pavimentada en la comuna de Puchuncaví y la superficie existente pavimentada en la localidad de Ventanas.

La siguiente tabla resume los kilómetros asfaltados para cada localidad, utilizados en la estimación de emisiones por asfaltos de caminos.

**Tabla 70. Metros asfaltados de caminos.**

Sector	Total metros Asfaltados
Loncura (1)	205,27
La Greda (SI)	N/I
Ventana (2)	52,14
<b>Total</b>	<b>257,41</b>

Fuente: (1) Municipalidad de Quintero.  
(2) Estimación en base a información de Municipalidad de Puchuncavi.  
(SI): Sin información.

### Cálculo de Emisiones

Mediante la aplicación de la metodología anteriormente descrita se obtienen los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 71. Emisiones por asfaltados de caminos.**

Sector	Emisiones (Ton/Año)
Loncura	27,93
La Greda	-
Ventana	7,10
<b>Total</b>	<b>35,03</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **4.3.5 Fuentes Emisoras de NH<sub>3</sub>**

El NH<sub>3</sub> constituye unos de los precursores más importantes de material particulado secundario. Una vez que este contaminante se encuentra en la atmósfera por la interacción química en el aire se generan partículas de amonio.

Se consideran las siguientes fuentes emisoras de amoniaco:

- Emisiones Residenciales, que incluye las emisiones provenientes de actividades y desechos de seres humanos y las emisiones de desechos generados por animales domésticos.

### 4.3.5.1 Metodología del cálculo de emisiones

Las emisiones provenientes de seres humanos y animales, se calculan a través de factores de emisión asociados a las actividades que generan emisiones de este contaminante.

$$E = NA * FE$$

**Ecuación 32**

Donde:

E : Emisiones anuales de NH<sub>3</sub> [ton/año].

FE : Factor de emisión [ gr NH<sub>3</sub>/per/año]

NA : Población animales domésticos, Población Humana

Los factores de emisión utilizados son los proporcionados por el estudio "Development of the Ammonia Emission Inventory for the Southern California Air Quality Study", desarrollado por RADIANT, en Septiembre de 1991 y por "Development and Selection of Ammonia Emission Factors Final Report", desarrollado por la EPA en agosto de 1994.

FACTORES DE EMISION			
RESIDENCIALES	<b>Fuentes Emisoras de NH<sub>3</sub> por persona</b>		Unidades
	Respiración humana	1,59	gr NH <sub>3</sub> /per/año
	Transpiración humana	249,48	gr NH <sub>3</sub> /per/año
	Caseras	22,68	gr NH <sub>3</sub> /per/año
	<b>Residuos sólidos y líquidos niños &lt; 3 años</b>		
	Con pañal de género 1	3126,84	gr NH <sub>3</sub> /niño año
	Con pañal desechable	163,296	gr NH <sub>3</sub> /niño año
	<b>Residuos de adultos</b>		
	Personas	22,68	gr NH <sub>3</sub> /persona al año
	<b>Animales Domésticos</b>		
	Perros	2.49	gr NH <sub>3</sub> /animal
	Gatos	0.81	gr NH <sub>3</sub> /animal

### 4.3.5.2 Nivel de Actividad

En el caso de las fuentes emisoras de NH<sub>3</sub> por persona; residuos sólidos y líquidos de niños y residuos de adultos, se trabajó con la estadística de población para el año 2006 proporcionada por el INE

Para estimar el número de animales domésticos, se asume lo siguiente:

- La estimación poblacional total de toda el área de estudio para el año 2006, corresponde a 6.600 personas.
- Existe una proporción de 122 perros por cada 1000 personas y una a proporción de 83 gatos por cada 1000 personas.

Con respecto a las emisiones asociadas al uso de pañales en niños, se trabaja con datos proporcionados por el INE de acuerdo a tramos de edad con niños menores de 3 años, que estarían en edad de usar pañales.

Por otro lado, se asume que los niños que provienen de familias indigentes utilizarían pañales de género, este valor se obtuvo usando los datos de la “Población según línea de pobreza por región 1999-2006” de la encuesta CASEN . El porcentaje obtenido fue del 0.03% y por lo tanto el 99.97% restante utilizaría pañales desechables.

Para la fuente, Plantas de Tratamiento, se utiliza información proporcionada por la SISS “Informe de Gestión del Sector Sanitario año 2006, resumen coberturas de servicios sanitarios urbanos al 31 de diciembre de 2006 nivel empresa”, específicamente sobre cobertura de tratamiento de aguas servidas y caudal tratado.

Al 31 de Diciembre de 2006, 91.6% de la población de la V región estaba cubierto por un sistema de alcantarillado y de este el 100% contaba con un sistema de tratamiento de sus aguas servidas.

**Tabla 72. Niveles de Actividad**

<b>Año 2006</b>	
Población	6.600
Niños < 3 años	1.060
Adultos	5.540
Pob. Con tratamiento	0
Pob. Sin tratamiento	5.540
Niños con pañal desechable	1.030
Niños con pañal género (0,03% de los niños son indigentes)	30
Perros	805
Gatos	548

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 73. Niveles de Actividad por sector**

<b>Localidades</b>	<b>Población Total</b>	<b>Niños &lt; 3 años</b>	<b>Pob. Adultos</b>	<b>Pob. Con tratamiento</b>	<b>Pob. Sin tratamiento</b>	<b>Niños con pañal desechable</b>	<b>Niños con pañal género</b>
Ventana	2.966	437	2.529	2.122	407	425	12
La Greda	1.483	317	1.166	978	188	308	9
Loncura	2.150	305	1.845	1.548	297	297	9
<b>Total</b>	<b>6.600</b>	<b>1.060</b>	<b>5.540</b>	<b>4.648</b>	<b>892</b>	<b>1.030</b>	<b>30</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.5.3 Cálculo de Emisiones

La Tabla 74 resume para cada fuente emisora de NH<sub>3</sub>, el factor de emisión, el nivel de actividad y el correspondiente resultado de emisiones para el año 2006.

Tabla 74. Emisiones de NH<sub>3</sub> para la zona de estudio

Zona de estudio	FE	UNIDAD	Nivel de actividad		Emisiones	
					Ton/año	
<b>EMISIONES RESIDENCIALES</b>	<b>Fuentes Emisoras de NH<sub>3</sub></b>					
	Respiración humana	1,59	g NH <sub>3</sub> /per/año	5.540	Personas	0,01
	Transpiración humana	249,48	g NH <sub>3</sub> /per/año	5.540	Personas	1,38
	Caseras	22,68	g NH <sub>3</sub> /per/año	5.540	Personas	0,13
	<b>Residuos sólidos y líquidos niños &lt; 3 años</b>					
	Con pañal de género <sup>1</sup>	3126,84	g NH <sub>3</sub> /niño año	1.030	Personas	0,17
	Con pañal desechable	163,296	g NH <sub>3</sub> /niño año	30	Personas	0,09
	<b>Residuos de adultos</b>					
	Pob con tratamiento en plantas de aguas servidas	3,3266	Mg/Lt	0	% s. cobertura	0
	Población sin tratamiento	22,68	g NH <sub>3</sub> /persona al año	5.540	Pers / cobertura	0,13
	<b>Animales Domésticos</b>					
	Perros	2.49	kg/perro	805	Perros	0,002
	Gatos	0.81	Kg/gato	548	Gatos	0,0004
	<b>Total Emisiones Residenciales</b>					<b>1,91</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.6 Incendios Forestales

#### 4.3.6.1 Antecedentes generales de metodología de cálculo de emisiones y factores de Emisión.

Durante la combustión de materia vegetal, producto de incendios forestales, se incorporan a la atmósfera una gran cantidad de sustancias contaminantes, siendo las más importantes: monóxido de carbono, compuestos orgánicos gaseosos y material particulado, principalmente carbón no quemado. En las quemas de desechos vegetales se emiten bajas cantidades de óxidos de nitrógeno y se generan grandes cantidades de dióxido de carbono y vapor de agua.

En inventarios anteriores de las distintas regiones del país desarrollados por CONAMA, se han calculado emisiones utilizando una metodología (ver ecuación siguiente) que multiplica la superficie afectada o quemada (por comuna), por el factor de emisión, correspondiente al factor promedio indicado por la CARB<sup>17</sup> en sus reportes del año 1999, asociado a “grass and woodland”.

<sup>17</sup> California Air Resources Board, Source Inventory, Categories N° 751-752, Miscellaneous Emisión Sources Accidental Fires-Vegetation – Timber/Brush (751) – Grass/Woodland / Agricultural (752), año base 1999.

$$E = S * FE$$

### Ecuación 33

Donde:

E : Emisiones anuales [ton/año].

S : Superficie en hectáreas consumidas por quemas agrícolas.

FE : Factor de emisión del contaminante considerado.

La Corporación Nacional Forestal (CONAF), es la encargada de fiscalizar, prevenir y controlar los incendios forestales, por lo cual lleva un registro de estos, entregando la extensión de cada siniestro en hectáreas consumidas, separadas por comuna y distinguiendo en la siguiente clasificación:

- incendios de vegetación natural (separados en arbolado, matorral y pastizal)
- incendios de plantaciones forestales (separados en pino, eucaliptos, otras plantaciones)

Para incendios de vegetación natural hasta la fecha, en los inventarios regionales en nuestro país, se ha utilizado el mismo factor que para quemas agrícolas. La tabla siguiente resumen los factores utilizados para quemas agrícolas e incendios forestales.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones son los propuestos por California Air Resources Board (CARB), y se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 75. Factores de emisión**

Contaminante	Hierba y bosques (quemas agrícolas)	Madera y ramas (incendios forestales)
	Kg/ha	Kg/ha
CO	226,40	2790,81
NO <sub>x</sub>	----	131,13
TOG	43,71	168,12
PTS	35,87	571,61
NH <sub>3</sub>	1,34	2,69

Fuente: 1. California Air Resources Board 1999. 2. Radian, 1991.

3. Se asume que este factor de emisión corresponde a áreas de "Grass & Woodland," nombre en inglés especificado en la metodología de la CARB.

Nota: Los factores originales de la CARB están expresados en lbs/acre

Durante la combustión de material vegetal se incorporan a la atmósfera una gran cantidad de sustancias contaminantes, siendo los más importantes monóxidos de carbono, compuestos orgánicos gaseosos y material particulado, principalmente carbón no quemado. En las quemas de desechos vegetales, se emiten bajas cantidades de óxidos de nitrógeno y se generan grandes cantidades de dióxido de carbono y vapor de agua. En la metodología presentada por la CARB descrita anteriormente, las tasas de emisión de óxidos de nitrógeno se indican despreciables, como se observa en la tabla anterior.

### 4.3.6.2 Actualización metodología de estimación de emisiones de incendios forestales

Los incendios forestales son procesos de combustión incontrolados, de gran tamaño que consumen vegetación de variadas especies y tamaños en un área geográfica.

CARB presentó una actualización metodológica para calcular este tipo de emisiones. La documentación se presenta en la “Section 9.3, Wildfires, Revised Methodology October 2004”<sup>18</sup>, y la metodología se resume a continuación.

Para realizar la estimación se requiere de información sobre el tipo de material que se quema y la superficie afectada, además de los factores de emisión para cada tipo de material.

Las emisiones se obtienen de la siguiente ecuación:

$$E = S * FE * FC$$

**Ecuación 34**

Donde:

E : Emisiones anuales [ton/año].

S : Superficie en hectáreas consumidas por incendios forestales.

FE : Factor de emisión del contaminante considerado [lbs/Ton]

FC : Factor de carga [ton/acre]

Los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones dependen del diámetro del tronco de los árboles de las plantaciones, lo que tiene directa relación con la edad de la plantación (pino y eucaliptos). La siguiente tabla detalla los factores de emisión para cada edad de plantación y condición de humedad.

**Tabla 76. Factores de emisión en lbs/ton por tipo de vegetación quemada y humedad.**

	MP10			MP2,5			CO			CH4		
	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry
Litter, wood 0-1 in	9,3	9,3	9,3	7,9	7,9	7,9	52,4	52,4	52,4	2,1	2,1	21,0
Wood 1-3 in	14,0	14,0	14,0	11,9	11,9	11,9	111,4	111,4	111,4	4,5	4,5	4,5
Wood 3+ in	26,6	21,6	19,1	22,5	18,3	16,2	268,9	205,8	174,4	10,8	8,2	7,0
Herb, shrub, regen	25,1	25,1	25,1	21,3	21,3	21,3	249,2	249,2	249,2	10,0	10,0	10,0
Duff	28,2	30,4	30,4	23,9	25,8	25,8	288,6	316,1	316,1	11,5	12,6	12,6
Canopy fuels	25,1	25,1	25,1	21,3	21,3	21,3	249,2	249,2	249,2	10,0	10,0	10,0
	TNMHC			NH3			NOx			SO2		
	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry
Litter, wood 0-1 in	3,7	3,7	3,7	0,5	0,5	0,5	8,2	8,2	8,2	2,5	2,5	2,5
Wood 1-3 in	7,8	7,8	7,8	1,1	1,1	1,1	8,0	8,0	8,0	2,5	2,5	2,5
Wood 3+ in	18,8	14,4	12,2	2,7	2,1	1,7	7,3	7,6	7,7	2,2	2,3	2,4
Herb, shrub, regen	17,4	17,4	17,4	2,5	2,5	2,5	7,4	7,4	7,4	2,3	2,3	2,3
Duff	20,2	22,1	22,1	2,9	3,2	3,2	7,2	7,1	7,1	2,2	2,2	2,2
Canopy fuels	17,4	17,4	17,4	2,5	2,5	2,5	7,4	7,4	7,4	2,3	2,3	2,3

Fuente: CARB, “Section 9.3, Wildfires, Revised Methodology October 2004

<sup>18</sup> <http://arbis.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full9-3.pdf>

Respecto a la asignación de factores de emisión por tipo de vegetación y sus características, se tienen las siguientes consideraciones:

Respecto al matorral, se considerarán los factores de emisión definidos por la categoría “herb, shrub and regen”.

Respecto a los factores de emisión seleccionados para representar las tasas de emisión de pastizales, estos fueron tomados del estudio presentado por la CARB en la “Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology”<sup>19</sup>.

**Tabla 77. Factores de emisión asociados a pastizales (lb/ton)**

	MP10	MP2,5	CO	NOx	SO2
Pastizal	15,90	15,18	113,95	4,49	0,61

Fuente: CARB en la “Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology”

#### 4.3.6.3 Niveles de Actividad

La siguiente tabla detalla los incendios reportados por el Cuerpo de Bomberos de Quintero dentro de la zona de estudio para el año 2006.

**Tabla 78. Incendios reportados por bomberos por tipo de material**

Dirección	Superficie m2	Superficie (ha)	Tipo
Pomabamba con Las CuaTro Esquina	700	0,07	Matorrales
Yungay con Pasaje Buin Loncura	700	0,07	Matorrales
Sector el Vertedero	70	0,007	Matorrales
Ruta F-30-E Mantagua	90	0,009	Matorrales
Av Manquehue Loncura Alta	90	0,009	Pastizal
Vertedero Municipal	90	0,009	Pastizal
Ruta F-30-E sector Santa Adela	300	0,03	Pastizal
Vertedero Municipal	700	0,07	Pastizal
Ruta F-30-E Mantagua	3000	0,3	Pastizal
Vertedero Municipal	400	0,04	Pastizal
Polvorin Loncura Bajo	700	0,07	Pastizal
Polvorin Loncura Bajo	3000	0,3	Pastizal
Av. El Bosque Loncura Alto	155	0,0155	Pastizal
Av. El Bosque Loncura Alto	250	0,025	Pastizal
Polvorin Loncura Bajo	700	0,07	Pastizal
El Bosque Loncura	90	0,009	Pastizal
Ruta F-210 Cercano Bosques Las Petras	700	0,07	Pastizal
Ruta F-30- E Cabañas Sol y Lluvia	90	0,009	Pastizal
Las Brisas Marina Av EL Bosques Loncura alto	220	0,022	Pastizal
Brisas del mar Loncura Alto	700	0,07	Matorrales
Ruta F-30-E Santa Julia	700	0,07	Matorrales
Yungay con Pasaje Buin Loncura	200	0,02	Matorrales

Fuente: Cuerpo de Bomberos de Quintero.

<sup>19</sup> <http://o3.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full7-17.pdf>

#### 4.3.6.4 Cálculo de Emisiones

En la siguiente tabla se entregan las emisiones estimadas producto de incendios forestales.

**Tabla 79. Emisiones (Ton/año) Incendios Forestales.**

Tipo de material	CO	NOX	TOG	MP	NH3
Matorrales	0,0178	0,0151	0,1765	0,0052	0,0016
Pastizal	0,0374	0,0357	0,2678	0,0106	0,0014
<b>Total</b>	<b>0,0552</b>	<b>0,0508</b>	<b>0,4444</b>	<b>0,0158</b>	<b>0,0031</b>

#### 4.3.7 Incendios Urbanos

##### 4.3.7.1 Metodología y Factores de Emisión

Las emisiones generadas por los incendios urbanos son estimadas utilizando la metodología proveniente de “California Environmental Protection Agency, Carb, sección 7.14 Structure and Automobile Fires. Esta metodología considera el número de siniestros ocurridos durante el período de estudio y una tasa de emisión que representa los kilogramos de contaminante por siniestro ocurrido. La ecuación siguiente resume el cálculo de emisiones para este tipo de fuente:

$$E = K * FE$$

**Ecuación 35**

Donde:

E : emisiones anuales [ton/año].

K : número de siniestros ocurridos en un año.

FE : factor de emisión del contaminante considerado

Los factores de emisión son proporcionados por la CARB, y se presentan a continuación.

**Tabla 80. Factores de emisión para incendios urbanos**

	COV	NOx	SOx	MP	CO
kg/ton	7,0	2,0	0,0	5,4	84,0
kg/siniestro	8,0	2,3	0,0	6,2	97,0

Fuente: CARB, California.

##### 4.3.7.2 Niveles de Actividad

El nivel de actividad para esta fuente corresponde al número de incendios, esta información fue entregada por el Cuerpo de Bomberos de la comuna de Quintero para el año 2006 para la localidad de Loncura; en el caso de las localidades de Ventana y la Greda, no fue posible obtener estadísticas de incendios, por tanto se estimó una tasa de incendios por población, tomando como base la información reportada para Loncura.

La siguiente tabla reporta el número de incendios estructurales registrados para la localidad de Loncura, y los calculados para La Greda y Ventanas.

**Tabla 81. Número de siniestros en la zona de estudio.**

Localidad	Nº de incendios
Loncura <sup>1</sup>	2
La Greda <sup>2</sup>	4
Ventanas <sup>2</sup>	3
<b>Total</b>	<b>9</b>

Fuente: <sup>1</sup>. Cuerpo de Bomberos de Quintero.

<sup>2</sup>. Estimación en base a información del Cuerpo de Bomberos de Quintero.

### 4.3.7.3 Cálculo de Emisiones

La siguiente tabla entrega las emisiones producto de incendios urbanos por cada zona considerada.

**Tabla 82. Emisiones provenientes de incendios estructurales 2006, (ton/año)**

Localidad	Emisiones en Ton/año			
	COV	NOX	MP	CO
Loncura <sup>1</sup>	0,016	0,005	0,013	0,195
La Greda <sup>2</sup>	0,032	0,009	0,025	0,386
Ventanas <sup>2</sup>	0,023	0,007	0,018	0,279
<b>Total</b>	<b>0,071</b>	<b>0,020</b>	<b>0,055</b>	<b>0,806</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.8 Fuentes de Polvo Fugitivo

#### 4.3.8.1 Construcción y Demolición

##### 4.3.8.1.1 Construcción

##### Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La metodología para la estimación de emisiones se basa en un factor de emisión, en el tiempo en que demora la realización de la obra y en la superficie de terreno intervenida, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E = A * T * FE$$

**Ecuación 36**

Donde:

E : emisiones de material particulado [kg/año]

A : área intervenida en la construcción [m<sup>2</sup>]

T : tiempo de duración de la obra [mes]

FE : factor de emisión de material particulado [kg/m<sup>2</sup>-mes]

El factor de emisión que se presenta, es el determinado por la CARB Section: 7.7 Building Construction Dust” (Revised September 2002) utilizado en Inventarios anteriores de DICTUC:

**Tabla 83. Factores de emisión para construcción de edificios [kg/m<sup>2</sup>-mes].**

<b>MP10</b>	<b>PTS</b>
0,0247	0,0504

Fuente: CARB Section: 7.7 Building Construction Dust”  
(Revised September 2002)

Los factores de emisión presentados consideran efectos aplicando medidas de control, específicamente lo referente al riego de la tierra que está siendo removida. Se asume un 50% de eficiencia al aplicar esta medida, por lo tanto si los factores de emisión son utilizados para actividades de construcción donde no se utiliza el riego, el valor del factor debería ser el doble para reflejar la emisión real de polvo del proceso de construcción.

#### Niveles de Actividad y Cálculo de Emisiones

La siguiente Tabla, muestra los m<sup>2</sup> construidos para el año 2006, en base a lo reportado por las Municipalidades de Quintero y Puchuncaví, para las tres localidades que comprenden el área de estudio.

**Tabla 84. Metros cuadrados construidos para el año 2006**

<b>Localidad</b>	<b>m<sup>2</sup> construidos</b>
Locura	269.156,24
La Greda	170,38
Ventanas	1.106,53
<b>Total</b>	<b>270.433,15</b>

Fuente: Dirección de Obras, Municipalidad de Quintero y  
Municipalidad de Puchuncaví

Aplicando la metodología y asumiendo que el tiempo de duración es de 12 meses, se obtienen los siguientes resultados de emisiones de MP10, desagregados por localidad:

**Tabla 85. Emisiones por construcción.**

<b>Localidad</b>	<b>MP<sub>10</sub></b>
Locura	39,89
La Greda	0,16
Ventanas	0,05
<b>Total</b>	<b>40,10</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.8.1.2 Construcción de Caminos

##### Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

El área que es afectada por la construcción de caminos se estima a partir de los kilómetros de caminos construidos y de la superficie intervenida por kilómetro dependiendo del tipo de vía autopista, carretera o calle en ciudad<sup>20</sup>.

Los kilómetros de caminos construidos en un año se estiman a partir de la diferencia en los kilómetros de caminos reportados en el año en que se realiza el inventario con respecto al año anterior. Este valor es dividido en los tres tipos de caminos mencionados en el párrafo anterior y el valor de superficie por kilómetro construido se obtiene a partir del número de pistas, ancho de las pistas y el ancho de la berma para cada tipo de camino. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 86. Superficie por kilómetro de camino construido.**

Parámetros	Tipo de camino		
	Autopista	Carretera	Calle en ciudad
Número de pistas	5	3	2
Ancho por pista [m]	4	4	4
Ancho de la berma [m]	3(m)*4=12	6(m)*2=12	6(m)*2=12
Ancho del camino [m]*	32	24	20
Área por kilómetro [m <sup>2</sup> ]**	32000	24000	20000

\*Ancho del camino [m] = pistas x ancho de pista + ancho de berma.

\*\* Área por kilómetro [m<sup>2</sup>] = 1 kilómetro x Ancho x (1000 m/1 km)

Fuente: CARB, California.

Los valores mostrados en la tabla anterior, son conservadores debido a que no consideran los posibles movimientos de tierra que se realizan en las inmediaciones del camino. Se estima que la duración de las obras es de aproximadamente 6 meses.

El factor de emisión utilizado para la evaluación de las emisiones asociadas a la construcción de caminos, fue obtenido de "Section 7.8 Road Construction Dus, CARB" revisión agosto 1997, y está basado en el Midwest Research Institute de California, año 1996.

**Tabla 87. Factores de emisión para construcción de caminos (kg/m<sup>2</sup>-mes)**

Factores de emisión	MP10	PTS
Construcción de caminos	0,0247	0,042

Fuente: CARB, California, 1997

<sup>20</sup> Los tipos de caminos señalados en la literatura corresponden a freeway, highway y city&county. El tipo freeway corresponde a carreteras donde no se paga peaje.

## Niveles de actividad

La información de caminos construidos para las localidades del área de estudio, se ha obtenido a partir de la información solicitada a las Municipalidades de Quintero y Puchuncaví. La superficie reportada en el caso de Loncura es de 4.105,35 m<sup>2</sup>, para La Greda no se reportó información. Para la localidad de Ventanas se estimó la superficie pavimentada mediante una relación entre los kilómetros totales pavimentados durante el año 2006 en la comuna de Puchuncaví, la superficie existente pavimentada en la comuna de Puchuncaví y la superficie existente pavimentada en la localidad de Ventanas.

La siguiente tabla resume los m<sup>2</sup> construidos para cada localidad, utilizados en la estimación de emisiones por construcción de caminos.

**Tabla 88. M<sup>2</sup> construidos de caminos.**

Sector	Total m2 construidos
Loncura (1)	4.105,35
La Greda	N/I
Ventana (2)	1.042,81
<b>Total</b>	<b>5.148,16</b>

Fuente: (1) Municipalidad de Quintero.

(2) Estimación en base a información entregada por Municipalidad de Puchuncavi.

## Cálculo de Emisiones

En la siguiente tabla se muestran los valores calculados

**Tabla 89. Construcción de caminos y emisiones de MP<sub>10</sub>. Año 2006.**

Localidades	Superficie (m <sup>2</sup> )	Emisiones (Ton/año)
		MP10
Loncura	4.105,35	1,34
La Greda	N/I	N/E
Ventanas	1,042.81	0.34
<b>Total</b>	<b>5,148.16</b>	<b>1.68</b>

Fuente: Dirección de Obras Municipales, Municipalidad de Quintero.

N/I: No Informado.

N/E: No estimado.

## 4.3.8.2 Polvo Resuspendido

### 4.3.8.2.1 Calles pavimentadas

Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La metodología se describe en la sección de fuentes móviles, ya que esta es calcula con el modelo de emisiones MODEM II (ver sección 4.1.13)

### 4.3.8.2.2 Calles no pavimentadas

Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La tasa anual de emisiones para tramos de calle sin pavimentar, se estima como el producto entre la tasa de emisión diaria y el número de días con precipitaciones menores de 0.25 mm, es decir:

$$E_{pa} = E_d (365 - (n/24 + 1)p) \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde :

$E_{pa}$  : tasa de emisión anual de partículas para el tramo de calle sin pavimentar [g/año].

$E_d$  : tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle sin pavimentar [g/día].

$p$  : días al año con precipitaciones mayores de 0.25 mm.

$n$  : número de horas que demora en secar la calle, después de la última lluvia.

Para el cálculo de la emisión específico se utiliza la siguiente expresión:

$$E_d = F_e * F * L \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde :

$E_d$  : tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle sin pavimentar [g/día].

$F_e$  : factor de emisión de partículas por calle [gr/vehículo-km]

$F$  : flujo vehículo diario[vehículo/día]

$L$  :longitud del tramo [km]

La última versión del AP-42 de la EPA, correspondiente al año 2003, señala la siguiente expresión para determinar el factor de emisión a evaluar:

$$e = \frac{k \left[ \frac{s}{12} \right]^a \left[ \frac{w}{3} \right]^b}{\left[ \frac{m}{0.2} \right]^c} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

e: factor de emisión [kg/km-vehículo recorrido].

k: factor de corrección por tamaño de partículas [adimensional].

s: contenido de partículas finas en la superficie de la calle [%].

w: peso promedio de los vehículos [Toneladas].

m : contenido de humedad de la superficie [%]

a; b; c : constantes

## Niveles de Actividad

Los niveles de actividad para esta fuente corresponden a los kilómetros existentes sin pavimentar y el flujo de vehículos promedio diario que circula por estas vías. El total de Km sin pavimentar se obtuvo a partir de la red modelada considerada en el área de estudio.

Los flujos vehiculares fueron obtenidos del procesamiento de los conteos vehiculares realizados en la zona de estudio, pues se consideraron puntos de conteo tanto en calles pavimentadas como en calles sin pavimentar. Con el fin de realizar una mejor estimación del las emisiones de polvo resuspendido por el paso de vehículos se diferenció cada zona en tres tipos de calles:

- 1- Calles por donde circulan solo vehículos livianos.
- 2- Calles por donde circulan camiones y vehículos livianos.
- 3- Calles por donde circulan camiones, vehículos livianos y transporte público.

El cálculo de emisiones consideró un total de 32 días con precipitaciones superiores a 0.25 mm para el año 2006.

El contenido de silt utilizado es de 12,1%, según los análisis realizados a las muestras de polvo en calles no pavimentadas de la zona de estudio.

## Calculo de Emisiones

### Calles pavimentadas

Las emisiones de polvo resuspendido por la circulación de vehículos en calles pavimentadas (sobre la red modelada) se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 90. Emisiones de MP<sub>10</sub>, Año 2006**

Sector	MP10 (ton/año)	MP2,5 (ton/año)
Industrial	96,69	13,87
La Greda	55,03	7,90
Loncura	57,09	8,19
Ventanas	17,18	2,47
<b>Total</b>	<b>225,99</b>	<b>32,42</b>

Fuente: Elaboración Propia

### Calles sin pavimentar

Las emisiones de polvo resuspendido por la circulación de vehículos en calles no pavimentadas se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 91. Emisiones de calles sin Pavimentar, MP10 y MP2,5. Año 2006.**

Localidad	Longitud (m)	PM10 (ton/año)	PM2,5 (ton/año)
Ventana	9.378,04	118,67	11,79
Loncura	28.221,31	283,61	28,19
La Greda	2.709,37	12,64	1,26
<b>Total</b>	<b>40.308,72</b>	<b>414,92</b>	<b>41,26</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.9 Erosión Eólica

Respecto a las emisiones de material particulado proveniente de la erosión eólica, éstas serán estimadas a partir de la utilización de la metodología EPA, en su modelo Wind Erosion Model, WEM. Esta metodología se basa en la relación que identifica al flujo de partículas como proporcional al cubo de la velocidad del viento.

La siguiente ecuación resume la metodología de estimación de emisiones de polvo por la acción erosiva del viento:

$$E = Fe * A \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde :

E : Emisión de material particulado (ton/año)].

Fe : factor de emisión

A : Área erosionable (ha)

Respecto al factor de emisión, éste se obtiene a partir de la siguiente ecuación, el cual se encuentra en función de parámetros meteorológicos y de factores de cobertura superficial vegetativo y/o constructivo:

$$Ef = 6,3081 * k * (1 - v) * \left( \frac{u}{u_t} \right)^3 * c(x) \quad \text{Ecuación 41}$$

$$u_t = \frac{u_t^*}{0,4} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde :

Ef : Factor de emisión (ton/ha-año)

K : Factor aerodinámico de partículas (adimensional)

V : Fracción de superficie cubierta (corresponde a 0 (cero) para suelo desnudo)

U : Velocidad promedio del viento (m/s)

U<sub>t</sub> : Velocidad de fricción umbral a la altura del anemómetro (m/s)

C(x) : Factor de corrección

X : 0,886 (ut/u) : razón adimensional

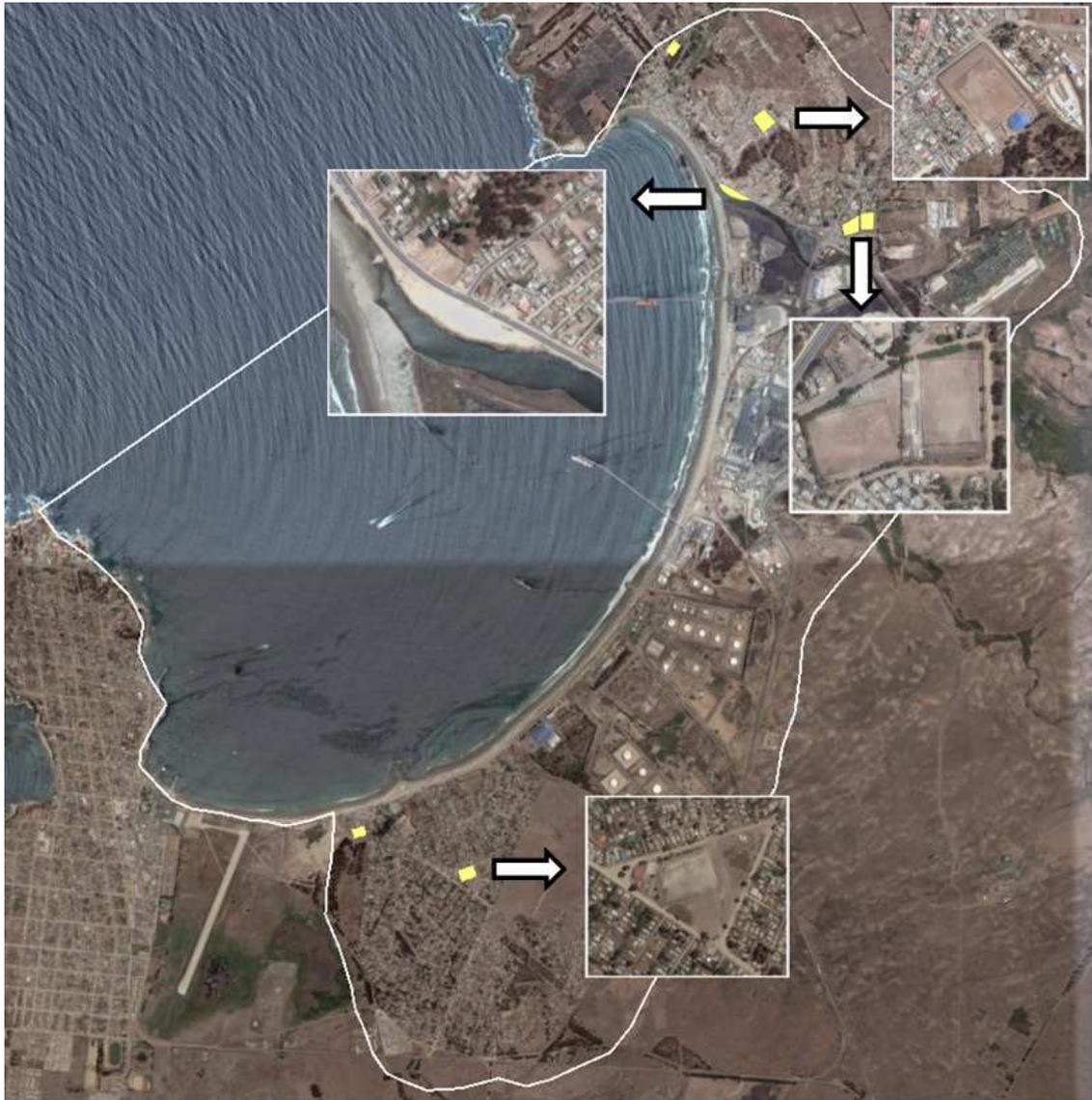
U\*<sub>t</sub> : Velocidad de fricción umbral del material de la superficie (m/s)

Z : Altura del anemómetro (m)

Z<sub>o</sub> : Rugosidad de la superficie (m)

### Niveles de Actividad

El nivel de actividad para este tipo de fuente esta dado por la superficie expuesta a erosión eólica. Los sitios eriazos fueron identificados en terreno por el equipo consultor. La siguiente figura muestra algunos de los principales sitios eriazos identificados, para los cuales se estimaron sus emisiones debido a erosión eólica.



**Figura 19. Ubicación de algunos sitios eriazos en la zona de estudio.**

La siguiente tabla entrega las superficies consideradas para la estimación de polvo resuspendido por erosión eólica.

**Tabla 92. Superficies de sitios eriazos en área de estudio.**

Sitio	Sector	Superficie (m <sup>2</sup> )
1	Ventanas	5.160,00
2	Ventanas	11.446,00
3	Ventanas	19.184,62
4	La Greda	14.373,68
5	La Greda	12.103,73
6	Loncura	10.428,15
7	Loncura	6.925,23

Fuente: Elaboración propia

### Calculo de emisiones

Según la metodología de cálculo, las emisiones dependen (entre otras variables) de la velocidad del viento. Existe una velocidad llamada *velocidad de fricción umbral a la altura del anemómetro*, que indica la velocidad del viento a la cual comienza a producirse erosión según las características del suelo, esta velocidad es alcanzada muy pocas veces durante el año, y por cortos periodos, por tanto las emisiones estimadas son bajas en comparación con otras fuentes como polvo resuspendido por tráfico, donde la emisión depende fuertemente del flujo vehicular.

La siguiente tabla entrega las estimaciones de emisión de polvo por erosión eólica.

**Tabla 93. Emisión de polvo por erosión eólica.**

Sitio	Emisión (ton/año)	
	MP10	MP2,5
1	0,05	0,01
2	0,12	0,02
3	0,20	0,03
4	0,15	0,02
5	0,13	0,02
6	0,40	0,06
7	0,27	0,04
<b>Total</b>	<b>1,32</b>	<b>0,20</b>

Fuente: Elaboración propia

## 4.4 Fuentes fijas

### 4.4.1 Antecedentes Generales

#### Zona Saturada

El año 1992 fue aprobado el Plan de Descontaminación Atmosférica de la Zona Industrial de Ventanas, mediante el D.S. N° 252/92 del Ministerio de Minería. En él se establecen las metas de reducción de emisiones para la central termoeléctrica Chilgener S.A. (actualmente AES Gener S.A.) y para la fundición y refinería de cobre de ENAMI (actualmente, Codelco División Ventanas).

Este plan fue desarrollado en conjunto por ambas empresas con el fin de recuperar la calidad del aire en la zona, ya que se había constatado la superación de las normas de calidad ambiental definidas por el D.S. N° 185/91 del Ministerio de Minería que reglamenta funcionamiento de establecimiento emisores de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico en todo el territorio de la república.

El año 1993 se decretó zona saturada por material particulado y anhídrido sulfuroso a toda la zona industrial de Ventanas mediante D.S. N° 346/93 del Ministerio de Agricultura.

El plan de descontaminación estableció un programa de reducción de emisiones de Anhídrido Sulfuroso y Material Particulado, según se muestra a continuación:

**Tabla 94.** Programa de Reducción de Emisiones para Azufre y Anhídrido Sulfuroso

EMISIONES			
AÑO	ENAMI - Ventanas		CHILGENER Anhídrido Sulfuroso (SO <sub>2</sub> )
	Azufre (S)		
	T/año	T/día*	
1993	62.000	170	Deberá cumplir con la norma de emisión de 1,13 Kg. de SO <sub>2</sub> por millón de BTU
1994	62.000	170	
1995	62.000	170	
1996	62.000	170	
1997	62.000	170	
1998	45.000	123	

\* Los valores diarios se han calculado dividiendo la emisión anual por 365 días y no representan una limitación a las emisiones diarias.

**Tabla 95** Programa de Reducción de Emisiones para Material Particulado

<b>EMISIONES MATERIAL PARTICULADO</b>				
<b>AÑO</b>	<b>ENAMI - Ventanas</b>		<b>CHILGENER S.A.</b>	
	<b>T/año</b>	<b>T/día*</b>	<b>T/Año</b>	<b>T/día*</b>
1993	3.400	9.3	26.000	71.3
1994	3.400	9.3	26.000	71.3
1995	3.400	9.3	3.000	8.2
1996	3.400	9.3	3.000	8.2
1997	3.400	9.3	3.000	8.2
1998	2.000	5.5	3.000	8.2
1999	1.000	2.7	3.000	8.2

\* Los valores diarios se han calculado dividiendo la emisión anual por 365 días y no representan una limitación a las emisiones diarias.

Se estableció que ambas empresas implementaran un Plan Operacional de Episodios Críticos para controlar eventos de episodios críticos de concentración ambiental de anhídrido sulfuroso, además se exigió a Chilgener, instalar y operar un equipo de monitoreo continuo de material particulado y anhídrido sulfuroso en sus chimeneas de descarga, para efectos de fiscalizar las emisiones por parte de la autoridad sanitaria.

Se indicó qué tipo de información deberá presentar cada empresa y su periodicidad:

Enami – Ventanas:

- Emisiones de azufre, determinadas por balance de masa o por monitoreo continuo, mediante informes mensuales que contendrá el promedio mensual de las emisiones.
- Emisiones de material particulado, determinados por monitoreo continuo o por muestreo Isocinético definido en el numerando 5°, del Decreto N°32, de 1990 y en el numerando 2°, del Decreto N° 32, de 1991, ambos del Ministerio de Salud, mediante informes semestrales que contendrán valores promedio de mediciones de una campaña quincenal realizada en chimenea.

Chilgener S.A.

- Emisiones de azufre y material particulado, mediante informes mensuales que obtendrán los registros del monitoreo continuo de azufre y material particulado a que está obligado según el artículo 6° del presente Decreto.
- Generación mensual en millones de Unidades Termales Británicas (BTU).

## Informe Seguimiento 1993 – 2006

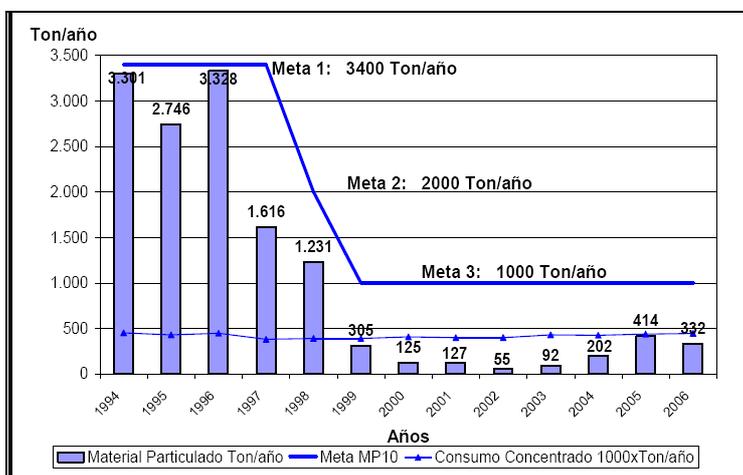
### Emisiones

#### Reducción de Emisiones

Los siguientes gráficos muestran una evolución histórica de las emisiones de material particulado y anhídrido sulfuroso muy positiva, logrando una reducción significativa desde 1993 a 2006 de las emisiones.

#### *Material Particulado*

En el período 1994 a 1996 se produjo una significativa reducción de emisiones de material particulado (26.705 Ton/año a 3.870 Ton/año, respectivamente), lo que coincidió con la plena operación de los precipitadores electrostáticos instalados por AES GENER S.A. en Febrero de 1995 y la disminución en el contenido de ceniza y azufre del carbón empleado en la central termoeléctrica. Posterior al año 1998 se vuelve a manifestar una reducción de emisiones del SO<sub>2</sub>, por parte de ENAMI, lo que coincide con la implementación de las modificaciones realizadas en la fundición, destinadas a la captación directa de emisiones de SO<sub>2</sub> e indirectamente a la disminución de Material Particulado. A partir del año 2000 las emisiones de material particulado se encuentran por debajo de las 1.500 Ton/año llegando a 668 toneladas anuales en el año 2006, lo que representa un 2,5% de las emisiones del año 1996, o lo que es equivalente una reducción aproximada de un 97,5 % en las emisiones de material particulado de la zona.



**Figura 20 Evolución histórica de las Emisiones de Material Particulado.  
CODELCO DIVISION VENTANAS.**

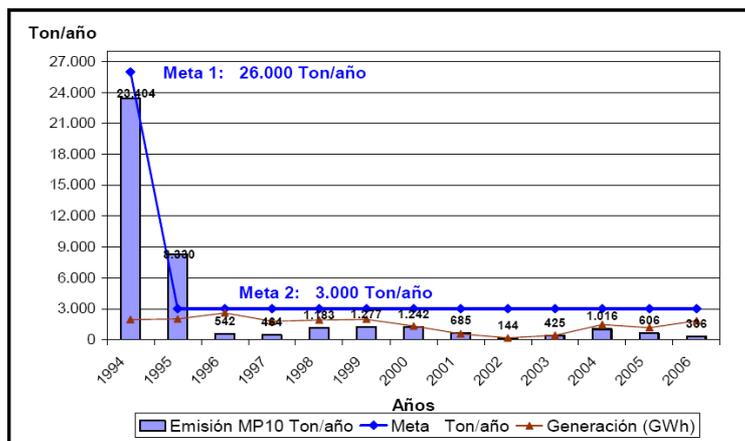


Figura 21 Evolución histórica de Emisiones de Material Particulado. AES GENER S.A.

**Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>)**

Respecto de la reducción de las emisiones de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), entre 1996 y 1999 se produce una significativa disminución en las emisiones, desde 117.322 Ton/año a 30.734 Ton/año, coincidiendo con la implementación de la Planta de Ácido e instalación del horno Eléctrico el año 1997, y el manejo de los gases del Horno Eléctrico el año 1999. A partir del año 2000 las emisiones se encuentran bajo las 40.000 Ton/año llegando en el año 2006 a 35.763 Ton anuales, lo que representa un 28,3 % de las emisiones del año 1996, o lo que es equivalente una reducción aproximada de un 71,7 % de las emisiones de SO<sub>2</sub> de la zona.

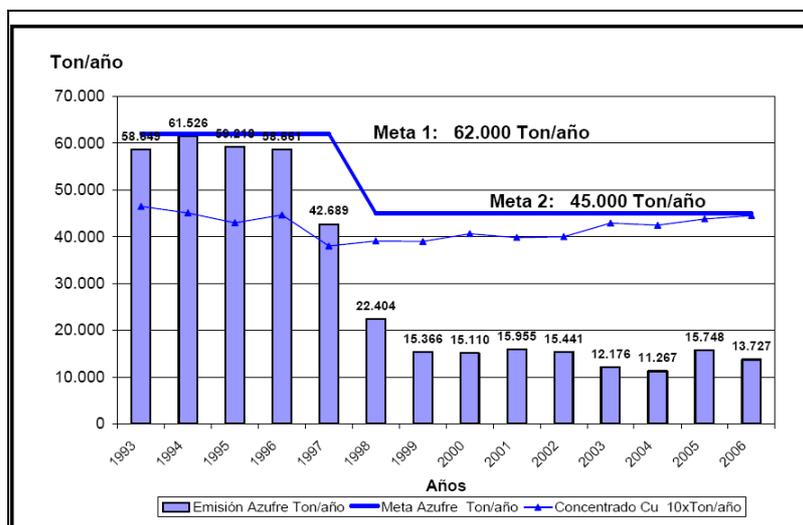
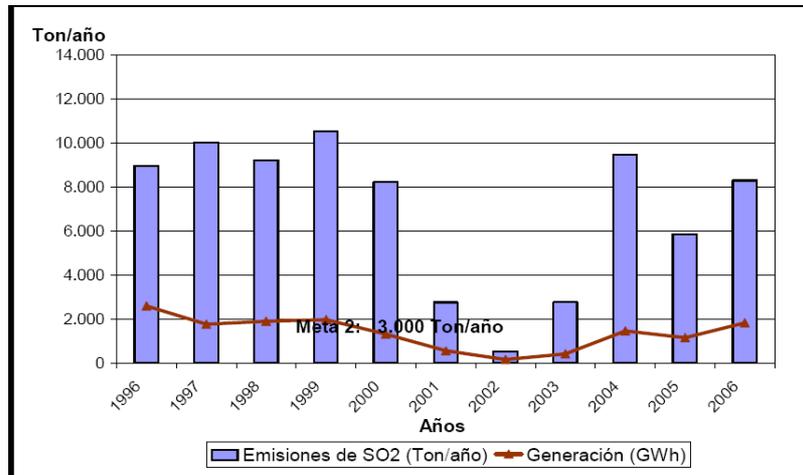


Figura 22 Evolución histórica de Emisiones de Azufre (S). CODELCO DIVISION VENTANAS



**Figura 23 Evolución histórica de las Emisiones de SO<sub>2</sub>.  
AES GENER. S.A.**

### Metas de Emisión

#### CODELCO

##### *Material Particulado*

En los últimos 4 años la emisión de la División ha alcanzado un nivel no mayor al 26 % de la Meta de emisión establecida en el D.S. N° 252.

##### *Anhídrido Sulfuroso*

En los últimos 4 años la emisión promedio ha alcanzado un 29,4 % de la meta de emisión establecida en el D.S. N° 252.

#### AES GENER S.A.

##### *Material Particulado*

A partir del año 1999 la emisión se ha mantenido bajo el 43% de la emisión establecida en el D.S. N° 252.

##### *Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>)*

Desde el año 2000 A.E.S GENER S.A. no ha excedido la norma de emisión de 1,13 (Kg de SO<sub>2</sub> por millones de BTU) establecida por el D.S. N° 252/92

## Calidad del Aire

Del análisis de los monitoreos de la Red Ventanas en el período comprendido entre los Años 1993 y 2006 se concluye lo siguiente:

### Normas Primarias

- Norma primaria de SO<sub>2</sub> diaria (D.S.N°113/02): Se observan niveles bajo saturación a partir del año 2003 y bajo latencia a partir del año 2004 en adelante.
- Norma primaria de SO<sub>2</sub> Anual (D.S.N°113/02): Se observan niveles bajo saturación a partir del año 2000 y bajo latencia a partir del año 2002 en adelante.
- Norma primaria de MP<sub>10</sub> diaria (D.S.N°59/ 98): Se observa niveles bajo saturación a partir del año 2000. A partir del año 2003 se observan valores bajo el nivel de latencia, sin embargo el año 2006 se registran valores sobre el nivel de latencia en la estación La Greda.
- Norma primaria Anual de MP<sub>10</sub> (D.S. N°45/01): Se observan niveles bajo saturación a partir del año 2002, sin embargo se mantienen niveles de latencia en la estación La Greda.

### Normas Secundarias

Respecto de la norma de calidad de aire secundaria, se observa un incumplimiento de la norma horaria de SO<sub>2</sub>. Desde el año 1993 al 2006, las concentraciones registradas se encuentran sobre el nivel de saturación.

#### **4.4.2 INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS**

##### **Antecedentes Generales**

La zona industrial de Ventanas se encuentra ubicada en la comuna de Puchuncaví en la Quinta Región de Valparaíso, contigua a la comuna de Quintero.

Las empresas identificadas durante la campaña en terreno para el desarrollo del inventario de emisiones de fuentes fijas fueron nueve (9):

- AES GENER S.A.
- CODELCO División Ventanas
- Comercial Catamutún S.A.
- Compañía de Petróleos de Chile (COPEC S.A.)
- Empresa Nacional del Petróleo (ENAP)
- Empresas Melón S.A.
- GASMAR S.A.
- OXIQUM S.A.
- Puerto Ventanas S.A.

La ubicación general de la zona industrial y la distribución espacial de cada una de estas empresas se muestran en las siguientes figuras.

En la Figura 24 se muestra la zona industrial de Ventanas dentro de un polígono rojo, al suroeste de éste, se encuentra Quintero y Loncura, al noreste, Puchuncaví.



**Figura 24. Zona Industrial de Ventanas**

En las siguientes figuras se muestra la ubicación dentro de la zona industrial de las distintas empresas inventariadas, enmarcadas dentro de polígonos azules.



**Figura 25. Ubicación Empresas.**



**Figura 26. Ubicación Empresas, continuación.**

#### **4.4.2.1 Cálculo de Emisiones.**

En esta sección se entregará el detalle de cada fuente identificada en el inventario de fuentes fijas industriales, los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones, su ciclo operacional, consumos de combustibles, características generales y específicas (alturas de chimeneas, diámetros,  $t^{\circ}$  de salida de los gases, velocidad de salida de los gases, muestreos isocinéticos si los hay), entre otros. Se distinguirán 2 tipos de clasificaciones, en primer lugar según el titular de la fuente y en segundo término según la clasificación de la fuente en el inventario.

#### **AES GENER S.A. – Central Ventanas**

AES Gener S.A. (AES Gener) es una sociedad anónima abierta orientada fundamentalmente a la generación de electricidad en Chile. Sirve al Sistema Interconectado Central, SIC, a través de cuatro centrales hidroeléctricas de pasada, dos centrales termoeléctricas a carbón y una central turbogas a petróleo diesel, todas pertenecientes directamente a AES Gener.

La central termoeléctrica de Ventanas cuenta dos unidades generadoras a carbón (calderas acuotubulares) con una potencia eléctrica total de 338 MW. Cada unidad está conectada a un precipitador electrostático de tres campos que retiene las partículas suspendidas en el

flujo de gases de escape de los ductos de salida, reduciendo las emisiones de material particulado a la atmósfera. El carbón utilizado puede ser bituminoso como subbituminoso y se emplea en estado pulverizado.

La recepción del carbón se hace a través de Puerto Ventanas S.A., quien arrienda sus instalaciones a Aes Gener para la recepción de carbón a través de barcos de graneles y su transporte hasta la cancha de almacenamiento es mediante cinta transportadora cubierta. Éste carbón es descargado en zonas de acopio mediante una correa giratoria y luego es distribuido mediante cargadores frontales para su posterior uso como combustible en las unidades de generación.

La empresa comercializa una parte del carbón recepcionado para clientes externos además de despachar parte del combustible a la central Laguna Verde. Este combustible es cargado mediante correa transportadora a los camiones o bien directamente en la cancha de acopio mediante cargadores frontales.

La ubicación georreferenciada de las fuentes de emisión identificadas se muestran a continuación:

**Tabla 96. Ubicación Georreferenciada Fuentes Aes Gener y Características ductos Salida**

FUENTE	COORDENADAS (WGS84)	
	UTM N	UTM E
Unidad 1	6.373.617	267.441
Unidad 2	6.373.546	267.434
Operación maquinaria interna	6.373.546	267.434
Molino	6.373.428	267.353
Harnero	6.373.428	267.353
Carga carbón a canchas desde correa rotatoria	6.373.633	267.508
Carga carbón a camiones desde correa transportadora (clientes)	6.373.408	267.447
Carga carbón a camiones con cargador frontal (clientes)	6.373.408	267.447
Carga carbón camiones para laguna verde (cargador frontal)	6.373.653	267.508
Transito camiones cancha acopio carbón (despacho a laguna verde)	6.373.653	267.508
Transito camiones camino acceso Pto. Ventanas (despacho clientes)	6.373.428	267.353
Emisión desde pilas por acción del viento	6.373.653	267.508

#### **Unidades Generadoras N° 1 y N° 2:**

El ciclo operacional de ambas unidades y la cantidad de combustible consumido se muestran a continuación:

**Tabla 97. Ciclo Operación 2006 Unidades 1 y 2**

UNIDAD	Días Operación 2006	Horas Operación 2006	Combustible Consumido (Tons/Año)
N° 1	251	5.797	213.511
N° 2	307	7.273	490.679

Las características de los ductos de escape de cada unidad se muestran a continuación:

**Tabla 98. Características Ducto 1 y 2**

UNIDAD	Equipo de Control	Características de la Chimenea (m)		T° Salida de los Gases (°C)	Velocidad de Salida de los Gases (m/s)
		Diámetro	Altura		
N° 1	PES <sup>21</sup>	4,1	61	117	9
N° 2	PES	4,9	61,6	123	13

Como equipos de control de material particulado, cada unidad tiene instalado y en operación un precipitador electroestático de tres campos, con una eficiencia teórica para la retención de partículas de un 99%. Junto con esta medida de control para las emisiones de material particulado, la empresa redujo el contenido de cenizas de un 20% a un 10%. Para el caso del manejo de las emisiones de anhídrido sulfuroso, se redujo el porcentaje de azufre en el carbón de un 3% a un 1,4%.

Ambas unidades tienen instalados y en operación equipos de monitoreo continuo de MP y SO<sub>x</sub> en ambas chimeneas de descarga, las emisiones mensuales, en toneladas mensuales de material particulado por chimenea se muestra a continuación, según la información reportada por la empresa.

**Tabla 99. Emisiones Aes Gener Ventanas 2006**

MES	CH 1				CH 2			
	Energía (Mill. Btu)	Consumo Combustible (Tons)	EMISION MP (Tons)	EMISION SO <sub>2</sub> (TONS)	Energía (Mill. Btu)	Consumo Combustible (Tons)	EMISION MP (Tons)	EMISION SO <sub>2</sub> (TONS)
1	74.649	3.081	17,62	32,19	476.803	19.786	10,56	201,41
2	665.159	25.921	14,36	250,38	1.324.381	55.160	25,83	483,21
3	677.713	27.590	23,81	345,06	1.344.920	55.160	24,05	662,15
4	735.293	30.010	32,55	428,40	1.424.811	58.014	18,01	807,75
5	714.610	29.237	21,67	303,50	1.433.288	58.707	33,36	606,94
6	590.908	23.973	10,42	305,69	1.191.119	48.747	18,13	566,18
7	132.854	5.515	2,75	80,11	910.579	38.145	11,01	484,93
8	437.413	18.096	4,90	260,57	941.996	39.270	13,96	515,53
9	125.492	5.237	1,46	80,03	904.011	38.025	12,26	422,88
10	151.466	6.062	2,00	82,60	999.160	42.580	12,41	489,85
11	620.536	25.921	5,29	363,75	-	-	-	-
12	303.347	12.868	2,71	136,41	876.455	37.085	16,40	399,86
<b>Total</b>	<b>5.229.440</b>	<b>213.511</b>	<b>139,55</b>	<b>2.668,69</b>	<b>11.827.523</b>	<b>490.679</b>	<b>195,98</b>	<b>5.640,69</b>

En total la Unidad N° 1 emitió, durante 2006 un total de 139,55 Tons de MP y 2.668,69 Tons de SO<sub>2</sub> con un consumo de combustible de 213.511 tons de carbón y una generación de 5.229,44 MMBtu.

En el caso de la Unidad 2, ésta emitió un total de 195,98 toneladas de MP y 5.640,69 toneladas de SO<sub>2</sub>, con un consumo anual de combustible de 490.679 toneladas de carbón y una generación de 11.827,69 MMBtu.

<sup>21</sup> PES: Precipitador Electroestático.

Para la estimación de CO, NOx, COV y NH<sub>3</sub>, se usaron factores de emisión propuestos por la EPA, en unidades de kg de contaminante por Tonelada de carbón:

- CO: 0,00025 [kg/Ton]
- NOx: 0,0036 [kg/Ton]
- COV: 0,000025 [kg/Ton]
- NH<sub>3</sub>: 0,000565 [kg/Ton]

Configuración de Calderas según contaminantes:

CO y NH<sub>3</sub>: Caldera de carbón pulverizado con quemador tangencial de fondo seco.

NOx: PC, dry bottom, tangentially fired, sub-bituminous, NSPS.

Los factores de emisión para estos contaminantes fueron obtenidos desde el documento AP42 de la EPA, en su capítulo 1 “Fuentes de Combustión Externa”, Sección 1.1 “Combustión de carbón bituminoso y subbituminoso”.

### Operación Maquinaria Interna

La maquinaria interna que opera en la central corresponde a cuatro (4) cargadores frontales de 98 HP cada uno y dos bulldozer de 306 HP de potencia, encargados del apilamiento del carbón.

El detalle de las horas trabajadas por las distintas máquinas se muestra a continuación:

**Tabla 100. Ciclo Operacional Mensual Maquinaria Interna hr/mes.**

TIPO DE MAQUINARIA	HP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CARGADOR FRONTAL 1	98	270	252	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
CARGADOR FRONTAL 2	98	270	252	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
CARGADOR FRONTAL 3	98	180	168	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
CARGADOR FRONTAL 4	98	240	224	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
BULLDOZER 1	306	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
BULLDOZER 2	306	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
TOTAL		1.120	1.056	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120

Las emisiones totales estimadas para la operación de maquinaria interna para el año 2006 son las siguientes:

**Tabla 101. Emisiones Maquinaria Interna (Ton/Año)**

FUENTE	EMISIONES (TON/AÑO)				
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NOx	SOx
Maquinaria Interna	0,34	0,08	6,04	11,2	0,01

Relación MP<sub>2,5</sub>/MP<sub>10</sub>: 0,24

## Molino y Harnero

Se consideró una cantidad de 15.600 toneladas de carbón procesadas en cada fuente.

Las emisiones para ambas fuentes corresponden a las siguientes:

**Tabla 102. Factores de Emisión y Emisiones Molino y Harnero**

FUENTE	Origen Factor	Factor de Emisiones (kg/ Ton Procesada)	EMISIONES (Ton/Año)	
		MP <sub>10</sub>	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
Molino	EPA – AP42 (11.24-1)	0,01	0,0019	0,00
Harnero	EPA – AP42 (11.24-1)	0,16	0,025	0,00

### *Molino:*

Los factores usados en el cálculo de las emisiones provenientes del molino consideran un material con alta humedad (“*high moisture*”) y un chancado del tipo secundario.

Para el cálculo de emisiones se consideró un equipo de abatimiento del tipo encapsulamiento con un 99% de eficiencia en la retención de material particulado grueso.

Durante 2006, el Molino operó 101 días, con un total de 407 horas.

Relación MP<sub>10</sub>/PTS: 0,4.

### *Harnero:*

Los factores usados en el cálculo de las emisiones provenientes del molino consideraron un material con alta humedad (“*high moisture*”) y un harneado en seco sin transmisión de aire.

Relación MP<sub>10</sub>/PTS: 0,13.

## **Carga Carbón a canchas desde correa rotatoria**

El carbón recepcionado desde el muelle a través de la correa transportadora cae desde una altura de aproximadamente 15 metros hasta las zonas de acopio de carbón de la planta termoeléctrica.

Durante 2006, según datos entregados por Puerto Ventanas S.A. se recepcionó un total de 1.123.233,33 m<sup>3</sup>, lo que equivale, considerando una densidad del carbón de 0,75 ton/m<sup>3</sup> a 842.425 toneladas de carbón. Los factores de emisión fueron obtenidos de la Tabla 11.9-2 del AP42 de la EPA.

La ecuación de cálculo de cada factor es:

- Para PTS: 
$$\frac{0.0046 (d)^{1.1}}{(M)^{0.3}}$$

- Para MP<sub>10</sub>: Se considera un factor de especiación de 0,75. Éste factor está relacionado al factor de emisión para MP<sub>15</sub>, el que se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{0.0029 (d)^{0.7}}{(M)^{0.3}}$$

- Para MP<sub>2,5</sub>: Se considera un factor de especiación de 0,017 respecto del factor de emisión calculado para PTS.

Las variables utilizadas para el cálculo de las emisiones fueron las siguientes:

**Tabla 103. Variables para cálculo de emisiones correa rotatoria Aes Gener.**

Factor de Emisiones		D (m)	M (%)	Cantidad Procesada (m <sup>3</sup> )	Emisiones (Ton/Año)	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>				MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
7,2 x 10 <sup>-3</sup>	7,7 x 10 <sup>-4</sup>	15	10	1.123.233	8,15	0,87

Donde,

d = Altura caída del material (m)

M = Porcentaje de humedad del material (%)

### **Carga Carbón a camiones desde correa transportadora y cargador frontal (Clientes)**

Aes Gener comercializa carbón a terceros, éste es cargado directamente en camiones de los clientes en la cancha de acopio mediante cargador frontal o bien pueden ser cargados mediante correa transportadora.

Durante 2006 se despacharon 209.626 toneladas de carbón a clientes. Como no se obtuvo la cantidad despachada según el modo de transferencia se asumió un 50% de la carga para cada modo.

Para la transferencia de carbón mediante **cargadores frontales** se usó la ecuación incluida en la sección 13.2.4 del AP42 de la EPA en [kg PTS/Ton Material Transferido].

$$E = k(0.0016) \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$$

En el cálculo de emisiones para cada tamaño de MP, se consideró el valor del multiplicador de tamaño de partícula, k, recomendado por la EPA:

Multiplicador de Tamaño de Partículas, k	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
0,35	0,053

Las variables utilizadas para el cálculo de estas emisiones fueron las siguientes:

**Tabla 104. Variables para cálculo emisiones por carga carbón a camiones Aes Gener**

Factor de Emisiones		U (m/s)	M (%)	Cantidad Procesada (Tons)	Emisiones (Ton/Año)	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>				MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
6,5 x 10 <sup>-05</sup>	2,03 x 10 <sup>-05</sup>	2,37	10	104.813	0,007	0,001

Donde,

U = Velocidad promedio del viento (m/s)

M = % de humedad en el material.

En el caso de la transferencia mediante **correa transportadora** se usaron las siguientes variables. Los factores de emisión fueron obtenidos desde la Tabla 11.9-2 del AP42 de la EPA mediante la siguiente ecuación:

- Para PTS: 
$$\frac{0.0046 (d)^{1.1}}{(M)^{0.3}}$$

- Para MP<sub>10</sub>: Se considera un factor de especiación de 0,75. Éste factor está relacionado al factor de emisión para MP<sub>15</sub>, el que se calcula a partir de la siguiente ecuación:

- Para MP<sub>2,5</sub>: Se considera un factor de especiación de 
$$\frac{0.0029 (d)^{0.7}}{(M)^{0.3}}$$
 0,017 respecto del factor de emisión calculado para PTS.

Las variables que intervienen en los cálculos de emisiones son las siguientes:

**Tabla 105. Variables para cálculo emisiones correa transportadora Aes Gener.**

Factor de Emisiones		D (m)	M (%)	Cantidad Procesada (m <sup>3</sup> )	Emisiones (Ton/Año)	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>				MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
0,0023	3,99 x 10 <sup>-05</sup>	3	10	104.813	0,25	0,004

### Carga Carbón en camiones para Laguna Verde.

Para la transferencia de carbón mediante **cargador frontal** se usó la ecuación incluida en la sección 13.2.4 del AP42 de la EPA en [kg PTS/Ton Material Transferido].

$$E = k(0.0016) \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$$

En el cálculo de emisiones para cada tamaño de MP, se consideró el valor del multiplicador de tamaño de partícula, k, recomendado por la EPA:

Multiplicador de Tamaño de Partículas, k	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2.5</sub>
0,35	0,053

Las variables y emisiones se muestran a continuación:

**Tabla 106. Variables para cálculo emisiones carga carbón camiones Laguna Verde. Aes Gener.**

Factor de Emisiones		U (m/s)	M (%)	Cantidad Procesada (Ton)	Emisiones (Ton/Año)	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2.5</sub>				MP <sub>10</sub>	MP <sub>2.5</sub>
6,48 x 10 <sup>-5</sup>	2,04 x 10 <sup>-5</sup>	2,37	10	21.807	1,4 x 10 <sup>-3</sup>	02,1 x 10 <sup>-4</sup>

### Tránsito Camiones

Dentro de las emisiones de material particulado se encuentran aquellas debidas a la resuspensión de polvo desde caminos y calles internas en sitios industriales, principalmente debidas a tránsito de camiones de carga.

Dentro de la central se identificaron dos tipos de fuentes de emisiones: las que corresponden al tránsito de camiones que transportan carbón a la central termoeléctrica de Laguna Verde y aquellos correspondientes a terceros (clientes que compran carbón directamente en Aes Gener Ventanas)

De estos dos tipos, el trayecto realizado por uno y por otro se diferencia en el tipo de carpeta sobre la cual se desplazan. En el caso de los camiones que van a Laguna Verde, éstos operan directamente en la cancha de acopio de carbón, la cual no se encuentra pavimentada. En el caso de clientes estos principalmente transitan por la calle de acceso al muelle de Puerto Ventanas, el cual sí está pavimentado. A raíz de ello, las fórmulas para calcular los factores de emisión varían.

a. Tránsito camiones clientes (Vías Pavimentadas)

La fórmula utilizada proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E_{ext} = \left[ k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right] \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Las variables que intervienen en la ecuación son:

**Tabla 107. Variables para cálculo emisiones tránsito vías pavimentadas. Aes Gener.**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	sL (g/m <sup>2</sup> )	Km/año	P	N
7.487	10	28	16	3,76	3.743,32	26	365

Para el caso de la variable C, se tiene:

$$C_{MP10} = 0,1005$$

$$C_{MP2,5} = 0,1005$$

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr).

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

sL = carga de finos en la superficie (Silt Load, g/m<sup>2</sup>)

k = Multiplicador de tamaño de partícula (g/kmr):

k (g/kmr) MP <sub>10</sub>	k (g/km) MP <sub>2,5</sub>
4,60	0,66

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 108. Emisiones Vías Pavimentadas. Aes Gener.**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (g/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (g/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
83,75	11,94	0,31	0,04

b. Tránsito camiones Laguna Verde (No Pavimentadas)

La fórmula utilizada proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E = k (s/12)^a (W/3)^b$$

Al igual que en el caso de las vías pavimentadas, se debe considerar la mitigación de la resuspensión de polvo debido a las precipitaciones (control natural):

$$E_{\text{ext}} = E \left[ \frac{365 - P}{365} \right]$$

Donde,

$E_{\text{ext}}$  = Factor de emisión para tamaño de part. Especifico extrapolada con control natural (precipitaciones)

$E$  = Factor de emisión para cualquiera de las dos ecuaciones indicadas anteriormente

$P$  = N° DIAS/AÑO CON AL MENOS 0,254 mm DE PP

Las variables que intervienen en la ecuación son:

**Tabla 109. Variables para cálculo emisiones vías no pavimentadas. Aes Gener.**

N° de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	s (%)	Km/año	C (g/km)	a	b	P
779	10	28	16	7	389,41	0,00047	0,9	0,5	26

Donde,

$W$  = Peso promedio de los camiones (Ton)

$C$  = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr).

$P$  = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

$a, b$  = Constantes empíricas.

$k$  = Multiplicador de tamaño de partícula (lb/VMT):

$k$ MP <sub>10</sub> (lb/VMT)	$k$ MP <sub>2,5</sub> (lb/VMT)
1,5	0,15

Como las unidades de los factores están en [lb/VMT], los factores calculados con la fórmula arriba mencionada deben multiplicarse por 281,9 para obtener los factores en [g/VKT]

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 110. Emisiones tránsito vías no pavimentadas. Aes Gener.**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (g/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (g/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
513,532	51,353	0,200	0,020

Relación MP<sub>2,5</sub>/MP<sub>10</sub>: 0,1

### Emisión desde Pilas por acción del viento

Las variables ambientales, como velocidad promedio del viento y precipitaciones, fueron obtenidas de la Estación Principal.

*Determinación del Factor de Emisión para MP<sub>10</sub>.*

$$FE = 1.9 \left( \frac{s}{1.5} \right) \left( \frac{f}{15} \right) \left( \frac{365 - p}{365} \right)$$

Donde:

- FE* : Factor de emisión de PTS kg-día/ha de superficie activa
- s* : Porcentaje de finos (7%)
- f* : Porcentaje del tiempo en que la velocidad del viento excede 5,4 [m/s] (3,105%)
- p* : 24 días con precipitación sobre 0,25 mm

La relación MP<sub>10</sub>/ PTS = 0,5

Por lo tanto el FE corresponde a:

FE<sub>MP10</sub>: 1,33 kg-día/há

*Determinación del Área de la pila expuesta.*

$$Am = \pi \times r \times (r^2 + h^2)^{0,5}$$

$\pi = 3,1416$
$r = 47,5 \text{ [m]}$
$h = 15 \text{ [m]}$

	<b>Am [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Am (Há)</b>
<b>Aes Gener S.A.</b>	7.433,25	0,74

Las emisiones para el área de acopio son las siguientes:

	<b>Emisiones (Ton/Año)</b>
MP <sub>10</sub>	0,18

Como las áreas de acopio son 5, las emisiones totales corresponden a las siguientes:

	<b>Emisiones (Ton/Año)</b>
MP <sub>10</sub>	0,90

### Resumen Emisiones Aes Gener S.A. – Ventanas 2006

Tabla 111. Resumen emisiones Aes Gener S.A. – Ventanas 2006

CLASIFICACION DE INVENTARIO	NOMBRE FUENTE	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
EROSION EOLICA	Emisión desde pilas por acción del viento	0,90						
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	Operación maquinaria interna	0,34	0,08	6,04	11,19		0,01	
TERMOELECTRICAS	Carga carbón a camiones con cargador frontal (clientes)	0,01	0,00					
	Carga carbón a camiones desde correa transportadora (clientes)	0,25	0,00					
	Carga carbón a canchas desde correa rotatoria	8,15	0,87					
	Carga carbón camiones para laguna verde (cargador frontal)	0,00	0,00					
	Harnero	0,02	0,00					
	Molino	0,00	0,00					
	Unidad N° 1	93,50	37,68	53,38	768,64	5,34	2.668,69	120,63
	Unidad N° 2	131,31	52,91	122,67	1.766,44	12,27	5.640,69	277,23
TRANSITO PAV	Transito camiones (despacho clientes)	0,31	0,04					
TRANSITO S/PAV	Transito camiones cancha acopio carbón (despacho a laguna verde)	0,20	0,02					
	<b>TOTAL</b>	<b>234,99</b>	<b>91,62</b>	<b>182,09</b>	<b>2.546,27</b>	<b>17,60</b>	<b>8.309,39</b>	<b>397,87</b>

Nota: Las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, COV y NH<sub>3</sub> son estimadas a partir de los factores de emisión descritos en las metodologías, estos valores pueden ser ajustados con mediciones.

## CODELCO – División Ventanas

Codelco División Ventanas, es una fundición y refinería de cobre que produce cátodos de cobre, lingotes de oro y granalla de plata. La capacidad de fusión de concentrados de Ventanas fue de 445 mil toneladas métricas secas para el año 2006.

La producción el año 2006 alcanzó a 376.005 toneladas métricas de cobre electrolítico. Asimismo, por el procesamiento de los barros anódicos de la refinería en la planta de metales nobles, se produjeron 150.952 kilos de plata y 5.649 kilos de oro; y la planta de ácido produjo 351.537 toneladas de ácido sulfúrico.

Las distintas fuentes de emisión identificadas según visita a terreno por parte del equipo consultor y reuniones con personal de la planta se muestran a continuación. Las características operacionales, equipos de control y emisiones de cada una de ellas serán detalladas para cada una de ellas.

### Características de las fuentes fijas.

La siguiente tabla muestra la ubicación de las distintas fuentes de emisión industriales de Codelco – Ventanas (Fuentes fijas, difusas y móviles en rutas industriales), con coordenadas UTM y las características de los ductos de salida de gases de cada unidad de emisión.

**Tabla 112. Características y ubicación fuentes de emisión Codelco Ventanas - 2006**

AREA	FUENTE	COORDENADAS (WGS84)		CARACTERÍSTICAS DUCTOS SALIDA			
		UTM N	UTM E	Altura Chimenea (m)	Diámetro Ducto (m)	Velocidad Salida Gases (m/s)	Temperatura Salida Gases (°C)
PLANTA DE SECADO	Horno Rotatorio Secado	6.372.436	267.570	26,00	1,00	13,10	112,00
	Tolva 500 Toneladas	6.372.108	267.485	16,00	1,00	21,60	29,00
FUNDICION	Convertidor Teniente (CT)	6.377.500	267.000	40,00	2,00	13,00	73,00
	Convertidor Pierce-Smith CPS-1	6.377.500	267.000	40,00	2,00	13,00	73,00
	Convertidor Pierce-Smith CPS-2	6.377.500	267.000	40,00	2,00	13,00	73,00
	Convertidor Pierce-Smith CPS-3	6.377.500	267.000	40,00	2,00	13,00	73,00
CENTRAL TERMICA	Caldera Vapor Kw-3	6.372.299	267.373	9,00	1,00	7,41	162,30
	Caldera Vapor Kw-4	6.372.293	267.371	9,00	1,00	7,41	162,30
	Caldera Vapor Kw-5	6.372.289	267.370	9,00	1,00	7,41	162,30
	Horno Eléctrico (He)	6.372.325	267.597	168,00	3,00	22,80	286,00
PLANTA REFINO A FUEGO	Horno Basculante	6.372.325	267.597	30,00	1,00	11,40	165,00
	Horno Retención	6.372.325	267.597				
	Horno Refino #1	6.372.325	267.597	10,00	1,00	4,00	324,00
	Horno Refino #2	6.372.433	267.493	10,00	1,00	4,00	357,00
M E T A L	Horno Tostador De Selenio #1	6.372.108	267.485	4,00	1,00	13,40	18,00

	Horno Tostador De Selenio #2	6.372.108	267.485	4,00	1,00	13,40	18,00
	Horno Tostador De Selenio #3	6.372.108	267.485	4,00	1,00	13,40	18,00
	Horno Tostador De Selenio #4	6.372.108	267.485	4,00	1,00	13,40	18,00
	Horno Troff	6.372.373	267.316	6,00	1,00		
	Generador De Emergencia #1	6.372.108	267.485	3,0	0,15		
	Generador De Emergencia #2	6.372.108	267.485				
	Lixiviación BAD #1	6.372.108	267.485	8,00	0,35		79,90
	Lixiviación BAD #2	6.372.108	267.485	8,00	0,35		79,90
<b>RAM</b>	Chancado Circulante Fundición (Primario)	6.372.108	267.485				
	Chancado Mineral Grueso 10-25 De Ley (Primario Y Secundario)	6.372.108	267.485				
	Descarga Concentrados Cobre (8% Humedad)	6.372.108	267.485				

Los datos operacionales de las fuentes fijas industriales se muestran a continuación:

**Tabla 113. Información operacional fuentes Codelco – Ventanas 2006**

NOMBRE FUENTE	HRS/DIA	DIAS/AÑO	COMBUSTIBLE	CONSUMO COMBUSTIBLE (TON/AÑO)	MATERIA PRIMA	TOTAL PROCESADO (TON/AÑO)
Caldera Vapor Kw-3	18,33	270,00	Gas Natural	2.258,85		
			Petróleo N°2	703,92		
Caldera Vapor Kw-4	20,09	280,00	Gas Natural	1.482,48		
			Petróleo N°2	703,92		
Caldera Vapor Kw-5	20,21	239,00	Gas Natural	2.347,82		
			Petróleo N°2	703,92		
Convertidor Pierce-Smith CPS 1	24,00	261,00	Gas Natural	336,46	Metal Blanco De Ct Y He	74.179,56
Convertidor Pierce-Smith CPS 2	24,00	270,00	Gas Natural	354,88	Metal Blanco De Ct Y He	74.179,56
Convertidor Pierce-Smith CPS 3	24,00	246,00	Gas Natural	276,61	Metal Blanco De Ct Y He	74.179,56
Convertidor Teniente CT	24,00	342,00	Petróleo N°2	2.910,88	Concentrado Seco	445.077,00
Descarga De Concentrados De Cobre Desde Camiones (8% Humedad)	6,00	365,00	Sin Combustible		Concentrado Seco	445.077,00
Generador De Emergencia #1	1,00	48,00	Petróleo N°2	0,00		
Generador De Emergencia #2	1,00	48,00	Petróleo N°2	0,00		
Horno Basculante	23,74	347,00	Gas Natural	3.004,54	Blister Liquido	69.400,00
			Petróleo N°2	658,48		
Horno Eléctrico (He) Limpieza De Escorias	24,00	354,00	Sin Combustible		Escoria CT	200.284,83
Horno Refino #1 - Raf 1-1	24,00	283,00	Gas Natural	4.753,21	Blister Liquido	80.102,40
Horno Refino #1 - Raf 1-2			Petróleo N°2	1.705,34		

Horno Refino #1 - Raf 1-3			Petróleo N°6	182,35		
Horno Refino #2 - Raf 1-1	24,00	239,00	Gas Natural	4.919,52	Blister Liquido	60.010,65
Horno Refino #2 - Raf 1-2			Petróleo N°2	491,67		
Horno Retención (Reten)	24,00	345,00	Gas Natural	1.260,50	Blister Liquido	43.125,00
			Petróleo N°2	351,70		
Horno Rotatorio Planta De Secado	24,00	346,00	Gas Natural	3.018,77	Concentrado De Cobre	445.077,00
Horno Tostador De Selenio #1	19,20	365,00	Sin Combustible		Barro Anódico Descobrizado	147.949,00
Horno Tostador De Selenio #2	19,20	365,00	Sin Combustible		Barro Anódico Descobrizado	147.949,00
Horno Tostador De Selenio #3	19,20	365,00	Sin Combustible		Barro Anódico Descobrizado	147.949,00
Horno Tostador De Selenio #4	19,20	365,00	Sin Combustible		Barro Anódico Descobrizado	147.949,00
Horno Troff - Plamen 1-2	24,00	365,00	Gas Natural	247,00	Calcina	623.314,00
Lixiviación Barro Anódico Descubrizado #1	24,00	360,00	Sin Combustible			
Lixiviación Barro Anódico Descubrizado #2	24,00	360,00	Sin Combustible			
Tolva 500 Toneladas	24,00	346,00	Sin Combustible		Concentrado De Cobre 8% Humedad	445.077,00
Chancado De Circulante De Fundición (Primario)	6,00	353,00	Sin Combustible			
Chancado De Mineral Grueso 10~25 De Ley (Primario Y Secundario)	6,00	353,00	Sin Combustible			
Transporte Por Correas De Concentrado De Cobre	6,00	353,00	Sin Combustible			

## Emisiones

### Resumen Emisiones

El detalle de las emisiones para fuentes fijas de Codelco Ventanas se muestra a continuación.

**Tabla 114. Emisiones Fuentes Fijas Codelco – Ventanas 2006**

NOMBRE FUENTE	MP 10	MP 2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3
CONVERTIDOR TENIENTE (CT) - 1-1 (ETAPA SOPLADO)						5.051,38	
CONVERTIDOR TENIENTE (CT) - 1-2 (QUEMADORES ENCENDIDOS)	0,92	0,11	2,06	8,23	0,14	12,24	0,41
CONVERTIDOR TENIENTE (CT) - 1-3 EMISIONES FUGITIVAS	65,87	45,45				439,25	
CALDERA VAPOR KW-3 CON QUEMADOR DUAL - CENTRAL TERMICA 1-1	1,46	0,18	4,28	5,10	0,28	0,62	0,00
CALDERA VAPOR KW-3 CON QUEMADOR DUAL - CENTRAL TERMICA 1-2	1,46	0,18	0,50	1,99	0,03	2,96	0,10
CALDERA VAPOR KW-4 CON QUEMADOR DUAL - CENTRAL TERMICA 2-1	0,25	0,03	2,81	3,34	0,18	0,41	0,00
CALDERA VAPOR KW-4 CON QUEMADOR DUAL - CENTRAL TERMICA 2-2	0,07	0,01	0,50	1,99	0,03	2,96	0,10
CALDERA VAPOR KW-5 CON QUEMADOR DUAL - CENTRAL TERMICA 3-1	0,40	0,05	4,45	5,30	0,29	0,65	0,00
CALDERA VAPOR KW-5 CON QUEMADOR DUAL - CENTRAL TERMICA 3-2	0,14	0,02	0,50	1,99	0,03	2,96	0,10
HORNO ROTATORIO PLANTA DE SECADO 1-1 (EMISION POR QUEMA COMBUSTIBLE)	41,84	5,02	5,72	6,81	0,37	0,83	0,00
HORNO ROTATORIO PLANTA DE SECADO 1-2 (EMISION POR SECADO)	41,84	10,04					
TOLVA 500 TONELADAS	0,20	0,05					
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-1) - 1-1 (ETAPA SOPLADO)	1,30	0,13				5.051,38	0,00
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-1) - 1-2 (QUEMADORES ENCENDIDOS)	3,83	0,46	0,64	0,76	0,04	0,09	0,00
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-1) - 1-3 EMISIONES FUGITIVAS	156,67	94,00				439,25	
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-2) - 2-1 (ETAPA SOPLADO)	1,35	0,13				5.051,38	0,00
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-2) - 2-2 (QUEMADORES ENCENDIDOS)	3,96	0,48	0,67	0,80	0,04	0,10	0,00
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-2) - 2-3 EMISIONES FUGITIVAS	156,67	94,00				439,25	
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-3) - 3-1 (ETAPA SOPLADO)	1,23	0,12				5.051,38	0,00
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-3) - 3-2 (QUEMADORES ENCENDIDOS)	3,61	0,43	0,52	0,62	0,03	0,08	0,00
CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-3) - 3-3 EMISIONES FUGITIVAS	156,67	94,00				439,25	
HORNO ELECTRICO (HE) LIMPIEZA DE ESCORIAS	18,55	1,86				5.490,63	
HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-1 (QUEMA GAS NATURAL)	18,62	2,23	5,69	6,78	0,37	0,83	0,00
HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-2 (QUEMA DIESEL)	18,62	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-3 (PROCESO)	6,33	3,72					
HORNO RETENCION (RETEN) - RAF 1-1 (QUEMA GAS NATURAL)	0,22	0,03	2,39	2,84	0,16	0,35	0,00
HORNO RETENCION (RETEN) - RAF 1-2 (QUEMA DIESEL)	0,07	0,01	0,25	0,99	0,02	1,48	0,05
HORNO REFINO #1 (EN REDUCCIÓN)	12,07	1,45					

HORNO REFINO #1 (OTRAS ETAPAS)	13,86	1,66					
HORNO REFINO #2 (EN REDUCCIÓN)	4,83	0,58					
HORNO REFINO #2 (OTRAS ETAPAS)	5,54	0,67					
HORNO TOSTADOR DE SELENIO #1 - PLAMEN 1-1	0,54	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HORNO TOSTADOR DE SELENIO #2 - PLAMEN 2-1	0,54	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HORNO TOSTADOR DE SELENIO #3 - PLAMEN 3-1	0,54	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HORNO TOSTADOR DE SELENIO #4 - PLAMEN 4-1	0,54	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HORNO TROFF - PLAMEN 1-2 (QUEMA GAS NATURAL)	2,28	0,27	0,47	0,56	0,03	0,07	0,00
HORNO TROFF - PLAMEN 1-2 (PROCESO)	0,78	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GENERADOR DE EMERGENCIA #1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GENERADOR DE EMERGENCIA #2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	1,13	0,27	12,65	23,56	0,00	0,02	0,00
TRANSPORTE DE CONCENTRADO DE CU Y CÁTODOS POR VIAS PAVIMENTADAS	27,39	3,83					
TRANSPORTE CIRCULANTES FUNDICION POR VIAS SIN PAVIEMENAR	44,52	4,45					
CHANCADO DE CIRCULANTE DE FUNDICIÓN (PRIMARIO)	0,50						
CHANCADO DE MINERAL GRUESO 10~25 DE LEY (PRIMARIO Y SECUNDARIO)	0,00						
DESCARGA DE CONCENTRADOS DE COBRE DESDE CAMIONES (8% HUMEDAD)	0,04	0,01					
TRANSPORTE POR CORREAS DE CONCENTRADO DE COBRE Y MINERAL CHANCADO	0,04	0,01					
<b>TOTAL</b>	<b>817,31</b>	<b>369,11</b>	<b>44,09</b>	<b>71,66</b>	<b>2,07</b>	<b>27.479,78</b>	<b>0,85</b>

### **Especiación de Material Particulado por Fuente:**

La relación de tamaño existente entre el material particulado total y sus fracciones más finas ( $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$ ) se estableció a través de factores de distribución de tamaño según el tipo de fuente, tipo de combustible consumido y equipo de control asociado. La fuente de información desde la que se obtuvo esta relación corresponde al documento: “Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Volume I: Stationary and Area Sources” – AP42 de la EPA, Quinta Edición.

La siguiente tabla muestra la distribución de tamaño del material particulado respirable:

**Tabla 115. Especiación de Material Particulado para Codelco – División Ventanas.**

Origen Información AP42	Unidad AP42	Unidad Asociada Codelco - Ventanas	Combustible Consumido	Equipo de Control	Factor de Tamaño de Partícula		UNIDAD	Comentarios
					MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>		
TABLA 1.3-6	INDUSTRIAL BOILERS FIRING DISTILLATE OIL	CONVERTIDOR TENIENTE - QUEMADORES ENCENDIDOS	Diesel	Sin Control	50	12	%	
		CALDERA KEWANEE N° 3, 4 Y 5	Diesel	Sin Control	50	12	%	
		HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-2 (QUEMA DIESEL)	Diesel	Sin Control	50	12	%	
		HORNO RETENCION (RETEN) - RAF 1-2 (QUEMA DIESEL)	Diesel	Sin Control	50	12	%	
		GENERADOR DE EMERGENCIA #1	Diesel	Sin Control	50	12	%	
		GENERADOR DE EMERGENCIA #2	Diesel	Sin Control	50	12	%	
		OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA		Sin Control	50	12	%	No se obtuvo información específica para esta fuente por lo que se asume un valor conservador característico de la relación de tamaño de material particulado.
TABLA 12.3-8	COPPER CONVERTER OPERATIONS	CPS	Sin Consumo	Precipitador Electroestático / Planta de Ácido	17	10	%	
TABLA 12.3-16	CONVERTER SLAG AND COPPER BLOW OPERATIONS	CPS - EMISIONES FUGITIVAS	Sin Consumo	Sin Control	96	60	%	
TABLA 12.3-4	MULTIPLE HEARTH ROASTER	SECADOR ROTATORIO DE CONCENTRADO DE COBRE	Sin Consumo	Filtro de Mangas	47	40	%	Se considera especiación según Factor con control ESP
		HORNO TOSTADOR DE SELENIO N° 1, 2, 3 y 4	Sin Consumo	Lavador de Gases	47	40	%	Se considera especiación según Factor con control ESP
TABLA 13.2-1.1	PARTICLE SIZE MULTIPLIERS FOR PAVED ROAD EQUATION	TRANSPORTE DE CONCENTRADO DE CU Y CÁTODOS POR VIAS PAVIMENTADAS	Sin Consumo	Sin Control	4,6	0,66	g/Km.	MP <sub>10</sub> /PTS: 20%; MP <sub>2,5</sub> /MP <sub>10</sub> : 14%
TABLA 13.2.2-2	PARTICLE SIZE MULTIPLIERS FOR UNPAVED ROAD	TRANSPORTE CIRCULANTES FUNDICION POR VIAS SIN PAVIEMENAR	Sin Consumo	Sin Control	422,85	42,28	g/Km.	En tabla se indica en unidades de lb/VMT. El factor de conversión de lb/VMT a g/Km es 281,9 (1 lb/VMT = 281,9 g/Km). MP <sub>10</sub> /PTS: 31%; MP <sub>2,5</sub> /MP <sub>10</sub> : 10%

TABLA 11.24-1	EMISSION FACTORS FOR METALLIC MINERALS PROCESSINGa	CHANCADO DE CIRCULANTE DE FUNDICIÓN (PRIMARIO)	Sin Consumo	Sin Control	40	-	%	
TABLA 11.24-1	EMISSION FACTORS FOR METALLIC MINERALS PROCESSINGa	CHANCADO DE MINERAL GRUESO 10~25 DE LEY (PRIMARIO Y SECUNDARIO)	Sin Consumo	Sin Control	4	-	%	
Sección 13.2.4.3	Aggregate Handling And Storage Piles	DESCARGA DE CONCENTRADOS DE COBRE DESDE CAMIONES (8% HUMEDAD)	Sin Consumo	Sin Control	0,35	0,053	Adimensional	PM <sub>10</sub> /PTS: 47%; MP <sub>2,5</sub> /MP <sub>10</sub> : 15%
Sección 13.2.4.3	Aggregate Handling And Storage Piles	TRANSPORTE POR CORREAS DE CONCENTRADO DE COBRE Y MINERAL CHANCADO	Sin Consumo	Sin Control	0,35	0,053	Adimensional	PM <sub>10</sub> /PTS: 47%; MP <sub>2,5</sub> /MP <sub>10</sub> : 15%
% MP10 en relación a PTS; % MP <sub>2,5</sub> en relación a MP <sub>10</sub>								

Para el caso de aquellas fuentes que queman Gas Natural se consideró un factor de tamaño de partícula igual al usado por calderas industriales.

## Cálculo de Emisiones

### 1. Mediciones Isocinéticas

La empresa entregó las campañas de mediciones isocinéticas realizadas durante 2006 por CIMM Ltda. Los siguientes son los resultados por campaña (verano e invierno). Las emisiones totales (Ton/año) de material particulado para algunas fuentes, que se presentan en la tabla anterior, se obtuvieron multiplicando las emisiones en [kg/hr] por las horas y días de operación de cada unidad.

#### a. Planta de Secado

**Tabla 116. Medición Isocinética Planta de Secado 2006**

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal bs (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
12/05/2006	386,5	40.857	95	16,5	15,5
02/12/2006	448,9	44890,8	101	18,4	20,2

En este caso se usó la mayor concentración correspondiente a diciembre de 2006 considerando la peor condición de operación de la fuente y del filtro de manga existente como equipo de control de material particulado. La eficiencia del filtro de mangas se calculó en un 99,5% como promedio para ambas campañas.

#### b. Horno Basculante

**Tabla 117. Medición Isocinética Horno Basculante 2006**

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal bs (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
10-15/05/2006	339,1	40.002	165	11,4	14,7
11-12/12/2006	243,9	36.824	152	10,2	9,7

Para el cálculo de las emisiones se usó las mediciones de la campaña del 10 al 15 de mayo de 2006.

#### c. Horno Reverbero RAF

**Tabla 118. Medición Isocinética Horno RAF 2006**

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal bs (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
16-18/05/2006	886,2	15.006	292	7,1	12,9
11-12/12/2006	427,9	34.448	277	15,4	15,7

Sin embargo estos valores corresponden a un promedio de una serie de etapas que ejecuta cada uno de los hornos reverberos (RAF #1 y RAF#2).

Se tomará como base la segunda campaña de monitoreo por corresponder a aquella donde se registraron las mayores emisiones.

**Tabla 119 Mediciones Isocinéticas Hornos RAF**

		Carguío	Fusión	Fusión	Reducción	Reducción	Moldeo
Caudal de gases, bs	Nm <sup>3</sup> /h	34.356	39.116	32.724	43.886	33.367	23.236
Conc. Material particulado	mg/Nm <sup>3</sup>	55,2	114,1	183,8	890,2	1.164,8	159,3
Emisión material particulado	kg/h	1,9	4,5	6,0	39,1	38,9	3,7
Velocidad	m/s	15,2	17,7	15,3	18,8	15,2	10,4
Temperatura	°C	277	288	298	242	277	282

Emisiones según operación:

El ciclo de operación de ambos hornos es de 27 horas, de las cuales sólo 2,5 horas las opera en etapa de reducción, es decir sólo el 9,25% del tiempo. El tiempo restante opera en los otros ciclos (carguío, fusión y moldeo), es decir 90,75% del tiempo (24,5 hrs)

*Reducción.*

Así, considerando un promedio del caudal (38.626, [Nm<sup>3</sup>/hr]) con una concentración de material particulado de 1.027,5 [mg/Nm<sup>3</sup>], se obtiene una emisión de 39,68 [kg/hr] para ambos hornos.

El total de horas de reducción por día es de 2 horas (correspondiente al 9,25% de 24 horas). Una unidad opera los 10 meses y ambas operan 2 meses juntas.

El total de horas para ambos hornos en etapa de *reducción* es de 851,2 horas, correspondiendo una emisión de 33,77 [ton/año] de PTS

*Carguío, fusión y moldeo.*

Se considera una operación diaria de 22 horas para las demás operaciones.

En promedio el caudal de gases para esas operaciones corresponde a 32.358,1 [Nm<sup>3</sup>/hr], con una concentración de particulado de 128,1 [mg/Nm<sup>3</sup>], siendo su emisión equivalente a 4 [kg/hr].

El total de horas de operación al año (ambos hornos juntos) se calculó de la siguiente forma:

22 hrs/día x 30,4 días/mes x 10 meses/año + 44 hrs/día x 30,4 días/mes x 2 meses/año = 9.363 horas, correspondiendo una emisión de 38,81 [ton/año] de PTS

#### d. Horno Tostador de Selenio – Planta de Metales Nobles

Tabla 120.121 Medición Isocinética Horno Tostador de Selenio 2006

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal bs (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
11/05/2006	119,7	5.514	19	13,4	0,6
06/12/2006	23,6	6.705	21	16,4	0,16

Las emisiones fueron medidas a la salida del equipo de control (Lavador de Gases) y es representativa de los cuatro hornos de tostación presentes en la Planta de Metales Nobles. Se tomó como referencia para estimar las emisiones la medición del 11 de mayo de 2006. Las emisiones para cada horno se calcularon en función de las horas y días de operación de cada uno. La eficiencia aproximada del equipo de control es de un 94%.

#### e. Planta de Ácido Sulfúrico

Tabla 122. Medición Isocinética Planta Ácido Sulfúrico 2006

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal bs (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
15/05/2006	6,5	106.647	67	13,3	0,7
07/12/2006	8,8	101.888	73	13,0	0,9

La planta de ácido sulfúrico funciona como equipo de control para las emisiones de SO<sub>2</sub> provenientes de la nave de convertidores (Convertidor Teniente y convertidores Pierce-Smith). Estos gases al ingresar a la planta son limpiados para eliminar las impurezas contenidas en el flujo, reduciendo aún más las concentraciones de material particulado en el flujo del gas, que ya había sido tratado mediante equipos de control del tipo Precipitadores Electrostáticos, los que reducen considerablemente las concentraciones de material particulado en el flujo de gases.

A las emisiones de la planta de ácido se agregó las emisiones de la chimenea de los convertidores CPS:

Tabla 123. Medición Isocinética Chimenea Convertidores CPS 2006

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal bs (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
09/05/2006	65,6	29.917	47	1,3	2,0
01-16/12/2006	115,3	15.063	48	0,6	1,7

De esta forma, considerando la peor condición, se consideraron las mediciones que arrojaron los valores más altos para la nave de convertidores.

En el caso del Convertidor Teniente, se consideró las emisiones medidas en la Planta de Ácido de fecha del 07/12/2006.

En el caso de los convertidores Pierce-Smith, se consideró las emisiones provenientes tanto desde la planta de ácidos como de la chimenea de los CPS, en cuyo caso se usó la medición

del 09/05/2006.

Para el caso de las emisiones de los convertidores no se tomó en cuenta las emisiones medidas a la salida de los precipitadores electrostáticos, debido a que el flujo de gases es continuo hasta la planta de ácido sulfúrico.

En promedio el precipitador electrostático correspondiente al convertidor Teniente, tiene una eficiencia promedio en la recolección de partículas de un 95%. En el caso de los CPS, éste equipo de control tiene una eficiencia de un 93%<sup>22</sup>.

#### **f. Horno Eléctrico**

Esta unidad cuenta con equipo de control del tipo precipitador electrostático.

**Tabla 124. Mediciones Isocinéticas Horno Eléctrico 2006**

<b>Fecha Medición</b>	<b>Concentración (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Caudal bs (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Emisión (kg/hr)</b>
09/05/2006	122,4	48.821	258	16,1	6,0
04/12/2006	196,7	65.305	286	22,8	13,3

La eficiencia promedio demostrada del equipo de control es de aproximadamente un 90% en ambas mediciones. La medición usada para el cálculo de emisiones corresponde a la del 4 de diciembre de 2006.

#### **g. Horno Troff**

**Tabla 125. Mediciones Isocinéticas Horno Troff 2006**

<b>Fecha Medición</b>	<b>Concentración (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Caudal bs (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Emisión (kg/hr)</b>
11/05/2006	134,1	4.997	46	12,3	0,7
06/12/2006	275,5	3.781,3	44	9,5	1,1

Este horno tiene instalado un lavador de gases como equipo de control de emisiones con una eficiencia aproximada de un 79%.

#### **h. Tolva 500**

**Tabla 126. Medición Isocinética Tolva 500 2006**

<b>Fecha Medición</b>	<b>Concentración (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Caudal bs (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Emisión (g/hr)</b>
10/05/2006	17,2	2.445	13	20,0	41,2
06/12/2006	19,2	2.497	29	21,6	48,4

Esta unidad tiene instalado como equipo de control de particulado un Filtro de Mangas.

<sup>22</sup> Estos datos fueron obtenidos directamente de las mediciones isocinéticas de cada unidad medida.

### i. Caldera Kiwanee N°3

Tabla 127. Medición Isocinética Caldera Kiwanee N° 1998

Fecha Medición	Concentración (mg/Nm <sup>3</sup> )	Caudal normal (Nm <sup>3</sup> /h)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Emisión (kg/hr)
02/07/1998	60,80	9.736	162,3	7,41	0,59

Estas mediciones se aplicaron para las tres calderas existentes en la fundición y su emisión se estimó en función de los días y horas trabajadas por cada caldera durante 2006.

#### Balance Azufre.

Para el caso de las emisiones de **Anhídrido Sulfuroso** (SO<sub>2</sub> desde la nave de convertidores y horno eléctrico (HE), éstas se calcularon en base al balance de azufre realizado por Codelco para el año 2006. Según esta información las emisiones fueron de 13.727 Tons de azufre. La proporción de S (azufre) respecto del anhídrido sulfuroso emitido es 1:2, es decir por cada unidad de peso emitida de S se emite el doble de SO<sub>2</sub>. Se estimó la emisión de SO<sub>2</sub> correspondiente a las unidades antes señaladas en 27.543,14 Tons/Año de material particulado.

Se distribuyó homogéneamente las emisiones de SO<sub>2</sub> entre las 5 unidades emisoras:

- Horno Eléctrico (HE)
- Convertidor Teniente
- Convertidor Pierce Smith #1
- Convertidor Pierce Smith #2
- Convertidor Pierce Smith #3

Se diferenció entre las emisiones directas de SO<sub>2</sub> y aquellas de carácter fugitivas.

Las emisiones fugitivas desde el CT y CPS's se estimó en un 8% de las emisiones de SO<sub>2</sub> de cada unidad, según lo indicado por la empresa, resultando las emisiones finales en 5.051,38 [Ton/Año] y 439,25 [Ton/Año] para emisiones directas y fugitivas, respectivamente.

Las emisiones de SO<sub>2</sub> desde el HE ascienden a 5.490,63 [Ton/Año].

#### Factores de Emisión de Fuentes Fijas

La siguiente tabla muestra los distintos factores de emisión utilizados en el cálculo de las emisiones desde las distintas fuentes fijas. En aquellos casos en que las fuentes queman combustibles, se les aplicó el factor correspondiente a calderas industriales, según el tipo de combustible utilizado.

En el caso de las emisiones fugitivas de los convertidores se usó la información de la producción para estimar las emisiones, ya que los factores están en función de las toneladas producidas.<sup>23</sup> De la misma forma las emisiones por operaciones de transporte de material mediante correas, chancado de circulante y mineral, son estimadas en función de las toneladas procesadas.<sup>24</sup>

**Tabla 128. Factores de Emisión Fuentes Codelco - Ventanas**

CLASIFICACION INVENTARIO	COMBUSTIBLE	NOMBRE FUENTE	MP10 <sup>25</sup>	CO	NOx	COV	SOx	NH <sub>3</sub>
CALDERAS INDUSTRIALES	GAS NATURAL	CALDERA VAPOR KW-3, KW-4, KW-5.	*	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	0,00000
	PETROLEO N°2	CALDERA VAPOR KW-3, KW-4, KW-5.	*	0,00071	0,00283	0,00005	0,00420	0,00014
FUNDICION PRIMARIA DE COBRE	GAS NATURAL	CONVERTIDOR PIERCE-SMITH 1, 2, 3.	*	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	0,00000
		HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-1 (QUEMA GAS NATURAL)	*	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	0,00000
		HORNO REFINO #1 y #2	*	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	0,00000
		HORNO RETENCION (RETEN) - RAF 1-1 (QUEMA GAS NATURAL)	*	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	0,00000
		HORNO ROTATORIO PLANTA DE SECADO 1-1 (EMISION POR QUEMA COMBUSTIBLE)	*	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	0,00000
		HORNO TROFF - PLAMEN 1-2 (QUEMA GAS NATURAL)	*	0,00071	0,00283	0,00005	0,00420	0,00014
		CONVERTIDOR TENIENTE (CT) - 1-2 (QUEMADORES ENCENDIDOS)	*	0,00071	0,00283	0,00005	0,00420	0,00014
	PETROLEO N°2	HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-2 (QUEMA DIESEL)	*	0,00071	0,00283	0,00005	0,00420	0,00014
		HORNO REFINO #1 y #2	0,01000					
		HORNO RETENCION (RETEN) - RAF 1-2 (QUEMA DIESEL)	0,04000					
	PETROLEO N°6	HORNO REFINO #1 - RAF 1-4 (QUEMA PETROLEO 6)	*				0,04354	0,00000
	SIN COMBUSTIBLE	CHANCADO DE CIRCULANTE DE FUNDICIÓN (PRIMARIO)	2,20000				65,00000	
		CHANCADO DE MINERAL GRUESO 10-25 DE LEY (PRIMARIO Y	*				0,04354	0,00000

<sup>23</sup> Table 12.3-10. FUGITIVE EMISSION FACTORS FOR PRIMARY COPPER SMELTERS

<sup>24</sup> Chancado: Table 11.24-1 (Metric Units). EMISSION FACTORS FOR METALLIC MINERALS PROCESSING; Transporte Correas: 13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles.

<sup>25</sup> Para aquellas fuentes donde se indica (\*) se usó el factor de especiación de tamaño de partícula señalado anteriormente debido a que las emisiones desde esas fuentes fueron determinadas mediante muestreos isocinéticos, los que informan las concentraciones y emisiones del material particulado total y no de fracciones más finas (MP10).

		SECUNDARIO)						
		CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-1) - 1-1 (ETAPA SOPLADO)	2,20000				65,00000	
		CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-1) - 1-3 EMISIONES FUGITIVAS	*				0,04354	0,00000
		CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-2) - 2-1 (ETAPA SOPLADO)	2,20000				65,00000	
		CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-2) - 2-3 EMISIONES FUGITIVAS	*				0,04354	
		CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-3) - 3-1 (ETAPA SOPLADO)	0,20000				2,00000	
		CONVERTIDOR PIERCE-SMITH (CPS-3) - 3-3 EMISIONES FUGITIVAS	0,00019					
		CONVERTIDOR TENIENTE (CT) - 1-1 (ETAPA SOPLADO)	*					
		CONVERTIDOR TENIENTE (CT) - 1-3 EMISIONES FUGITIVAS	*				0,00300	
		DESCARGA DE CONCENTRADOS DE COBRE DESDE CAMIONES (8% HUMEDAD)	MED					
		HORNO BASCULANTE (HBASC) - RAF 1-3 (PROCESO)	MED					
		HORNO ELECTRICO (HE) LIMPIEZA DE ESCORIAS	MED					
		HORNO ROTATORIO PLANTA DE SECADO 1-2 (EMISION POR SECADO)	MED					
		HORNO TOSTADOR DE SELENIO #1 - PLAMEN 1-1	MED					
		HORNO TOSTADOR DE SELENIO #2 - PLAMEN 2-1	MED					
		HORNO TOSTADOR DE SELENIO #3 - PLAMEN 3-1	MED					
		HORNO TOSTADOR DE SELENIO #4 - PLAMEN 4-1	MED					
		HORNO TROFF - PLAMEN 1-2 (PROCESO)	MED					
		LIXIVIACION BARRO ANODICO DESCOBRIZADO #1	0,00019					
		LIXIVIACION BARRO ANODICO DESCOBRIZADO #2	0,00563	0,01730	0,08010	0,00636	0,00527	0,00010
		TOLVA 500 TONELADAS	MED					
		TRANSPORTE POR CORREAS DE CONCENTRADO DE COBRE Y MINERAL	0,00019					

		CHANCADO						
GRUPOS ELECTROGENOS	PETROLEO N°2	GENERADOR DE EMERGENCIA #1 y #2	0,00563	0,01730	0,08010	0,00636	0,00527	0,00010

### Emisiones de Otras Fuentes

Dentro de las “otras fuentes” identificadas en Codelco, se encuentra el tránsito de camiones internos y externos (polvo resuspendido) y las emisiones por la operación de maquinaria interna.

#### a. Polvo Resuspendido

##### Tránsito Caminos Pavimentados

La fórmula utilizada proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E_{ext} = \left[ k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right] \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Las variables que intervienen en la ecuación son:

**Tabla 129. Variables para cálculo emisiones tránsito caminos pavimentados**

N° de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	sL (g/m <sup>2</sup> )	Km/año	P	N
45.094	8,3	30	15,53	27,63	91.750,5	26	289

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr):

C MP <sub>10</sub>	C MP <sub>2,5</sub>
0,13	0,10

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

sL = carga de finos en la superficie (Silt Load, g/m<sup>2</sup>)

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 130. Emisiones resuspensión de polvo en caminos pavimentados. Codelco - Ventanas**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (g/Km)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (g/Km)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
291,83	41,79	27,39	3,83

La carga de finos fue obtenida de los muestreos de calles pavimentadas efectuados durante la campaña en terreno desarrollado por el consultor.

### Tránsito Caminos Sin Pavimentar

La fórmula utilizada proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E = k (s/12)^a (W/3)^b$$

Las variables que intervienen en la ecuación son:

**Tabla 131. Variables para cálculo de emisiones tránsito sin pavimento. Codelco - Ventanas**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	s (%)	Kmr/año	C (lb/VMT)	a	b	P
1.095	8,3	20,5	12,36	17	43.800	0,00047	0,9	0,5	26

Donde,

E = Factor de emisión (lb/VMT<sup>26</sup>)

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr).

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

a, b = Constantes empíricas.

El % de Silt que se utilizó en el cálculo corresponde al máximo valor propuesto por la EPA para fundiciones de cobre, ya que el contenido de finos de 46% medido en campaña de terreno de muestreo de finos está sobrevalorado, estimando una emisión de aproximadamente de 100 tons/año de MP<sub>10</sub>.

Como el factor de emisiones está en unidades de [lb/VMT] se debió transformara a unidades de [g/Km] para determinar las emisiones en unidades métricas, mediante la siguiente igualdad:

$$1 \text{ [lb/VMT]} = 281,9 \text{ [g/Km]}$$

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

<sup>26</sup> VMT: Vehicle Mile Traveled

**Tabla 132. Emisiones tránsito sin pavimentar Codelco Ventanas 2006**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (G/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (G/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
1.016,35	101,63	44,52	4,45

### Maquinaria Interna

Durante 2006 operaron 22 Grúas Horquilla, 4 tractores, 10 cargadores frontales y 5 maquinarias de otro tipo (camión pluma, grúa alta, etc.).

Las horas totales de Operación y potencia por maquinaria se muestran a continuación.

**Tabla 133. Horas de Operación y Potencia (HP) por operación de maquinaria interna Codelco Ventanas 2006**

DESIG	DESCRIPCIÓN	POTENCIA (HP)	TOTAL DE HORAS 2006
TH-1	HYSTER H-80-C	90 HP	1296
TH-2	HYSTER H-80-C	91 HP	522
TAC-1	TRACTOR CLARK DT 60E	92 HP	3677
TAC-2	TRACTOR CLARK DT 60E	93 HP	3626
H-47	y H-52 Reemp. Contratista	85HP	1700
H-48	y H-49 Reemp. Contratista	85HP	1086
H-45	y H-52 Reemp. Contratista	85HP	2493
H-46	y H-52 Reemp. Contratista	85HP	4033
H-31	HYSTER H-80 XM 3 TON	90 HP	646
H-33	HYSTER H-80 XM 3 TON	91 HP	649
H-34	HYSTER H-80 XM 3 TON	92 HP	1303
H-41	HYSTER H-90 XM 4 TON	93,5 Hp	2221
H-42	HYSTER H-90 XM 4 TON	93,5 Hp	2445
H-43	HYSTER H-90 XM 4 TON	93,5 Hp	3072
H-51	HYSTER H-120 XM 5 TON	93,5 Hp	2105
H-61	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	3878
H-62	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	3403
H-63	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	3056
H-64	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	3293
H-65	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	2655
H-66	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	1906
H-67	HYSTER H-155 XLS 6 TON	93,5 Hp	1833
TF-1	TRACTOR FORD 5000	90 hp	3769
TF-2	TRACTOR FORD 5000	91 hp	2089
TF-3	TRACTOR FORD 6600	92 hp	981
TF-4	TRACTOR FORD 6600	93 hp	974

TC-1	CAT 977 ORUGA	190 HP	27
TC-3	CAT 936	115 HP	1705
TC-4	CAT 944-A	115 HP	0
TC-5	CAT 936	115 HP	2464
TC-6	CAT 950	130 HP	2021
TC-7	CAT 966	170 HP	497
TC-8	CAT 936	115 HP	2198
TC-9	CAT D-6-C	116 HP	34
TC-10	CAT 936	115 HP	7377
TC-11	CAT 936	115 HP	2005
GT-1	COLES	12 HP	0
GT-2	AUSTIN	13 HP	380
GL-1	LORAIN	14 HP	957
NN	CAMION PLUMA	15 HP	135
TM-1	MICHIGAN 65-R	16 HP	352
N / N	Grua Atlas	17 HP	2550
GP-1	P&H Fuera de Servicio	18 HP	0

Las emisiones totales estimadas para la operación de maquinaria interna para el año 2006 son las siguientes:

**Tabla 134. Emisiones Operación Maquinaria Interna Codelco – Ventanas 2006**

Maquinaria Interna	EMISIONES (TON/AÑO)				
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
	1,13	0,27	12,65	23,56	0,02

#### 4.4.2.2 Resumen Emisiones Codelco División Ventanas 2006

Finalmente las emisiones totales de Codelco – Ventanas para el año 2006, corresponden a:

**Tabla 135. Resumen Emisiones Codelco – Ventanas 2006 (TON/AÑO)**

CLASIFICACION INVENTARIO	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
CALDERAS INDUSTRIALES	3,80	0,46	13,03	19,70	0,86	10,56	0,30
FUNDICION PRIMARIA DE COBRE	740,48	360,10	18,41	28,39	1,22	27.469,20	0,55
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	1,13	0,27	12,65	23,56	-	0,02	-
TRANSITO PAV	27,39	3,83					
TRANSITO S/PAV	44,52	4,45					
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>817,31</b>	<b>369,11</b>	<b>44,09</b>	<b>71,66</b>	<b>2,07</b>	<b>27.479,78</b>	<b>0,85</b>

### **a. Comercial Catamutún**

Comercial Catamutún es una empresa dividida en dos áreas de trabajo: División Carbón y División Vapor.

La división carbón está dedicada a la importación y distribución de carbón térmico, transporte, manejo de canchas y servicios relacionados, asesorías en proyectos térmicos a carbón, operación de equipos, logística y manejo, control de emisiones.

En Ventanas tiene uno de los terminales de importación de carbón donde se puede descargar naves de 40 a 55 mil toneladas a ritmos de 8 a 15 mil toneladas por día. Su capacidad de almacenamiento es del orden de 150 mil toneladas en cada Terminal (también cuenta con un Terminal de importación en Penco).

Además de la importación de carbón, se dedica al cribado de carbón produciendo diferentes granulometrías para uso en calderas de parrillas, al transporte de carbón vía camiones y ferrocarril.

Las fuentes identificadas en Ventanas son las siguientes:

- Descarga Carbón Desde Camiones (10% Humedad)
- Harneado Carbón (Pta. Harneo)
- Chancado Carbón (Pta. Chancado)
- Carga Carbón En Camiones (Cargador Frontal)
- Carga Carbón En Tren (Cargador Frontal)
- Operación Maquinaria Interna
- Erosión Eólica Desde Pilas De Acopio De Carbón
- Tránsito Interno Camiones Sin Pavimento.
- Descarga De Carbón A Pilas Con Cargador Frontal
- Transito Camiones Con Carbón Desde Muelle Puerto Ventanas

### **Carga y descarga de carbón**

Para el cálculo de las emisiones de material particulado se usó la fórmula siguiente, obtenida de la Sección 13.2.4 del AP42 de la EPA. Ésta metodología es usada en la transferencia discreta y continua de material a través de distintos medios.

$$E = k(0.0016) \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \text{ (kg/megagram [Mg])}$$

Donde,

E = Factor de Emisión (Kg/Ton de Material Transferido)

k = Multiplicador del Tamaño de Partícula, adimensional

U = Velocidad Promedio del Viento (m/s)

M = Contenido de Humedad del Material (%)

Las fuentes identificadas a las cuales es aplicables ésta metodología y las variables que determinan el Factor de Emisión, son:

**Tabla 136. Variables para cálculo de emisiones Carga y Descarga de Carbón. Catamutún S.A.**

FUENTE	U (m/s)	M (%)	Material Transferido (Ton/Año)
Descarga Carbón Camiones	1,53	10	143.595,64
Descarga Carbón Cargador Frontal	1,53	10	143.595,64
Carga Carbón Camiones (Cargador Frontal)	1,53	10	102.970
Carga Carbón Tren (Cargador Frontal)	1,53	10	12.026

Se utilizó la meteorología de la estación La Greda en la velocidad promedio del viento, debido a que la empresa se ubica cercana a esta localidad y no a la estación Principal.

El valor de k es obtenido de la siguiente tabla:

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k) For Equation 1				
< 30 µm	< 15 µm	< 10 µm	< 5 µm	< 2.5 µm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Multiplier for < 2.5 µm taken from Reference 14.

Fuente: EPA. AP42. Sección 13.2.4

Los factores de emisión calculados y las emisiones correspondientes a estas fuentes son:

**Tabla 137. Emisiones por carga y descarga de carbón. Comercial Catamutún 2006**

FUENTE	FE MP <sub>10</sub> (kg/ton mat transferido)	FE MP <sub>2,5</sub> (kg/ton mat transferido)	Emisiones PTS (Ton/Año)	Emisiones MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisiones MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
Descarga Carbón Camiones	6,48117E-05	9,81434E-06	0,020	0,009	0,001
Descarga Carbón Cargador Frontal	6,48117E-05	9,81434E-06	0,020	0,009	0,001
Carga Carbón Camiones (Cargador Frontal)	0,0000648	9,81434E-06	0,014	0,007	0,001
Carga Carbón Tren (Cargador Frontal)	0,0000648	9,81434E-06	0,002	0,001	1,18E-04

## Harneado y Chancado de Carbón

Los factores de emisión usados para el chancado y harneado de carbón fueron obtenidos desde la Sección 11.24, tabla 11.24-1 “Emission Factors For Metallic Minerals Processing”. Los factores están en unidades de kg de MP/Ton de material procesado.

**Tabla 138. Emisiones Harneado y Chancado de Carbón. Comercial Catamutún S.A. 2006**

FUENTE	MATERIAL PROCESADO	FE (kg/ton)	EMISIONES (ton/año)
		FE MP <sub>10</sub>	MP <sub>10</sub>
Chancado de Carbón	8.844,91	0,012	0,0016
Harneado de Carbón	97.730,00	0,16	9,38

Se usó la clasificación de material procesado con alta humedad (10%).

## Operación de Maquinaria Interna

El detalle de las horas de operación y potencia de la maquinaria interna que operó durante 2006 se detalla a continuación, según la información de la empresa:

**Tabla 139. Horas operación maquinaria interna. Comercia Catamutún S.A. 2006**

TIPO	MARCA	AÑO	HP	HRS OPERACIÓN (MES)											
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CARGADORES FRONTALES	Komatsu	2005	187	236	243	275	200	208	264	207	206	222	175	255	117
OTROS	Inter	2002	230	114	57	118	96	91	167	78	108	159	34	10	0

En este caso, el ítem “otros”, corresponde a un camión tolva marca Inter, el que no fue tomado en consideración, dejando sólo al cargador frontal Komatsu para el cálculo de emisiones.

**Tabla 140. Emisiones Maquinaria Interna. Comercial Catamutún S.A. 2006**

EMISIONES (TON/AÑO)				
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
0,04	0,01	1,81	6,72	0,01

## Polvo Resuspendido

### Tránsito Caminos Pavimentados

El tránsito por vías pavimentadas se debe al transporte de carbón desde el muelle de Puerto Ventanas, desde donde se recibe la carga de carbón, hasta la entrada a la empresa, lugar donde el tipo de carpeta cambia de pavimentada a no pavimentada.

La fórmula utilizada para el cálculo del factor de emisión en (g/kmr) proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

Las variables que intervienen en la ecuación son:

$$E_{ext} = \left[ k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right] \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Las variables que intervienen en la ecuación son las siguientes:

**Tabla 141. Variables para cálculo emisiones tránsito caminos pavimentados. Comercial Catamutún S.A. 2006**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	sL (g/m <sup>2</sup> )	Km/año	C (g/km)	P	N
7005	8,3	20,5	12,37	3,76	16811,2	0,1317	26	365

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/km):

C MP <sub>10</sub>	C MP <sub>2,5</sub>
0,13	0,10

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

sL = carga de finos en la superficie (Silt Load, g/m<sup>2</sup>)

k = Multiplicador de tamaño de partícula, adimensional:

k (g/km <sup>r</sup> ) MP <sub>10</sub>	k (g/km <sup>r</sup> ) MP <sub>2,5</sub>
4,60	0,66

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 142. Emisiones por Tránsito en Caminos Pavimentados. Comercial Catamutún S.A. 2006**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (g/Km)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (g/Km)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
99,96	14,26	0,94	0,13

La carga de finos fue obtenida de los muestreos de calles pavimentadas efectuados durante la campaña en terreno desarrollada por el consultor.

## Tránsito Caminos Sin Pavimentar

Estas emisiones corresponden a aquellas producidas por el tránsito dentro de la empresa, donde los caminos no están pavimentados.

La fórmula utilizada proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E = k (s/12)^a (W/3)^b$$

Las variables que intervienen en la ecuación son:

**Tabla 143. Variables para cálculo tránsito caminos sin pavimentar. Comercial Catamutún S.A. 2006**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	s (%)	Km/año	C (/km)	a	b	P
7005	8,3	20,5	12,4	5,1	4202,8	0,00047	0,9	0,5	26

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

s = % contenido de finos (silt)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr).

C MP <sub>10</sub>	C MP <sub>2,5</sub>
0,13	0,10

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

a, b = Constantes empíricas.

k = Multiplicador del tamaño de partículas:

k (g/kmr) MP <sub>10</sub>	k (g/kmr) MP <sub>2,5</sub>
4,60	0,66

El % de Silt (s) que se utilizó en el cálculo corresponde al promedio propuesto por la EPA para las carpetas de rodado de plantas de carbón, ya que el contenido de finos de 46% medido en campaña de terreno de muestreo de finos está muy por sobre lo recomendado por la EPA para ese tipo de carpetas (EPA recomienda un valor promedio de 5,1%, y un máximo de 5,3%). Además, el % de finos correspondientes a las pilas de carbón de Gener (el carbón de Gener es el mismo de Catamutún), es de un 7%, conteniendo las calles internas de tránsito de Catamutún, en su mayor parte, carbón.

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 144. Emisiones tránsito sin pavimentar. Comercial Catamutún S.A. 2006**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (G/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (G/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
430,162	43,016	1,424	0,142

## Erosión Eólica

Las variables ambientales, como velocidad promedio del viento y precipitaciones, fueron obtenidas de los datos meteorológicos de la Estación La Greda.

*Determinación del Factor de Emisión para PTS y MP<sub>10</sub>.*

$$FE = 1.9 \left( \frac{s}{1.5} \right) \left( \frac{f}{15} \right) \left( \frac{365 - p}{365} \right)$$

Donde:

- FE* : Factor de emisión de PTS kg-día/ha de superficie activa  
*s* : 7%, según lo medido en pilas de carbón de Gener S.A.  
*f* : 2,74%, porcentaje de tiempo en que el viento excede 5,4 (m/s)  
*p* : 24 días (días con pp sobre 0,25 mm de agua)  
 Relación MP<sub>10</sub>/PTS = 0,5

Por lo tanto el FE corresponde a:

FE<sub>MP<sub>10</sub></sub>: 1,18 kg-día/há

*Determinación del Área de la pila expuesta.*

$$Am = \pi \times r \times (r^2 + h^2)^{0,5}$$

Comercial Catamutún
$\pi = 3,1416$
$r = 30$ [m]
$h = 4$ [m]

	Am [m <sup>2</sup> ]	Am (Há)
Comercial Catamutún S.A.	2.852,46	0,28

Las emisiones finales por acción eólica son las siguientes:

**Tabla 145. Emisiones Erosión Eólica. Comercial Catamutún S.A.**

Emisiones Comercial Catamutún S.A. (Ton/Año)	
MP <sub>10</sub>	0,61

Estas emisiones consideran 10 áreas de acopio de pilas de carbón.

## Resumen Emisiones Comercial Catamutún S.A.

**Tabla 146. Resumen Emisiones Comercial Catamutún S.A.**

CLASIFICACION INVENTARIO	EMISIONES COMERCIAL CATAMUTUN S.A. (TON/AÑO)				
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
EROSION EOLICA	0,61				
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	0,04	0,01	1,81	6,72	0,01
TRANSITO S/PAV	1,42	0,14			
TRANSITO PAVIMENTADAS	0,94	0,13			
ALMACENAMIENTO DE CARBON	9,41	0,00			
<b>TOTAL</b>	<b>12,42</b>	<b>0,29</b>	<b>1,81</b>	<b>6,72</b>	<b>0,01</b>

### b. Compañía de Petróleos de Chile (COPEC S.A.) y Empresa Nacional del Petróleo (ENAP)

Para estas empresas no se obtuvo información de sus operaciones y fuentes de emisión, por lo que no se estimaron emisiones de fuentes fijas.

Sin embargo, se obtuvo información respecto de la operación de embarcaciones en la bahía, calculándose las emisiones provenientes de los motores de estas naves. La información fue proporcionada por la Capitanía de Puerto.

Debido a que no se tienen los datos para cada empresa sobre operaciones en puerto la información de emisiones se presenta de forma agregada.

Las emisiones totales provenientes de operaciones en bahía se muestran a continuación:

**Tabla 147. Emisiones de embarcaciones de COPEC - ENAP**

MODO DE OPERACIÓN	TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)				
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>x</sub>
COPEC - ENAP	19,50	10,92	872,46	424,95	3.403,70

### c. Empresas Melon S.A.

Esta empresa cuenta con un domo de almacenamiento de clínker en Puerto Ventanas. El producto es recepcionado desde los barcos en el sitio n° 5 mediante una tolva que descarga el producto sobre una correa transportadora para luego enviarla hasta la tolva de recepción ubicada en la parte superior del domo. Una vez en el domo la carga es transferida a una cinta transportadora y ésta envía a su vez el producto a una tolva de despacho común para la carga de tren y camiones con este material. Estas tres tolvas cuentan con equipo de control del tipo filtro de mangas. Una vez en la tolva de despacho común, el producto es cargado por tolvas diferentes según sea el medio de transporte, estas no cuentan con equipo de control.

Las fuentes identificadas corresponden a:

- Descarga Clínter de Cinta Puerto A Tolva Domo de Almacenamiento
- Descarga Clínter de Cinta A Tolvas de Despacho
- Descarga Clínter de Tolva a Camiones
- Descarga Clínter de Tolva a Tren

Las emisiones fueron calculadas según la metodología propuesta por la EPA en el documento AP42, sección 11.9, tabla 11.9-2.

Ecuación FE MP<sub>15</sub> (kg/m<sup>3</sup> procesado):

$$\frac{0.0046 (d)^{1.1}}{(M)^{0.3}}$$

Ecuación FE PTS (kg/m<sup>3</sup> procesado):

$$\frac{0.0046 (d)^{1.1}}{(M)^{0.3}}$$

Para determinar el factor de emisión para MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> se usarán los siguientes factores de tamaño de partículas adimensionales:

$$MP_{10} = 0,75$$

$$MP_{2,5} = 0,017$$

Para obtener el factor de emisión (FE) para MP<sub>10</sub> el valor antes indicado se multiplicó por la Ecuación correspondiente al FE para MP<sub>15</sub>, mientras que en el caso del MP<sub>2,5</sub> se usó el FE para PTS.

Se consideró una densidad del material de 1,58 ton/m<sup>3</sup>.

Las variables que intervienen en cada cálculo se muestran a continuación:

**Tabla 148. Variables de cálculo para emisiones de Descarga de Clínter. Melón S.A. 2006**

FUENTE	M (%)	d (m)	VOLUMEN TRANSFERIDO (m <sup>3</sup> /año)	EQUIPO CONTROL	EFICIENCIA CONTROL
Descarga Clínter de Cinta Puerto a Tolva Domo de Almacenamiento	0,1	1	128879,7468	Filtro Manga	95%
Descarga Clínter de Cinta a Tolvas de Despacho	0,1	1	128879,7468	Filtro Manga	95%
Descarga Clínter de Tolva a Camiones	0,1	2	64439,87342	Sin Equipo	0
Descarga Clínter de Tolva a Tren	0,1	2	64439,87342	Sin Equipo	0

Donde,

M = % humedad del material

d = Altura de caída del material desde la tolva hasta el medio receptor (m)

Las emisiones finales y su correspondiente FE son:

**Tabla 149. Emisiones por fuente Melón S.A. 2006**

FUENTE	FACTOR DE EMISIÓN		EMISIONES (TON/AÑO)	
	FE MP <sub>10</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	FE MP <sub>2,5</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
Descarga Clinker de Cinta Puerto a Tolva Domo de Almacenamiento	4,34E-03	1,56E-04	0,03	0,001
Descarga Clinker de Cinta a Tolvas de Despacho	4,34E-03	1,56E-04	0,03	0,001
Descarga Clinker de Tolva a Camiones	7,05E-03	3,34E-04	0,45	0,022
Descarga Clinker de Tolva a Tren	7,05E-03	3,34E-04	0,45	0,022

En este caso se puede apreciar que las emisiones no son altas, sin embargo las mayores corresponden a las descarga de clinker a tren y camiones, siendo sus emisiones, en conjunto, cercanas a la tonelada anual.

Las emisiones correspondientes a Empresas Melón son las siguientes

**Tabla 150. Resumen Emisiones Melón S.A. 2006**

CLASIFICACION INVENTARIO	EMISIONES MELON S.A. (TON/AÑO)	
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
ALMACENAMIENTO CLINKER	0,96	0,05
<b>TOTAL</b>	<b>0,96</b>	<b>0,05</b>

#### **d. GASMAR S.A.**

El Terminal Quintero de Gasmar S.A. presta regularmente servicios a los volúmenes de butano y propano con que ENAP abastece por vía marítima las demandas de sus clientes de la zona central de Chile. Bajo esta modalidad, ofrece servicios de descarga y carga de buques, almacenamiento de producto y su despacho hacia el oleoducto de SONACOL.

Las fuentes de emisión identificadas son las siguientes:

- Grupo Electrónico N° 1 (Playa)
- Grupo Electrónico N° 2 (Planta)
- Motor Proceso N° 1 (Diesel Agua de Mar)
- Motor Proceso N° 2 (Sistema Contra Incendio)
- Motor Proceso N° 3 (Clarcke)
- Transporte Propano - Butano

- Operación De Buques (Gasmar)
- Antorcha

Se identificaron 2 grupos electrógenos y 3 motores de proceso, para la estimación de emisiones desde estas fuentes se usó el factor EPA para grupos electrógenos. Todas las fuentes usan Petróleo N° 2 para su operación

### Grupos Electrógenos y Motores de Proceso

El detalle del consumo de combustible, horas y días de operación, factores de emisión y emisiones calculadas por fuente, se detallan a continuación.

**Tabla 151. Consumo Combustibles Gasmar S.A.**

FUENTES	COMBUSTIBLE	CONSUMO 2006 (Ton/Año)	OPERACION 2006	
			HORAS / DÍA	DÍAS / AÑO
Grupo Electrónico N° 1 (Playa)	Petróleo Diesel	16,48	1,00	27,00
Grupo Electrónico N° 2 (Planta)	Petróleo Diesel	42,84	3,00	139,00
Motor Proceso N° 1 (Diesel Agua De Mar)	Petróleo Diesel	15,82	17,50	19,00
Motor Proceso N° 2 (Sistema Contra Incendio)	Petróleo Diesel	0,63	1,00	12,00
Motor Proceso N° 3 (Clarcke)	Petróleo Diesel	0,47	1,00	5,00

**Tabla 152. Factores reemisión Grupos Electrógenos. Gasmar S.A.**

FUENTE	FACTORES DE EMISION (kg/kg)				
	CO	NOx	COV	SOx	NH <sub>3</sub>
Grupos Electrógenos	0,0173	0,0801	0,00636	0,00527	0,0001

**Tabla 153. Emisiones Gasmar S.A. 2006**

FUENTES	EMISIONES (TON/AÑO)						
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NOx	COV	SOx	NH <sub>3</sub>
Grupo Electrónico N° 1 (Playa)	0,046	0,011	0,285	1,320	0,105	0,087	0,002
Grupo Electrónico N° 2 (Planta)	0,121	0,029	0,741	3,431	0,273	0,227	0,004
Motor Proceso N° 1 (Diesel Agua De Mar)	0,045	0,011	0,274	1,267	0,101	0,083	0,002
Motor Proceso N° 2 (Sistema Contra Incendio)	0,001	0,000	0,011	0,050	0,004	0,003	0,000
Motor Proceso N° 3 (Clarcke)	0,001	0,000	0,008	0,038	0,003	0,003	0,000

## Transporte Propano – Butano

Corresponde a las emisiones de polvo resuspendido por el tránsito de camiones cisterna para el transporte de gas propano y butano por vías pavimentadas. Las variables que intervienen en las emisiones se muestran a continuación:

La fórmula utilizada para el cálculo del factor de emisión proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E_{ext} = \left[ k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right] \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Las variables que intervienen en la ecuación son las siguientes:

**Tabla 154. Variables para cálculo emisiones transporte vías pavimentadas. Gasmar S.A. 2006**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	sL (g/m <sup>2</sup> )	Kmr/año	C (g/kmr)	P	N
3.556	23,5	21,5	22,8	0,18	2.574	0,1317	26	365

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr).

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

N = Número de días de operación.

sL = carga de finos en la superficie (Silt Load, g/m<sup>2</sup>)

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 155. Emisiones Tránsito Vías Pavimentadas Gasmar S.A. 2006**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (g/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (g/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
19,70	2,75	0,05	0,01

La carga de finos fue obtenida de los muestreos de calles pavimentadas efectuados durante la campaña en terreno desarrollada por el consultor.

## Operación de Buques (Gasmar)

La información necesaria para estimar las emisiones de la Operación de buques fue proporcionada oportunamente por la empresa. El detalle del cálculo de estas emisiones se detalla en el capítulo 3.

Las emisiones finales de estas operaciones se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 156. Emisiones por operación de embarcaciones en bahía**  
**TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES**  
**PORTUARIAS (Ton/Año)**

RAZÓN	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COV	SO <sub>x</sub>
GASMAR	0,61	0,34	27,44	4,87		41,31

### Antorcha

Para el cálculo de emisiones provenientes de la quema de gas propano quemado en la antorcha de Gasmar S.A. se usaron los factores de emisión propuestos por la EPA en su Sección 13.5 “Industrial Flares”.

Los factores a usar fueron los siguientes, en unidades de [lb/MMBtu].

**Tabla 157. Factores de Emisión Antorcha (Flare)**

CONTAMINANTE	Factor de Emisión [lb/10 <sup>6</sup> Btu]	Factor de Emisión [kg/MMBtu]
HCT	0,14	0,308
CO	0,37	0,814
NO <sub>x</sub>	0,068	0,1496

Se considera un Poder Calorífico del Propano de 6.030 [kcal/l] (90.500 [Btu/gal]) y una densidad de 507 [kg/m<sup>3</sup>] (507 [g/l]). (Anexo A – AP42 EPA).

Considerando que durante el año 2006, quemaron 50,4 Ton de propano, eso equivale a 99.040 lts.:

Para el cálculo de las Btu generadas se considera que 1 [kcal] equivale a 3,9680 [Btu].

Como el poder calorífico es 6.030 [kcal/l], esto indica que se generaron 59,72 x 10<sup>7</sup> [kcal], por lo tanto se generaron 2.369,75 MMBtu:

Finalmente las emisiones resultantes son:

**Tabla 158. Emisiones Antorcha (Flare). Gasmar S.A.**

CONTAMINANTE	Factor de Emisión (kg/MMBtu)	Emisiones (Ton/Año)
HCT	0,308	0,72
CO	0,814	1,92
NO <sub>x</sub>	0,1496	0,35

## Resumen Emisiones GASMAR S.A.

**Tabla 159. Resumen Emisiones GASMAR S.A. 2006**

FUENTES	EMISIONES (TON/AÑO)						
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Grupo Electrónico N° 1 (Playa)	0,046	0,011	0,285	1,320	0,105	0,087	0,002
Grupo Electrónico N° 2 (Planta)	0,121	0,029	0,741	3,431	0,273	0,227	0,004
Motor Proceso N° 1 (Diesel Agua De Mar)	0,045	0,011	0,274	1,267	0,101	0,083	0,002
Motor Proceso N° 2 (Sistema Contra Incendio)	0,001	0,000	0,011	0,050	0,004	0,003	0,000
Motor Proceso N° 3 (Clarcke)	0,001	0,000	0,008	0,038	0,003	0,003	0,000
Polvo Resuspendido (Transporte Propano Butano)	0,05	0,01	-	-	-	-	-
Emisión desde Embarcaciones	0,61	0,34	4,87	27,44	-	41,31	-
Antorcha	-	-	1,92	0,35	0,72	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>0,87</b>	<b>0,40</b>	<b>8,11</b>	<b>33,90</b>	<b>1,21</b>	<b>41,71</b>	<b>0,01</b>

### e. OXIQUM S.A.

Oxiqum S.A. cuenta con dos establecimientos en la zona de Ventanas, un terminal marítimo que descarga graneles líquidos (metanol, estireno, acetato de etilo, etc) a través de ductos de descarga instalados en su muelle y un establecimiento de molienda de sustancias granulares ubicado en el sector norte de la bahía de Quintero, inmediatamente al sur del Puerto de Ventanas, hacia al suroriente del Terminal Marítimo de OXIQUM S.A., en el costado oriente de la carretera F-30-E Concón Ventanas.

## Terminal Marítimo

Los productos descargados son almacenados en estanques especialmente diseñados para contener estos productos, el movimiento de productos durante 2006 se detalla a continuación:

**Tabla 160. Almacenamiento productos orgánicos 2006**

PRODUCTO	ESTANQUE	CANTIDAD [ton]	TOTAL [ton]
SODA CAUSTICA	101	3.810	30.102
	103	2.872	
	104	8.964	
	109	14.456	
SULFHIDRATO DE SODIO	101	5.100	13.918
	105	4.212	
	106	4.606	
METANOL	102	7.217	25.725
	108	18.242	
	203	157	
	206	109	
ESTIRENO	112	4.114	9.361
	201	1.123	
	202	4.124	
SHELL SOL	201	2.147	2.147
ACETATO DE ETILO	204	568	1.231
	205	240	
	209	423	
FENOL	301	560	11.824
	302	425	
	304	990	
	305	1.183	
	306	4.802	
	307	3.864	
DIESEL	501	155.000	170.000
	111	15.000	
ACIDO SULFURICO	401		333.577
	402		
GASOLINA 97	107	15.000	
GASOLINA 93	502	29.000	

Las fuentes de emisión identificadas en Oxiquim son las siguientes:

- Caldera 1
- Caldera 2
- Grupo Electrónico

- Tránsito camiones (Polvo Resuspendido)
- Llenado de estanques camiones cisterna (Emisiones de COV's)
- Estanques de almacenamiento (Emisiones de COV's)
- Operación de Buques

Para calcular las emisiones por operaciones de llenado y vaciado de tanques de almacenamiento de líquidos orgánicos, se usó la metodología incluida en el documento AP42 de la EPA, en su sección **7.1 Organic Liquid Storage Tanks**. Para el cálculo de emisiones se usó el software de estimación de emisiones *Tanks 4.09D*<sup>27</sup>.

Éste es un programa que estima las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y contaminantes peligrosos del aire (HAP) desde tanques de almacenamiento de techo fijo y flotante. Este programa fue desarrollado para simplificar el procedimiento en las estimaciones de las emisiones de estos contaminantes, basados en la metodología incluida en el capítulo 7 del documento AP-42 de la EPA.

Las demás fuentes de emisión corresponden a calderas del tipo industrial, grupo electrógeno, operación de embarcaciones y emisiones de polvo resuspendido por el tránsito de camiones cisterna. También fueron estimadas las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's) durante el llenado de camiones cisterna con los productos almacenados.

### Calderas

Para el cálculo de las emisiones se usó factores correspondientes a calderas industriales, obtenidas del capítulo 1 del AP-42 de la EPA.

**Tabla 161. Ciclo operación Calderas Oxiquim S.A. – Terminal Marítimo 2006**

FUENTE	Combustible	Consumo 2006 (Ton/Año)	Horas operación 2006	Días de operación 2006
Caldera 1	Gas Licuado	1.223,42	N/I*	N/I
Caldera 2	Gas Natural	2,04	N/I	N/I

\* No informado

Los factores de emisión se muestran a continuación:

**Tabla 162. Factores de Emisión Calderas. Oxiquim 2006**

FUENTE	COMBUSTIBLE	FACTORES DE EMISION (kg/kg)					
		PTS	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Caldera 1	Gas Licuado	1,3 x 10 <sup>-4</sup>	8 x 10 <sup>-4</sup>	4,4 x 10 <sup>-3</sup>	1 x 10 <sup>-4</sup>	1,3 x 10 <sup>-5</sup>	6,6 x 10 <sup>-5</sup>
Caldera 2	Gas Natural	1,7 x 10 <sup>-4</sup>	1,9 x 10 <sup>-3</sup>	2,3 x 10 <sup>-3</sup>	1 x 10 <sup>-4</sup>	2,8 x 10 <sup>-4</sup>	3,9 x 10 <sup>-8</sup>

Se considera PTS = MP10 = MP2,5

<sup>27</sup> <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/>

Emisiones:

**Tabla 163. Emisiones desde Calderas. Oxiquim Terminal Marítimo 2006**

FUENTE	EMISIONES (Ton/Año)						
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Caldera 1	0,1620	0,1620	0,9261	5,3998	0,0945	0,0160	0,0810
Caldera 2	0,0004	0,0004	0,0039	0,0046	0,0003	0,0006	0,0000

### Grupo Electrónico

Consumos y operación 2006:

**Tabla 164. Ciclo Operación Grupo Electrónico**

FUENTES	COMBUSTIBLE	CONSUMO 2006 (Ton/Año)	OPERACION 2006	
			HORAS / DÍA	DÍAS / AÑO
Grupo Electrónico	Petróleo Diesel	0,27	1	12

Los factores de emisión corresponden a los factores de grupos electrónicos (AP-42, EPA):

**Tabla 165. Factores de Emisión Grupos Electrónicos. Oxiquim S.A. 2006**

FUENTE	FACTORES DE EMISION (kg/kg)					
	PTS	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Grupos Electrónicos	0,00563	0,0173	0,0801	0,00636	0,00527	0,0001

Se considera MP10/PTS = 0,5 y MP2,5/MP10 = 0,25

Las emisiones desde esta fuente son:

**Tabla 166. Emisiones G.E. Oxiquim Terminal Marítimo 2006**

FUENTE	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Grupo Electrónico	8x10 <sup>-4</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	0,02	1,7x10 <sup>-3</sup>	1,4x10 <sup>-3</sup>	3,8 x 10 <sup>-5</sup>

### Tránsito camiones (Sin pavimentar)

Estas emisiones corresponden a polvo resuspendido por tránsito de camiones cisterna en la calle de servicio de Oxiquim – Terminal Portuario, sin pavimentar.

La fórmula utilizada proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E = k (s/12)^a (W/3)^b$$

Las variables que intervienen en la ecuación son:

**Tabla 167. Variables para cálculo emisiones tránsito vías sin pavimentar. Oxiquim Terminal Marítimo 2006**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	s (%)	Kmr/año	C (g/kmr)	a	b	P
29.836	8,3	28	14,9	17	29.836	0,00047	0,9	0,5	26

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr).

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

a, b = Constantes empíricas.

El % de Silt que se utilizó en el cálculo corresponde al máximo valor propuesto por la EPA para fundiciones de cobre, ya que el contenido de finos de 46% medido en campaña de terreno de muestreo de finos está sobrevalorado, estimando una emisión de aproximadamente de 100 tons/año de MP<sub>10</sub>.

Para el cálculo del abatimiento por precipitaciones, la ecuación del factor de emisiones señalada anteriormente se multiplica por:

$$E_{\text{ext}} = E [(365 - P)/365]$$

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 168. Emisiones tránsito caminos sin pavimento. Oxiquim Terminal Marítimo 2006.**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (G/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (G/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
1.104,144	110,414	32,943	3,294

### Llenado de estanques camiones cisterna (Emisiones de COV's)

Las emisiones evaporativas de COV durante el transporte de combustible, se originan en el desplazamiento o generación de vapores durante la carga y descarga del combustible y dependen del modo de operación y de la tecnología de control empleada. Las emisiones son mayores en el caso que los camiones no cuenten con sistema de traspaso de vapores. Dicha metodología proviene del AP-42 de la EPA de los Estados Unidos.

Las emisiones se calculan usando la siguiente expresión:

$$L_1 = 12.46 \frac{SPM}{T} \left( 1 - \frac{E_{ff}}{100} \right)$$

Donde:

$L_1$  : Pérdidas por llenado [libras/ 1000 gal líquido cargado].

$S$  : Factor de saturación

$P$  : Presión de vapor real del líquido cargado.

$M$  : Peso molecular de vapores [lb/Lb mol].

$T$  : Temperatura de líquido cargado ( $^{\circ}R = ^{\circ}F + 460$ )

$E_{ff}$ : Eficiencia de recuperación de vapores.

El factor de saturación ( $S$ ) involucrado en el cálculo depende del modo de operación de la carga de los líquidos. Se supuso que el llenado de los estanques camiones se hacía sin traspaso de vapores ( $S=0,6$ ).

Para el caso de Oxiquim las siguientes son las variables que intervienen en la determinación del Factor de Emisión ( $L_1$ ).

**Tabla 169. Variables para cálculo emisiones Llenado de estanques camiones. Oxiquim Terminal Marítimo 2006.**

CONTENIDO	Nº CAMIONES/AÑO	CAPACIDAD ESTANQUE (TON)	DENSIDAD (KG/M3)	DENSIDAD (LB/GAL)	S	P	M	T (°R)	EFF
Metanol	980	28	799,06	6,63	0,6	1,412	32,04	519	0
Fenol	355	28	1080,24		0,6	0,0035	94,11	519	0
Acetato	35	28	905,32	7,55	0,6	1,102	88,1	519	0
Estireno	326	28	909,33		0,6	0,063	104,15	519	0

Se consideró una  $t^{\circ}$  de  $15^{\circ}C$ .

No se considera equipo de control para traspaso de vapores, por lo tanto la eficiencia de este equipo es cero (0).

En la siguiente tabla se muestra se muestra el movimiento anual (2006) de productos cargados a camiones en unidades métricas e inglesas, además del factor de emisiones calculado según la fórmula antes señalada y las emisiones finales de compuestos orgánicos volátiles.

**Tabla 170. Emisiones COV por llenado de estanques camiones. Terminal Marítimo Oxiquim 2006.**

CONTENIDO	CANTIDAD CARGADA (TON)	CANTIDAD CARGADA (LB)	VOLUMEN CARGADO (M <sup>3</sup> )	VOLUMEN CARGADO (GAL)	L1 (LB/1000 GAL LÍQ CARGADO)	FE (TON/M <sup>3</sup> )	EMISION (TON/AÑO)
Metanol	27446,00	60508000,52	34347,86397	9073675,224	0,651672117	7,820E-05	<b>2,586</b>
Fenol	9947,00	21929355,14	9208,119316	2432508,88	0,004744667	5,693E-07	<b>0,005</b>
Acetato	967,00	2131867,54	1068,128268	282167,4446	1,398490234	1,678E-04	<b>0,172</b>
Estireno	9141,00	20152431,42	10052,502	2655569,453	0,094365198	1,132E-05	<b>0,109</b>

### Estanques de almacenamiento (Emisiones de COV's)

Las emisiones de COV desde el almacenamiento de líquidos orgánicos se debe a pérdidas evaporativas como resultado de cambios en los niveles del contenido del líquido. Las fuentes varían con el diseño del tanque. Así las emisiones desde tanques de techo fijo son el resultado de pérdidas evaporativas durante el almacenamiento y pérdidas evaporativas durante operaciones de llenado y vaciado (pérdidas por trabajo). Las emisiones desde tanques de almacenamiento de techo flotante interno y externo se producen durante la permanencia del líquido dentro del tanque, estas pérdidas son a través de válvulas de alivio y otras, existentes en los tanques. Un mayor detalle del mecanismo de pérdidas evaporativas de compuestos orgánicos volátiles puede obtenerse del capítulo 7 del compendio de factores de emisión de la EPA, AP-42, disponible en su página web: <http://www.epa.gov>.

Para el cálculo de emisiones desde estanques de almacenamiento se utilizó el modelo "Tanks", desarrollado por la EPA en conjunto con la API (American Petroleum Institute).

Para el cálculo de las pérdidas evaporativas el programa considera variables climáticas de la zona donde están los tanques de almacenamiento, como temperatura, factor de insolación y velocidad promedio del viento mensuales, por lo que las estimaciones fueron calculadas con los datos meteorológicos obtenidos de la Estación Principal, quedando cargados en el sistema.

Las emisiones calculadas se muestran a continuación:

**Tabla 171. Emisiones desde Estanques de Almacenamiento. Oxiquim Terminal Marítimo 2006**

EMISSIONS REPORT FOR: ANNUAL				
TANK IDENTIFICATION LOSSES (LBS)				
IDENTIFICACION ESTANQUE	TIPO DE ESTANQUE	CONTENIDO	EMISIONES (LBS/AÑO)	EMISIONES (TONS/AÑO)
OXIQUM - ESTANQUE E-102	Vertical Fixed Roof Tank	METANOL	4.902,59	2,21
OXIQUM - ESTANQUE E-107	Vertical Fixed Roof Tank	GASOLINA 97	56.887,25	25,60
OXIQUM - ESTANQUE E-108	Vertical Fixed Roof Tank	METANOL	11.893,74	5,35
OXIQUM - ESTANQUE E-111	Vertical Fixed Roof Tank	PETROLEO DIESEL N° 2	151,9	0,07
OXIQUM - ESTANQUE E-112	Vertical Fixed Roof Tank	ESTIRENO	386,35	0,17
OXIQUM - ESTANQUE E-201	Vertical Fixed Roof Tank	ESTIRENO	103,31	0,05
OXIQUM - ESTANQUE E-202	Vertical Fixed Roof Tank	ESTIRENO	249,57	0,11
OXIQUM - ESTANQUE E-	Vertical Fixed Roof	METANOL	371	0,17

203	Tank			
OXIQUM - ESTANQUE E-204	Vertical Fixed Roof Tank	ACETATO DE ETILO	794,71	0,36
OXIQUM - ESTANQUE E-205	Vertical Fixed Roof Tank	ACETATO DE ETILO	577,83	0,26
OXIQUM - ESTANQUE E-206	Vertical Fixed Roof Tank	METANOL	248,32	0,11
OXIQUM - ESTANQUE E-209	Vertical Fixed Roof Tank	ACETATO DE ETILO	1558,50	0,70
OXIQUM - ESTANQUE E-501	Vertical Fixed Roof Tank	PETROLEO DIESEL N° 2	1.183,40	0,53
OXIQUM - ESTANQUE E-502	Vertical Fixed Roof Tank	GASOLINA 93	231.518,33	104,18
<b>Total Emissions for all Tanks:</b>			<b>310.826,80</b>	<b>139,87</b>

### Operación de Buques

La información necesaria para estimar las emisiones de la Operación de buques fue proporcionada oportunamente por la empresa. El detalle del cálculo de estas emisiones se detalla en el capítulo 3.

Las emisiones finales de estas operaciones se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 172. Emisiones por Emisiones de embarcaciones. Oxiquim 2006.**

FUENTE	TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)				
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>x</sub>
<b>OXIQUM S.A.</b>	1,27	0,71	73,39	15,95	132,38

### Planta de Molienda de Sustancias Granulares

La planta tiene como objetivo la conversión de resinas sólidas -las que previamente han sido solidificadas- en resinas en polvo fino, y las mezcla con un catalizador para obtener un producto que se emplea principalmente en la industria de balatas de frenos, fundición, caucho y refractarios.

Además almacena una serie de líquidos orgánicos como estireno, butanol, xileno, propilenglicol, entre otros.

Las fuentes identificadas en visita a terreno a la planta son las siguientes:

Estanques de Almacenamiento de Químicos  
 Chancado (Pta Molienda)  
 Molino (Pta Molienda)  
 Movimiento de Camiones (Pta Molienda)  
 Caldera N° 1  
 Caldera N° 2  
 Bomba de Agua  
 Grupo Electrónico  
 Operación Maquinaria Interna

La empresa no entregó antecedentes respecto de las operaciones desarrolladas durante 2006 en la planta, así como de consumos de combustibles ni volúmenes procesados por las operaciones de chancado y molienda.

Se estimó la emisión del Movimiento de Camiones gracias a la información obtenida de la DIA "Planta Molienda y Mezcla Sustancias Granulares".

Las emisiones provenientes de la Caldera N° 1 y N° 2, así como del grupo eléctrico se obtuvieron de la Declaración de Emisiones del 2005.

### Calderas N° 1 y N° 2

Para el cálculo de las emisiones se usó factores correspondientes a calderas industriales, obtenidas del capítulo 1 del AP-42 de la EPA.

**Tabla 173. Consumos de combustible. Oxiquim Planta Molienda 2006**

FUENTE	Combustible	Consumo 2006 (Ton/Año)
Caldera 1	Gas Licuado	1,84
	Gas Natural	2.640
Caldera 2	Gas Licuado	2.880

Los factores de emisión se muestran a continuación:

**Tabla 174. Factores Emisión Calderas Oxiquim Planta Molienda. 2006**

FUENTE	COMBUSTIBLE	FACTORES DE EMISION (kg/kg)					
		PTS	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Caldera 1 y 2	Gas Licuado	$1,3 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-5}$	$6,6 \times 10^{-5}$
	Gas Natural	$1,7 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-8}$

Las emisiones correspondientes a las calderas son las siguientes:

**Tabla 175. Emisiones Calderas Planta Molienda. Oxiquim. 2006**

FUENTE	EMISIONES (Ton/Año)						
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Caldera 1-1 <sup>1</sup>	1,2x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-5</sup>	1,4x10 <sup>-3</sup>	8,1x10 <sup>-3</sup>	1,4x10 <sup>-4</sup>	2x10 <sup>-5</sup>	1,2x10 <sup>-4</sup>
Caldera 1-2 <sup>2</sup>	0,23	0,05	5,00	5,96	0,33	0,73	1x10 <sup>-4</sup>
Caldera 2	0,19	0,05	2,18	12,71	0,22	0,04	0,19

<sup>1</sup> Caldera consumiendo Gas Licuado

<sup>2</sup> Caldera consumiendo Gas Natural

Relación MP10/PTS = 0,5

Relación MP2,5/PTS = 0,12

## RESUMEN EMISIONES OXIQUIM

Tabla 176. Resumen de emisiones de OXIQUIM

ESTABLECIMIENTO	CLASIFICACION INVENTARIO	EMISIONES (TON/AÑO)						
		MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	COV	NH <sub>3</sub>
PLANTA DE MOLIENDA DE SUSTANCIAS GRANULARES	CALDERAS INDUSTRIALES	0,42	0,10	7,18	18,68	0,77	0,55	0,19
	GRUPOS ELECTROGENOS	-	-	-	-	-	-	-
	INDUSTRIA QUIMICA	-	-	-	-	-	-	-
	OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	-	-	-	-	-	-	-
	TRANSITO PAV							
TERMINAL 007AMARITIMO	CALDERAS INDUSTRIALES	0,16	0,16	0,93	5,40	0,02	0,09	0,08
	GRUPOS ELECTROGENOS	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	INDUSTRIA QUIMICA	-	-	-	-	-	142,74	-
	OPERACIÓN BUQUES	1,27	0,71	15,95	73,39	132,38		
	TRANSITO S/PAV	32,94	3,29					
<b>TOTAL</b>		<b>34,79</b>	<b>4,27</b>	<b>24,06</b>	<b>97,49</b>	<b>133,17</b>	<b>143,38</b>	<b>0,27</b>

### f. Puerto Ventanas S.A.

Puerto Ventanas S.A. presta servicios de estiba y desestiba, almacenaje, transporte terrestre, atención de naves, servicio de remolcadores y servicio de bunkering (combustible para barcos).

El muelle de Puerto Ventanas actualmente cuenta con 5 sitios de atraque según el calado de cada embarcación.

Un diagrama de las instalaciones se muestra en las siguientes figuras.



Figura 27. Ubicación Instalación Puerto Ventanas S.A.

Fuente: <http://www.puertoventanas.cl>

Puerto Ventanas cuenta con una bodega de graneles limpios, un silo de almacenamiento de Clíner, operado por Empresas Melón S.A., una bodega de almacenamiento de concentrados de cobre, zonas de acopio de descubierto para concentrados, un terminal de combustibles, un terminal de asfalto y un terminal químico, además de las oficinas administrativas. La cancha de acopio de carbón es de propiedad de Aes Gener S.A. pero es administrada por Puerto Ventanas quien transporta el carbón vía correa hermética hasta la cancha de almacenamiento.

El movimiento de carga durante 2006 se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 177. Ton Movidas PVSA - 2006.**

<b>Carga</b>	<b>Descarga</b>	<b>Embarque</b>	<b>Total general</b>
Acido Sulfúrico		324.950	324.950
Agriproducts	158.094		158.094
Asfalto	58.000		58.000
Carbón	970.934		970.934
Carga Fría	9.000		9.000
Clínker	203.630		203.630
Combustibles	329.000		329.000
Concentrado Cu	52.700	810.580	863.280
Concentrado Zn		5.000	5.000
Escoria	21.250		21.250
Gluten	3.098		3.098
Maíz	154.722		154.722
Ortoxileno	1.500		1.500
Pig Iron	37.566		37.566
Químicos	6.122		6.122
Trigo	99.662		99.662
Trigo - Gluten	19.725		19.725
Trigo - Maíz	129.969		129.969
<b>Total general</b>	<b>2.254.972</b>	<b>1.140.530</b>	<b>3.395.502</b>

Las fuentes de emisión identificadas en las distintas instalaciones de Puerto Ventanas corresponden a:

**Tabla 178. Fuentes de Emisión por Instalación Puerto Ventanas S.A.**

<b>FUENTE</b>	<b>INSTALACION</b>
Embarque de Concentrado Cu (Sitio 2)	Puerto
Embarque de Concentrado Cu (Sitio 3)	Puerto
Embarque de Concentrado Cu (Sitio 5)	Puerto
Embarque de Concentrado Zn (Sitio 2)	Puerto
Descarga de Concentrado Cu (Sitio 2)	Puerto
Descarga Granos Desde Barcos En Correa (Sitio 3)	Puerto
Descarga Granos Desde Barcos En Correa (Sitio 5)	Puerto
Descarga de Grano En Camiones (Sitio 5)	Puerto
Descarga de Clínker (Sitio 5)	Puerto
Descarga de Carbón En Correa (Sitio 5)	Puerto
Descarga Carbón En Camión Catamutun (Sitio 5)	Puerto
Grupo Electrónico	Puerto
Calentador de Aceites 1-1 (Gas Natural)	Terminal De Combustibles
Calentador de Aceites 1-2 (Petróleo N° 2)	Terminal De Combustibles
Descarga Granos A Tren (Tolva 1)	Bodega de Graneles Limpios
Descarga Granos A Camiones (Tolva 2)	Bodega de Graneles Limpios
Transito Camiones Con Granos	Bodega de Graneles Limpios

Barredora	Bodega de Graneles Limpios
Erosión de Sitio Eriazo	Bodega de Graneles Limpios
Emisiones Por Operaciones En Bodegas de Almacenamiento de Granos	Bodega de Graneles Limpios
Emisiones Por Operaciones de Maquinaria Interna	Bodega de Graneles Limpios
Operación de Buques (Puerto Ventanas - Sitio 2, 3 y 5)	Puerto

### Embarque y descarga de concentrados, clínker y carbón

Para calcular las emisiones de material particulado proveniente de las operaciones de descarga y embarque de carbón, clínker y carbón, se usó la metodología propuesta por la EPA, en la Sección 11.9, Tabla 11.9-2 (Metric Units) "Emission Factor Equations For Uncontrolled Open Dust Sources At Western Surface Coal Mines".

Las variables que intervienen en el cálculo del factor de emisión corresponden al % de humedad del material además de la altura de caída del mismo.

Se distinguen dos ecuaciones para el cálculo de los FE:

1.-

$$\frac{0.0046 (d)^{1.1}}{(M)^{0.3}} \text{ FE para PTS}$$

2.-

$$\frac{0.0029 (d)^{0.7}}{(M)^{0.3}} \text{ FE para MP}_{15}$$

Las variables que incidieron en el cálculo para cada fuente son las siguientes:

**Tabla 179. Variables para cálculo de emisiones embarque y descarga Puerto Ventanas S.A. 2006**

FUENTE	k MP <sub>10</sub>	k MP <sub>2,5</sub>	M (%)	d (m)	VOLUMEN TRANSFERIDO (m <sup>3</sup> /año)	EQUIPO CONTROL	EFICIENCIA CONTROL
Embarque de Concentrado (Sitio 2)	0,75	0,017	8	8	336.422,54	Sin equipo	0
Embarque de Concentrado (Sitio 3)	0,75	0,017	8	8	5.164,32	Sin equipo	0
Embarque de Concentrado (Sitio 5)	0,75	0,017	8	8	41.314,55	Sin equipo	0
Embarque de Concentrado Zn (Sitio 2)	0,75	0,017	8	8	2.347,42	Sin equipo	0
Descarga de Concentrado Cu (Sitio 2)	0,75	0,017	8	8	14.507,04	Sin equipo	0
Descarga de Clínker (Sitio 5)	0,75	0,017	0,001	2	128.879,75	Filtro manga	95%
Descarga de Carbón En Camiones Catamuctun	0,75	0,017	10	2	13.333,33	Sin equipo	0

(Sitio 5)							
Descarga de Carbón En Correa (Sitio 5)	0,75	0,017	10	2	1.281.245,33	Filtro manga	95%

Los factores de emisión para MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> resultan de la multiplicación del factor “k” por la ecuación para el FE de MP<sub>15</sub><sup>28</sup> y PTS, respectivamente.

A continuación se muestran los factores calculados y las emisiones respectivas.

**Tabla 180. Emisiones por embarque y descarga de graneles. Puerto Ventanas S.A. 2006**

FUENTES	FE MP <sub>10</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	FE MP <sub>2,5</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	EMISION MP <sub>10</sub> (TON/AÑO)	EMISION MP <sub>2,5</sub> (TON/AÑO)
Embarque Concentrado (Sitio 2)	5,00E-03	8,49E-05	1,681	0,029
Embarque Concentrado (Sitio 3)	5,00E-03	8,49E-05	0,026	0,000
Embarque Concentrado (Sitio 5)	5,00E-03	8,49E-05	0,206	0,004
Embarque Concentrado Zn (Sitio 2)	5,00E-03	8,49E-05	0,012	0,000
Descarga Concentrado Cu (Sitio 2)	5,00E-03	8,49E-05	0,072	0,001
Descarga Clinker (Sitio 5)	2,81E-02	4,77E-04	0,181	0,061
Descarga Carbón Camiones Catamutun (Sitio 5)	1,77E-03	3,01E-05	0,024	0,000
Descarga Carbón Correa (Sitio 5)	1,77E-03	3,01E-05	0,113	0,039

## Operación con Granos

Las operaciones existentes en Puerto Ventanas donde se manejan graneles limpios (maíz, trigo principalmente), son las referidas a descarga de esta carga desde embarcaciones, sitio 3 y 5, ya sea a una correa transportadora (que cuenta con equipo de control del tipo filtro de mangas) o bien directamente a camiones. Las operaciones de carga y descarga de granos en las bodegas de almacenamiento y la carga de este producto a camiones y tren desde las tolvas de la planta de almacenamiento de granos.

Los cálculos de las emisiones debidas a estas operaciones fueron desarrollados en base a los factores de emisión desarrollados por la EPA en su documento AP42 de 1995, específicamente en su Capítulo 9, Sección 9.9.1 “Grain Elevators and Processes”, Tabla 9.9.1-1.

Las distintas variables para cada fuente, utilizadas en los cálculos se muestran a continuación.

<sup>28</sup> MP<sub>15</sub>: material particulado bajo 15 µm.

**Tabla 181. Variables para cálculo en procesos con granos. Puerto Ventanas S.A.**

FUENTE	TOTAL MATERIAL TRANSFERIDO (TON/AÑO)	EQUIPO CONTROL	EFICIENCIA CONTROL
Descarga Granos Desde Barcos En Correa (Sitio 3)	74.662	Sin Equipo	0
Descarga Granos Desde Barcos En Correa (Sitio 5)	490.608	Filtro Manga	95 %.
Descarga De Grano En Camiones (Sitio 5)	Sin Información	Sin Equipo	0
Descarga Granos A Tren (Tolva 1)	226.108	Sin Equipo	0
Descarga Granos A Camiones (Tolva 2)	339.162	Sin Equipo	0

Los factores de emisión y las emisiones calculadas en función de la cantidad de material transferido son los siguientes:

**Tabla 182. Emisiones Operación con granos. Puerto Ventanas S.A. 2006**

FUENTE	FE MP <sub>10</sub> (kg/Ton)	FE MP <sub>2,5</sub> (kg/Ton)	EMISION MP <sub>10</sub> (TON/AÑO)	EMISION MP <sub>2,5</sub> (TON/AÑO)
Descarga Granos Desde Barcos en Correa (Sitio 3)	0,019	0,0025	1,42	0,19
Descarga Granos Desde Barcos en Correa (Sitio 5)	0,019	0,0025	0,47	0,06
Descarga de Grano en Camiones (Sitio 5)	0,0295	0,005	0,00	0,00
Descarga Granos a Tren (Tolva 1)	0,0011	0,000185	0,25	0,042
Descarga Granos a Camiones (Tolva 2)	0,0145	0,00245	4,92	0,83

En el caso de existir un equipo de control de emisiones, como el caso del filtro de mangas instalado en la tolva de recepción de la correa transportadora para granos, se aplicó un porcentaje de eficiencia en el control de emisiones de un 95%.

Para el caso de las emisiones por “Operaciones En Bodegas de Almacenamiento de Granos” se usaron los mismos factores incluidos en la Tabla 9.9.1-1, específicamente referidos a la fuente “*Headhouse and Grain Handling*”.

Los factores de emisiones usados, para cada fracción de material particulado se muestran a continuación:

$$MP_{10} = 0,02 \text{ [kg/Ton]}$$

$$MP_{2,5} = 0,0029 \text{ [kg/Ton]}$$

Todos en unidades de kg de material particulado emitido por tonelada de granos manejada.

Durante 2006 se manejó un total de 510.089,96 Toneladas de granos almacenados.

Las emisiones resultantes son las siguientes:

$$MP_{10} = 8,67 \text{ [Ton/Año]}$$

$$MP_{2,5} = 1,48 \text{ [Ton/Año]}$$

### Fuentes Fijas

Dentro de las fuentes fijas encontradas en Puerto Ventanas, está un grupo electrógeno y un calentador de asfalto. El primero opera con petróleo diesel como combustible, mientras que el segundo tiene adaptado un quemador dual de gas natural y petróleo diesel.

Durante 2006 no se verificó la operación del grupo electrógeno.

Para el caso del calentador de asfalto, se registró una operación de 5 horas diarias, con un total de 260 días trabajados, lo que hace un total de 1300 horas con gas natural. El consumo de gas natural fue de 1.473.623 m<sup>3</sup>.

Las emisiones de este equipo fueron calculadas usando factores de calderas operando con gas natural:

**Tabla 183. Factores de emisiones Calentador de Asfalto. Puerto Ventanas S.A. 2006**

FUENTE	COMBUSTIBLE	FACTORES DE EMISION (kg/kg)					
		MP	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Calentador de Asfalto	Gas Natural	1,7 x 10 <sup>-4</sup>	1,9 x 10 <sup>-3</sup>	2,3 x 10 <sup>-3</sup>	1 x 10 <sup>-4</sup>	2,8 x 10 <sup>-4</sup>	3,9 x 10 <sup>-8</sup>

**Tabla 184. Emisiones Calentador de Asfalto. Puerto Ventanas S.A. 2006**

FUENTE	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
Calentador de Asfalto	2x10 <sup>-4</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	2,4x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-4</sup>	-

*Se asume PTS = MP10 = MP2,5*

## Operación con Maquinaria Interna

Puerto Ventanas informó sobre la operación de una sola maquinaria interna (cargador frontal).

**Tabla 0-185 Características Maquinaria Interna. Puerto Ventanas S.A.**

MAQUINARIA INTERNA					
TIPO	MARCA	MODELO	AÑO	HP	COMBUSTIBLE
Cargador Frontal	Caterpillar	950	2002	170	Petróleo

El número de horas operadas corresponden a 4.506.

Los factores de emisión usados para este tipo de maquinaria y su potencia son:

**Tabla 186. Factores de Emisión maquinaria interna. Puerto Ventanas S.A.**

Equipamiento	Max HP	Factor de Emisión (lb/hr)			
		CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM
Cargadores Frontales	175	0,2119	0,1643	0,0002	0,0206

Las emisiones calculadas con los factores y las horas de operación son:

**Tabla 187. Emisiones Maquinaria Interna. Puerto Ventanas S.A. 2006**

EMISIONES (Ton/Año)				
CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>
1,30	2,81	0,01	0,08	0,02

## Tránsito de Camiones con Granos

El tránsito por vías pavimentadas se debe al transporte de granos desde el muelle de Puerto Ventanas, hasta la planta de almacenamiento de granos ubicada al costado este de la carretera F-30, frente a Aes Gener.

La fórmula utilizada para el cálculo del factor de emisión en (g/kmr) proviene de la sección 13.2.1 del AP42 de la EPA y es la siguiente:

$$E_{ext} = \left[ k \left( \frac{SL}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right] \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Las variables que intervienen en la ecuación son las siguientes:

**Tabla 188. Variables para cálculo emisiones tránsito vías pavimentadas**

Nº de camiones anuales	Tara (ton)	Carga (ton)	W (ton)	sL (g/m <sup>2</sup> )	Km/año	P	N
11.430	8,30	28,50	15,03	2,44	8.427,36	26	365

Donde,

W = Peso promedio de los camiones (Ton)

C = Factor de emisión por desgaste de frenos, suspensión y escape (g/kmr):

C MP <sub>10</sub>	C MP <sub>2,5</sub>
0,13	0,10

P = Número de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

sL = carga de finos en la superficie (Silt Load, g/m<sup>2</sup>)

k = Multiplicador de tamaño de partícula, adimensional:

k (g/kmr) MP <sub>10</sub>	k (g/kmr) MP <sub>2,5</sub>
4,60	0,66

Los factores calculados y las emisiones son las siguientes:

**Tabla 189. Emisiones por tránsito en vías pavimentadas. Puerto Ventanas S.A. 2006**

Factor Emisión MP <sub>10</sub> (g/Kmr)	Factor Emisión MP <sub>2,5</sub> (g/Kmr)	Emisión MP <sub>10</sub> (Ton/Año)	Emisión MP <sub>2,5</sub> (Ton/Año)
57,55	8,18	0,49	0,07

La carga de finos fue obtenida de los muestreos de calles pavimentadas efectuados durante la campaña en terreno desarrollada por el consultor.

### **Erosión Eólica Sitio Eriazo**

En las campañas en terreno se identificó un sitio eriazo ubicado dentro de la Planta de Graneles Limpios de propiedad de Puerto Ventanas S.A. (Figura 28 con contorno rojo).

Este sitio es utilizado en ocasiones para pruebas de maquinaria interna de la planta, como cargadores frontales.



**Figura 28. Sitio Eriazo Puerto Ventanas S.A.**

La metodología para la estimación de emisiones de material particulado grueso y respirable se basa en la determinación, por una parte, de la velocidad de fricción umbral del viento sobre la superficie del sitio en estudio, así como la determinación del % de superficie cubierta.

La determinación de la velocidad de fricción umbral se obtiene a partir de la metodología EPA (Sección 13.2.5). Esta metodología se basa en la determinación de la moda de la distribución del tamaño de partículas en tamices de diferentes tamaños (4, 2, 1, 0,5, 0,25 mm).

**Tabla 190. Análisis Granulométrico Sitio Eriazo Puerto Ventanas S.A.**

N° Muestra	17				
FECHA	21.11.07				
mm aprox. (EPA)	# MALLA	mm Malla	Porcentaje que pasa %	Distribución Acumulada (%)	Distribución Fraccional (%)
	#1"	25.0			
	#3/4	19.0	100	0	0
	#3/8	9.50	98	2	2
<b>4</b>	<b>#4</b>	<b>4.75</b>	88	12	10
<b>2</b>	<b>#8</b>	<b>2.36</b>	62	38	26
<b>1</b>	<b>#16</b>	<b>1.18</b>	32	68	30
<b>0,5</b>	<b>#30</b>	<b>0.600</b>	18	82	14
<b>0,25</b>	<b>#50</b>	<b>0.300</b>	13	87	5
	#100	0.150	5	95	8
	#200	0.75	3	97	2

En este caso, la moda de la distribución de la masa en los tamices corresponde a una malla #16, con una abertura aproximada de 1 mm, según lo señalado por la EPA.

En este caso y se según se muestra en la Tabla 2.2.8-14, la velocidad de fricción umbral del viento en la superficie del sitio eriazo corresponde a 76 [cm/s] ó bien a 0,76 [m/s]:

**Tabla 191. Velocidad de Fricción del Viento (cm/s) según nº de tamiz.**

Tyler Sieve No.	Opening (mm)	Midpoint (mm)	$u_t^*$ (cm/s)
5	4		
9	2	3	100
16	1	1.5	76
32	0.5	0.75	58
60	0.25	0.375	43

La superficie cubierta del sitio es de un 0%.

La ecuación general para calcular el Factor de Emisión (FE) es:

$$FE = 6,3081 \times k \times (1 - v) \times \left( \frac{u}{u_t} \right)^3 \times C(x)$$

Donde,

FE= Factor de emisión (ton/ha-año)

k= Factor aerodinámico de partículas (adimensional)

v= Fracción de superficie cubierta (corresponde a 0 (cero) para suelo desnudo)

u = Velocidad promedio del viento (m/s)

$u_t$  = Velocidad de fricción umbral a la altura del anemómetro (m/s)

C(x)= Factor de corrección

x= 0,886 (ut/u): razón adimensional

$u_t^*$  = Velocidad de fricción umbral del material de la superficie (m/s)

Z= Altura del anemómetro (m)

Zo= Rugosidad de la superficie (m)

La emisión de MP<sub>10</sub> es calculada con la siguiente ecuación:

$$E = FE \times A \times \left( \frac{365 - p}{365} \right)$$

Donde,

E = Emisión (Ton/Año)

FE = Factor de Emisión (Ton/há-año)

A = Área del sitio (há)

p = N° de días con precipitaciones sobre 0,254 mm.

Los valores de las variables se muestran a continuación:

A	:	2,01 há
p	:	24 días
FE	:	0 Ton/há-año
$k_{PTS}$	:	1
$k_{MP10}$	:	0,5
$k_{MP2,5}$	:	0,08
v	:	0 %
u	:	1,53 [m/s]
$u_t$ (m/s)	:	10,07 [m/s]
C(x)	:	0
$x = 0,886(u/u_t)$	:	5,83
$u_t^*$ (m/s)	:	0,76 [m/s]
Z (m)	:	10 [m]
Zo (m)	:	0,05 [m]

El valor de C(x) se obtiene según el valor calculado de (x), de la siguiente tabla:

x	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
C(x)	1,91	1,9	1,89	1,86	1,83	1,77	1,7	1,6	1,48	1,33	1,2	1,05	0,9	0,78	0,62	0,5	0,4	0,29

El factor de corrección x que se obtuvo es de 5,83 valor muy superior al máximo tabulado, por lo que se asume un valor de cero (0) para C(x) y por ende una emisión estimada de 0 Ton/Año de material particulado. Este resultado se condice con la relación existente entre la velocidad promedio anual ( $u = 1,53$  [m/s]) cercana al sitio eriazo medida por la estación La Greda y la velocidad de fricción umbral a la altura del anemómetro ( $u_t = 10,07$  [m/s]) para que se inicie el proceso erosivo:

$$u < u_t = \text{No existe erosión.}$$

## Operación Embarcaciones

La información necesaria para estimar las emisiones de la Operación de buques fue proporcionada oportunamente por la empresa. El detalle del cálculo de estas emisiones se detalla en el capítulo 4.4.3.

Las emisiones finales de estas operaciones se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 192. Emisiones de embarcaciones. Puerto Ventanas S.A. 2006**

FUENTE	TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)				
	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>x</sub>
PUERTO VENTANAS S.A.	2,86	1,60	131,99	31,03	257,08

## Barredora

Puerto Ventanas S.A. cuenta con una maquina barredora y aspiradora de polvo de calles internas a la empresa, la que diariamente debe recorrer 10 km limpiando las calles de servicio y patios de operación. Ésta máquina opera en seco, removiendo el polvo de las calles y aspirándolo. Sin embargo, se pudo apreciar un gran levantamiento de polvo en la Planta de Almacenamiento de Granos, este polvillo es principalmente polvo fino que la máquina no es capaz de atrapar y lo levanta como polvo resuspendido.

Debido a que actualmente no se cuenta con antecedentes para poder estimar las emisiones de las operaciones de esta máquina no se calculó la emisión de la misma.

Ya que el tipo de polvo existente en la planta es en gran parte fino (según la campaña de muestreo de finos en la zona, el área de entrada a la planta contiene un 42% de finos, material particulado bajo los 75 µm de diámetro), en lugar de grueso y la cercanía de esta planta a la zona de La Greda, se recomienda evaluar la eficiencia de remoción de polvo y las medidas tendientes a prevenir la resuspensión material particulado fino en la zona, como la humectación del sitio antes de la entrada de barredora o usar un sistema de limpieza en húmedo.

## Resumen Emisiones Puerto Ventanas

Tabla 193. Resumen Emisiones Puerto Ventanas S.A. 2006

<b>CLASIFICACION INVENTARIO</b>	<b>MP<sub>10</sub></b>	<b>MP<sub>2,5</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>
CALDERAS INDUSTRIALES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EROSION EOLICA	-	-			
GRUPOS ELECTROGENOS	-	-	-	-	-
OPERACIÓN BUQUES	2,86	1,60	31,03	131,99	257,08
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	0,08	0,02	1,30	2,81	0,01
TERMINAL PORTUARIO	4,20	0,38			
TRANSITO PAV	0,50	0,07			
OPERACION C/GRANOS	13,84	2,35			
<b>TOTAL</b>	<b>21,48</b>	<b>4,42</b>	<b>32,33</b>	<b>134,80</b>	<b>257,09</b>

### 4.4.3 Emisiones de Embarcaciones

#### Introducción

Las emisiones provenientes de las actividades de embarcaciones en el puerto de Quintero (Zona Industrial de Ventanas) se calcularon considerando la metodología incluida en el documento “*Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data. EPA. February 2000.*”

Los contaminantes considerados en el inventario, en esta estimación, corresponden a MP10, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>. Además se estimó la emisión del CO y HC.

Para el caso del SO<sub>x</sub>, se debe tener el % de azufre contenido en el combustible usado por las embarcaciones al entrar a la Bahía. Como este % es desconocido, se usó un valor de 1,5% de S en el combustible, suponiendo que las naves usan un petróleo liviano (Marine Diesel Oil, MDO).

Este valor es el convenido en el Anexo VI del MARPOL 73/78, que limita el contenido de azufre en el combustible al entrar a áreas denominadas “SECAs” (SO<sub>x</sub> Emission Control Areas), es decir Áreas de Control de Emisión de SO<sub>x</sub>.

Se desconoce si el % de S en el combustible que se usa en las embarcaciones al entrar a la bahía y el usado durante la estancia de éstos en el puerto corresponde efectivamente al estipulado por la MARPOL, por lo que las emisiones calculadas podrían aumentar si este fuera mayor.

Los valores de emisiones de SO<sub>x</sub> pueden usarse como punto de partida para la determinación del aporte a las emisiones de este contaminante de parte de las embarcaciones. Un análisis más detallado del tipo de combustible utilizado en operaciones de bajo crucero, maniobra y fondeo, además de la duración efectiva de cada uno de estos movimientos por tipo de embarcación es necesaria para evaluar cuál es el real aporte de las embarcaciones a las emisiones de la zona.

#### Metodología

El Factor de Emisión es resumido en la siguiente forma:

$$E \text{ (g/kW-hr)} = a \text{ (factor carga)}^{-x} + b \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $E$  es la emisión por unidad de trabajo o factor de emisión. La tabla 1 muestra un resumen con los parámetros necesarios para calcular factores de emisión para HC, CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, aplicando la ecuación anterior.

**Tabla 194. Parámetros para calcular factores de emisión (todo tipo de motores)**

CONTAMINANTE	Exponente (X)	Interceptación (b)	Coefficiente (a)
MP	1,5	0,2551	0,0059
NOx	1,5	10,4496	0,1255
NO <sub>2</sub>	1,5	15,5247	0,1887
SO <sub>2</sub>	N/A	N/S	2,3735
CO	1	N/S	0,8378
HC	1,5	N/S	0,0667
CO <sub>2</sub>	1	648,6	44,1000

N/A es no aplicable, N/S es no estadísticamente significativo

Fuente: Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data, February 2000, EPA

Con el fin de obtener las emisiones absolutas en gramos se debe aplicar la ecuación 1. Si no se tienen los datos de origen, para calcular la potencia (HP) de un navío es posible utilizar funciones que la relacionan con el peso DWT<sup>29</sup>. El DWT es el peso total contenido considerando carga, combustible, pasajeros, comida, agua y tripulación. Para el caso de los navíos de altamar se establecieron relaciones peso potencia para cuatro tipos, estas son:

Carga pesada y tanqueros	:	HP =	9.070 + 0,101 (DWT)
Carga general	:	HP =	3.046 + 0,288 (DWT)
Container/RORO/Autocarriers/Refrigerados	:	HP =	2.581 + 0,719 (DWT)
De Pasajeros	:	HP =	-4.877 + 6,81 (DWT)

La siguiente figura muestra el cálculo para obtener la potencia en HP.

	B	C	D	E	F	G
6						
7						
8	NOMBRE BUQUE	Nº ENTRADAS	CLASE	DWT	HP ESTIMADO	kW
16	AUSTRALGAS	19,00	LPG TANKER	28.261,00	=9070+0,101*(E16)	8.892,00
17	BOW PACIFICO	12,00	CHEMICAL/OIL TANKER	18.657,00	10.954,36	8.168,66
18	BOW AMERICAS	2,00	CHEMICAL TANKER	19.707,00	11.060,41	8.247,75
19	KIWI SPIRIT	5,00	CHEMICAL TANKER	19.161,00	11.005,26	8.206,62
20	SWAN LAKE	1,00	CHEMICAL/OIL TANKER	10.579,00	10.138,48	7.560,26
21	BOW EUROPE	4,00	CHEMICAL TANKER	19.728,00	11.062,53	8.249,33

**Figura 29: Cálculo HP.**

Como los factores de emisión están en unidades de [gr/kW-hr], se calculó la potencia de cada embarcación en kW, como se muestra en la siguiente figura:

<sup>29</sup> DWT: Tonelada de Peso Muerto, en sus siglas en inglés, obtenido de la página web <http://www.e-ships.net> ingresando el nombre de cada embarcación.

$$kW = \frac{HP \times 745,7}{1000}$$

	B	C	D	E	F	G
6						
7						
8	NOMBRE BUQUE	Nº ENTRADAS	CLASE	DWT	HP ESTIMADO	kW
16	AUSTRALGAS	19,00	LPG TANKER	28.261,00	11.924,36	=+F16*745,7/1000
17	BOW PACIFICO	12,00	CHEMICAL/OIL TANKER	18.657,00	10.954,36	8.168,66
18	BOW AMERICAS	2,00	CHEMICAL TANKER	19.707,00	11.060,41	8.247,75
19	KIWI SPIRIT	5,00	CHEMICAL TANKER	19.161,00	11.005,26	8.206,62
20	SWAN LAKE	1,00	CHEMICAL/OIL TANKER	10.579,00	10.138,48	7.560,26

Figura 30: Cálculo kW.

La siguiente tabla muestra los factores de carga sugeridos para el cálculo de emisiones de acuerdo al modo de operación que se este evaluando.

Tabla 195. Factores de carga sugeridos (% de potencia máxima continua)

TIPO	MODO DE OPERACIÓN		
	CRUCERO	BAJO CRUCERO	MANIOBRA
Carga Pesada y Tanqueros	80	40	20
Carga General	80	35	20
Pasajeros	80	20	10
Container/RORO/ Autocarrier/refrigerado	80	30	15
Otros No altamar	80	40	20

Fuente: Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data, February 2000, EPA

Para el caso de Ventanas se usó sólo el modo Bajo Crucero, Maniobra y Estadía o Fondeo, sin considerar el modo Crucero.

Por último, para calcular las emisiones de motores auxiliares utilizados en la estadía de un navío, se utilizan las mismas variables de la tabla 1 aplicables al factores de emisión señalado y son evaluados con un factor de carga igual a uno (es decir a carga completa).

La siguiente tabla muestra los valores sugeridos de potencia a utilizar en los sistemas auxiliares.

**Tabla 196. Cargas sugeridos en kW. para cálculo equipos auxiliares**

	Bajo Crucero	Maniobra	Estadía
Pasajeros	5.000	5.000	5.000
Otros	750	1.250	1.000

Fuente: Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data, EPA

En este caso no se calculó las emisiones por uso de equipos auxiliares en las operaciones de Bajo Crucero y Maniobra, solamente en el caso de la Estadía.

Los factores de emisiones usados en el cálculo de las emisiones de embarcaciones se muestran a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 197. Factores de Emisión según modo de operación**

Modo de Operación	Factor de Emisiones (gr/kW-hr)			
	PTS	NOx	SOx	CO2
Bajo Crucero	0,28	10,95	28,60	758,85
Maniobra	0,32	11,85	9,84	869,1
Fondeo	0,26	10,58	7,83	692,7

La siguiente figura muestra el cálculo de los factores de emisión, exceptuando el caso particular del SOx:

CONTAMINANTE	Exponente (X)	Intercepción (b)	Coeficiente (a)
MP	1,5	0,2551	0,0059
NOx	1,5	10,4496	0,1255
NO2	1,5	15,5247	0,1887
SO2	N/A	N/S	2,3735
CO	1	N/S	0,8378
HC	1,5	N/S	0,0667
CO2	1	648,6	44,1000

OPERACIÓN MODO MANIOBRA			
CONTAMINANTE	TIPO DE COMBUSTIBLE CONSUMIDO	Factor de Emisión (g/kW-hr)	Factor de Carga
MP		=+(E117*(E145)^(C117))+D117	0,2
NOx			0,2
NO2		17,63443014	0,2
CO		4,189	0,2
HC		0,74572867	0,2
CO2		869,1	0,2

**Figura 31: Cálculo Factores de Emisión, caso Modo Maniobra.**

Para el caso del Factor de Emisión de SOx, el cálculo de éste no incluye el Exponente X por no ser aplicable y la Intercepción (b) por ser estadísticamente irrelevante.

La Ecuación para el cálculo del factor de emisión de SOx queda:

$$E \text{ (g/kW-hr)} = a \text{ (% S en el combustible)} + b.$$

Como *b* es estadísticamente irrelevante, no se incluye como variable a considerar en la ecuación, quedando el factor de emisión en función de la variable *a* y el % de S contenido en el combustible.

La siguiente figura muestra el cálculo del factor de emisión para SOx:

ESTIMACION DE EMISIONES DE SOx					
BAJO CRUCERO (4 HRS)					
COMBUSTIBLE UTILIZADO	OPERACION (Hrs/Año)	CONSUMO COMBUSTIBLE E (g/kW-hr)	CONSUMO COMBUSTIBLE (Ton/Hr)	FACTOR DE EMISION (gr/kW-hr)	EMISION TOTAL (Ton/Año)
IFO 380	18,00	241,02	2,14	0=\$AF\$11;J10*\$AG\$1	4,58
IFO 380	18,00	241,02	1,92	28,60	4,11
IFO 380	18,00	241,02	2,71	28,60	5,79
IFO 380	18,00	241,02	1,88	28,60	3,68
IFO 380	18,00	241,02	2,08	28,60	4,45
IFO 380	18,00	241,02	2,56	28,60	5,48

% Asufre Máx contenido en los combustibles. Ap	
COMBUSTIBLE	% S
IFO 380	5,00%
IFO 180	4,50%
MDO	1,50% % Máx

Fuente: Enap  
Fuente: MARPOL, ANEXO VI

Figura 32: Cálculo del Factor de Emisión para SOx.

Para el cálculo de las emisiones fue necesario contar con la información de las horas de operación de cada embarcación que entró al puerto durante 2006 y para cada modo de operación.

Los tiempos de operación por embarcación y por entrada al puerto, usados en el cálculo de emisiones, son los siguientes:

Tabla 198. Tiempos de Operación por modo.

Modo de Operación	Tiempo
Bajo Crucero	4 Hrs
Maniobra	2 Hrs
Fondeo <sup>1</sup>	
- Descarga Ácido Sulfúrico	24 hrs
- Descarga Concentrado de Cu	36 hrs
- Descarga Graneles Limpios, carbón o clínker	96 hrs

<sup>1</sup> En el caso de la Fondeo, los tiempos varían según el producto descargado, en promedio se estiman 52 hrs de operación por embarcación. Estos datos fueron obtenidos de Puerto Ventanas S.A.

La siguiente figura ilustra cómo se calcularon las emisiones informadas a continuación:

ESTIMACION DE EMISIONES DE MP10							
BAJO CRUCERO (2 HRS)							
	OPERACIÓN (Hrs/Año)	CONSUMO COMBUSTIBLE E (g/kW-hr)	CONSUMO COMBUSTIBLE (Ton/Hr)	FACTOR DE EMISION (gr/kW-hr)	EMISION TOTAL (Ton/Año)	OPERACIÓN (Hrs/Año)	CONSUM COMBUSTII (g/kW-hr)
16	8.892,00	38,00	241,02	2,14	0,28	12,00	27
17	8.168,66	24,00	241,02	1,97	0,28	5,00	27
18	8.247,75	4,00	241,02	1,99	0,28	2,00	27
19	8.206,62	10,00	241,02	1,98	0,28	5,00	27
20	7.560,26	2,00	241,02	1,82	0,28	1,00	27

Figura 33: Ejemplo de Cálculo de Emisiones, caso PTS

#### 4.4.3.1 RESULTADOS

##### a. Puerto Ventanas S.A.

##### Movimiento portuario

Según los antecedentes del movimiento portuario entregado por la empresa, durante 2006, Puerto Ventanas S.A. movió un total de 3.395.502 Tons de carga con un total de 154 naves atendidas.

El detalle de las toneladas movidas según faena, se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 199. Tons Movidas PVSA - 2006.**

<b>Carga</b>	<b>Descarga</b>	<b>Embarque</b>	<b>Total general</b>
Acido Sulfúrico		324.950	324.950
Agriproducts	158.094		158.094
Asfalto	58.000		58.000
Carbón	970.934		970.934
Carga Fría	9.000		9.000
Clínker	203.630		203.630
Combustibles	329.000		329.000
Concentrado Cu	52.700	810.580	863.280
Concentrado Zn		5.000	5.000
Escoria	21.250		21.250
Gluten	3.098		3.098
Maíz	154.722		154.722
Ortoxileno	1.500		1.500
Pig Iron	37.566		37.566
Químicos	6.122		6.122
Trigo	99.662		99.662
Trigo - Gluten	19.725		19.725
Trigo - Maíz	129.969		129.969
<b>Total general</b>	<b>2.254.972</b>	<b>1.140.530</b>	<b>3.395.502</b>

De un total de 14 tipos de carga, sólo a 5 de ellas les corresponde más del 80% de la carga movida durante 2006, siendo el carbón (28,59%) y el Concentrado de Cobre (25,42%) los responsables de más del 50% de la carga total movida en ese puerto.

El número de embarcaciones involucradas en las operaciones de embarque y descarga de productos se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 200. N° Embarcaciones por Carga Movida**

<b>Carga</b>	<b>Descarga</b>	<b>Embarque</b>	<b>Total general</b>
Acido Sulfúrico		23	23
Agriproducts	5		5
Asfalto	2		2
Carbón	22		22
Carga Fría	1		1
Clinker	5		5
Combustibles	14		14
Concentrado Cu	2	53	55
Concentrado Zn		2	2
Escoria	1		1
Gluten	1		1
Maíz	5		5
Ortoxileno	1		1
Pig Iron	3		3
Químicos	3		3
Trigo	5		5
Trigo - Gluten	1		1
Trigo - Maíz	5		5
<b>Total general</b>	<b>76</b>	<b>78</b>	<b>154</b>

La distribución del número de embarcaciones varía respecto de la carga transportada, siendo las cargas de *ácido sulfúrico, carbón, combustibles, concentrado de cobre y graneles limpios*, las que movilizaron a gran parte de las embarcaciones recibidas durante 2006.

## **Emisiones**

Las horas de operación fluctúan según el modo de operación de cada embarcación y según la carga descargada o embarcada, el total de horas estimadas de operación para todas las embarcaciones que operaron en el puerto durante 2006 se muestran a continuación:

**Tabla 201. Horas de Operación por Modo año 2006, PVSA.**

<b>Modo de Operación</b>	<b>Horas totales de Operación (2006)</b>
Bajo Crucero	308
Maniobra (Remolque)	154
Fondeo (Muelle)	7.820

Hay que señalar que estas horas son solamente estimativas y pueden no representar las horas efectivamente operadas por el total de las embarcaciones.

Las emisiones totales de las embarcaciones que recalaron en Puerto Ventanas durante 2006 se muestran a continuación:

**Tabla 202. Emisiones de embarcaciones de Puerto Ventanas S.A.**

MODO DE OPERACIÓN	TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)			
	PTS	NOx	CO2	SOx
Bajo Crucero	0,81	31,98	4.434,07	167,13
Maniobra (Remolque)	0,47	17,31	2.539,14	28,74
Fondeo (Muelle)	2,04	82,70	5.416,91	61,21
<b>PUERTO VENTANAS S.A.</b>	<b>3,32</b>	<b>131,99</b>	<b>12.390,13</b>	<b>257,08</b>

#### b. GASMAR S.A.

Gasmar S.A. es una empresa dedicada al almacenamiento y distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP). Como muelle de descarga de sus productos (Propano y Butano) utiliza el muelle de Oxiquim S.A., con el cual tiene un contrato de arriendo.

Los datos de operaciones en el muelle de Oxiquim, correspondientes exclusivamente a productos de Gasmar S.A., fueron enviados por la propia empresa, donde se indicó el nombre del buque que arribó, el producto descargado, la cantidad y la tasa de descarga del producto. A partir de esos datos se obtuvo el tiempo de residencia de cada embarcación en puerto.

La cantidad de productos transportados por las diferentes embarcaciones se muestran a continuación:

**Tabla 203. Producto y cantidad descargada, Gasmar S.A. 2006.**

IDENTIFICACION BUQUE	PRODUCTO DESCARGADO	m <sup>3</sup> DESCARGADOS	TASA DESCARGA (Ton/Hr)
AUSTRALGAS	PROPANO <sup>30</sup>	440.848,83	400- 500
	BUTANO <sup>31</sup>	124.925,72	400- 500
POLARGAS	PROPANO	57.108,31	400- 500
	BUTANO	8.964,10	400- 500
NORDANGER	PROPANO	106.091,69	400- 500
PACIFICGAS	BUTANO	18.717,81	400- 500
GAS BARAKA	PROPANO	73.670,57	400- 500
CHELSEA	PROPANO	102.418,02	400- 500
	<b>TOTAL</b>	<b>932.745,07</b>	

<sup>30</sup> Densidad Propano: 513,06 [kg/m<sup>3</sup>], a 15° C.

<sup>31</sup> Densidad Butano: 584,96 [kg/m<sup>3</sup>], a 15° C.

Las horas de operación de las embarcaciones en puerto corresponden a las siguientes:

**Tabla 204. Horas de Operación por Modo año 2006, Gasmar S.A.**

<b>Modo de Operación</b>	<b>Horas totales de Operación (2006)</b>
Bajo Crucero	108
Maniobra (Remolque)	54
Fondeo (Muelle)	1.087

Las emisiones totales de las embarcaciones que recalaron en el muelle de Oxiquim con productos de Gasmar S.A. durante 2006 se muestran a continuación:

**Tabla 205. Emisiones de embarcaciones de Gasmar S.A.**

<b>MODO DE OPERACIÓN</b>	<b>TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)</b>			
	<b>PTS</b>	<b>NOx</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SOx</b>
Bajo Crucero	0,27	10,34	716,73	27,98
Maniobra (Remolque)	0,16	5,60	410,43	4,81
Fondeo (Muelle)	0,28	11,50	753,25	8,51
<b>GASMAR S.A.</b>	<b>0,71</b>	<b>27,44</b>	<b>1.880,41</b>	<b>41,31</b>

### **c. OXIQUM S.A.**

En el caso de Oxiquim S.A., se cuenta con la información de las fechas de entrada y nombre de las embarcaciones, no se indica el tipo de producto descargado ni la cantidad.

Con la información del número de entradas y tiempos promedio de descarga de productos se calculó el tiempo total de operación de cada embarcación. Usando los nombres de cada una de ellas se obtuvo el DWT para el cálculo de la potencia (HP).

Las horas de operación de las embarcaciones en puerto corresponden a las siguientes:

**Tabla 206. Horas de Operación por Modo año 2006, OXIQUM S.A.**

<b>Modo de Operación</b>	<b>Horas totales de Operación (2006)</b>
Bajo Crucero	352
Maniobra (Remolque)	176
Fondeo (Muelle)	4224

En total hubo 88 entradas de embarcaciones al muelle durante 2006.

Las emisiones totales de las embarcaciones que recalaron en el muelle de OXIQUM S.A. durante 2006, pertenecientes sólo a esta empresa, se muestran a continuación:

**Tabla 207. Emisiones de embarcaciones de OXIQUM S.A.**

MODO DE OPERACIÓN	TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)			
	PTS	NOx	CO2	SOx
Bajo Crucero	0,41	16,22	2248,38	84,75
Maniobra (Remolque)	0,24	8,78	1287,52	14,57
Fondeo (Muelle)	0,83	48,39	2925,96	33,06
<b>OXIQUM S.A.</b>	<b>1,48</b>	<b>73,39</b>	<b>6461,86</b>	<b>132,38</b>

#### **d. COPEC – ENAP**

En el caso de Enap y Copec, no fue posible conseguir información desde las propias empresas, aún cuando estas habían comprometido la información. Sin embargo a través de la Capitanía de Puerto se pudo obtener el movimiento portuario de junio a noviembre de 2006.

Esta información debió ser digitalizada y filtrada, ya que contenía la información de todas las embarcaciones ingresadas a la bahía durante ese período, por lo que para poder estimar las emisiones correspondientes a aquellos barcos que operaban en los sitios de atraque de Copec y Enap, hubo que descontar los que pertenecían a Puerto Ventanas, Oxiquim y Gasmar que ya habían sido estimadas anteriormente con información de las empresas.

Finalmente se obtuvo el total de embarcaciones que se atribuyeron a Copec y Enap, con los respectivos tiempos de operación en fondeo, maniobra y bajo crucero.

En total se calcularon 1.256 entradas de embarcaciones correspondientes a estas dos empresas a la bahía.

Las horas de operación de las embarcaciones en puerto corresponden a las siguientes:

**Tabla 208. Horas de Operación por Modo año 2006 (Junio-Noviembre), COPEC - ENAP**

Modo de Operación	Horas totales de Operación (2006)
Bajo Crucero	5.024
Maniobra (Remolque)	2.512
Fondeo (Boyas)	937

Estas horas corresponden a las estimadas para el período Junio – Noviembre 2006. Como no se cuenta aún con el resto del año, se supuso el doble del tiempo de operación para todo el año, siendo las horas totales con las que se calcularon las emisiones, las siguientes:

**Tabla 209. Horas de Operación por Modo año 2006, COPEC - ENAP**

<b>Modo de Operación</b>	<b>Horas totales de Operación (2006)</b>
Bajo Crucero	10.048
Maniobra (Remolque)	5.024
Fondeo (Boyas)	1.875

Las emisiones totales de las embarcaciones pertenecientes a Copec y Enap durante el período comprendido entre junio y noviembre de 2006, se muestran a continuación:

**Tabla 210. Emisiones de embarcaciones de COPEC – ENAP (Junio – Noviembre 2006)**

<b>MODO DE OPERACIÓN</b>	<b>TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)</b>			
	<b>PTS</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>
Bajo Crucero	7,03	276,57	38.347,80	1.445,42
Maniobra (Remolque)	4,06	149,74	21.959,59	248,57
Fondeo (Boyas)	0,24	9,92	649,48	7,86
<b>COPEC - ENAP</b>	<b>11,33</b>	<b>436,23</b>	<b>60.956,87</b>	<b>1.701,85</b>

Finalmente, las emisiones calculadas para todo el período 2006, asumiendo el doble de tiempo para cada modo y por ende el doble de emisiones, queda como sigue:

**Tabla 211. Emisiones de embarcaciones de COPEC – ENAP 2006**

<b>MODO DE OPERACIÓN</b>	<b>TOTAL EMISIONES POR OPERACIONES PORTUARIAS (Ton/Año)</b>			
	<b>PTS</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>
Bajo Crucero	14,06	553,14	76.695,6	2.890,84
Maniobra (Remolque)	8,12	299,48	43.919,18	497,14
Fondeo (Boyas)	0,48	19,84	1.298,96	15,72
<b>COPEC - ENAP</b>	<b>22,66</b>	<b>872,46</b>	<b>121.913,74</b>	<b>3.403,7</b>

En este caso se puede observar que las emisiones entre los diferentes modos de operación están bastante alejadas especialmente en comparación con el modo de fondeo de las embarcaciones en puerto, eso debido a que en el caso del bajo crucero y la maniobra, las horas de operación se calcularon con las horas promedio estimadas en la metodología, en cambio las horas de operación en el modo fondeo se calcularon con las horas declaradas en el libro de registro de la Capitanía de Puerto, lo que podría generar una sobreestimación de las emisiones de los modos de maniobra y bajo crucero, no así de las operaciones en boyas, las que podrían afectar en mayor medida a la calidad del aire en la zona de Ventanas.

Se debe destacar que dada la altura y cercanía a las actividades de Ventanas, las emisiones generadas en la etapa de fondeo son de mayor relevancia, siendo conveniente mejorar la calidad de esta información en el futuro.

## Resumen Emisiones

La siguiente tabla resume las emisiones por empresa y contaminante.

El factor de tamaño de partículas, fue obtenido de la Tabla 1.3-5 “Cumulative Particle Size Distribution And Size-Specific Emission Factors For Industrial Boilers Firing Residual Oil” del AP42 de la EPA.

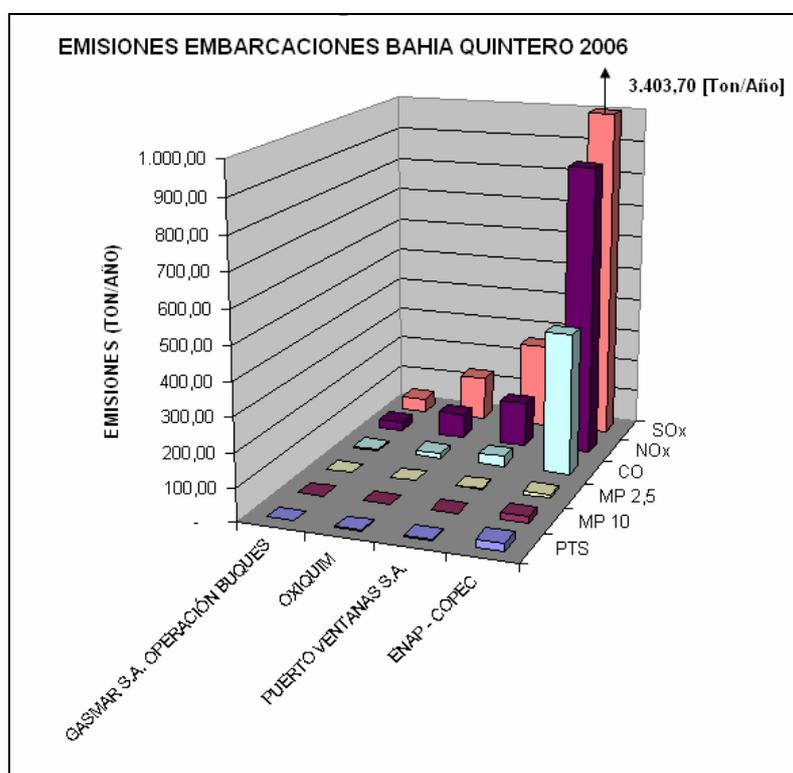
Relación  $MP_{10}/PTS = 0,86$

Relación  $MP_{2,5}/PTS = 0,56$

Considerando calderas industriales sin control.

**Tabla 212. Emisiones Totales Bahía Quintero – 2006**

RAZON	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
GASMAR S.A.	0,61	0,34	4,87	27,44	41,31
OXIQUIM	1,27	0,71	15,95	73,39	132,38
PUERTO VENTANAS S.A.	2,86	1,60	31,03	131,99	257,08
ENAP - COPEC	19,50	10,92	424,95	872,44	3.403,70
<b>TOTAL</b>	<b>24,24</b>	<b>13,58</b>	<b>476,79</b>	<b>1.105,26</b>	<b>3.834,47</b>



**Figura 34: Emisiones Embarcaciones Bahía Quintero - 2006**

Como se puede apreciar en la figura, las máximas emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> corresponden a las operaciones de las embarcaciones de Copec y Enap en su conjunto.

Para el caso del material particulado, las emisiones desde embarcaciones son bajas en comparación con las otras emisiones calculadas. En este caso las altas emisiones de SO<sub>x</sub> y en menor medida las de NO<sub>x</sub> podrían contribuir a las concentraciones de material particulado secundario en su fracción fina.

#### 4.4.4 Resumen Inventario Fuentes Fijas

Para el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas industriales en la zona industrial de Ventanas se realizaron dos campañas de visitas a terreno a las distintas empresas instaladas en la zona, tomando contacto con el encargado ambiental de la empresa, visitando sus instalaciones y recabando la mayor información posible directamente de la empresa. En otros casos se comprometió enviar la información por parte de la empresa. Sólo en el caso de Copec y Enap, y parte de la información de Oxiquim (principalmente estanques de almacenamiento de líquidos orgánicos), la información no fue proporcionada.

En total se visitaron 10 empresas con un total de 187 fuentes identificadas, las que se detallan a continuación, según titular y según la clasificación de fuente dada en el inventario:

**Tabla 213. N° de fuentes según titular y tipo de fuente.**

RAZON	CLASIFICACION INVENTARIO	TOTAL FUENTES
Aes Gener S.A.	Erosión Eólica	1
	Operación Maquinaria Interna	1
	Termoeléctricas	8
	Transito Pav	1
	Transito S/Pav	1
Total Aes Gener S.A.		12
Codelco - División Ventanas	Calderas Industriales	6
	Fundición Primaria De Cobre	35
	Grupos Electrónicos	2
	Operación Maquinaria Interna	1
	Transito Pav	1
Total Codelco - División Ventanas		46
Comercial Catumutun S.A.	Erosión Eólica	1
	Operación Maquinaria Interna	1
	Transito S/Pav	1
	Transito Pav	1
	Almacenamiento De Carbón	6
Total Comercial Catumutun S.A.		10
Compañía De Petróleos De Chile S.A.	Almacenamiento De Combustibles	4
	Calderas Industriales	2
	Grupos Electrónicos	3
	Operación Maquinaria Interna	1
Total Compañía De Petróleos De Chile S.A.		10
Empresa Nacional Del Petróleo (Enap)	Almacenamiento De Combustibles	10
	Calderas Industriales	1
	Grupos Electrónicos	1
	Operación Maquinaria Interna	1
Total Empresa Nacional Del Petróleo (Enap)		13
Empresas Melón S.A.	Almacenamiento Clínter	4

Total Empresas Melón S.A.		4
Enap - Copec	Operación Buques	1
Total Enap - Copec		1
Gasmar S.A.	Almacenamiento De Combustibles	1
	Grupos Electrógenos	5
	Operación Buques	1
	Transito Pav	1
Total Gasmar S.A.		8
Oxiqum	Calderas Industriales	5
	Grupos Electrógenos	3
	Industria Química	49
	Operación Buques	1
	Operación Maquinaria Interna	1
	Transito Pav	1
	Transito S/Pav	1
Total Oxiqum		61
Puerto Ventanas S.A.	Calderas Industriales	2
	Erosión Eólica	1
	Grupos Electrógenos	1
	Operación Buques	1
	Operación Maquinaria Interna	1
	Terminal Portuario	11
	Transito Pav	2
	Operación C/Granos	3
Total Puerto Ventanas S.A.		22
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>187</b>

Un resumen del total de fuentes existentes según la clasificación de fuentes del inventario se detalla a continuación:

**Tabla 214. N° de fuentes según clasificación del inventario**

CLASIFICACION INVENTARIO	TOTAL
Almacenamiento Clínger	4
Almacenamiento de Combustibles	15
Calderas Industriales	16
Erosión Eólica	3
Fundición Primaria de Cobre	36
Grupos Electrógenos	15
Industria Química	49
Operación Buques	4
Operación Maquinaria Interna	7
Terminal Portuario	11
Termoeléctricas	8
Transito Pav	6
Transito S/Pav	4
Almacenamiento de Carbón	6
Operación C/Granos	3
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>187</b>

“Almacenamiento de Clínter” considera tanto el almacenamiento de clínter como las operaciones de transferencia de éste.

La fuente “Almacenamiento de Combustible” considera fuentes de Copec, Enap y Gasmar, en este último caso se catalogó la fuente “Antorcha” como Almacenamiento de Combustible debido a que sus emisiones corresponden a la quema de gas proveniente de los estanques de almacenamiento de GLP (Gas Licuado de Petróleo) en Ventanas.

La “Erosión Eólica” considera 3 fuentes, dos de ellas corresponden a emisiones desde pilas de acopio de carbón (pertenecientes a Gener y Catamutún) y la otra a un sitio eriazo ubicado en la planta de graneles limpios de Puerto Ventanas S.A.

Dentro de “Industria Química” se agrupan las fuentes de emisión de compuestos orgánicos volátiles que provienen de las operaciones con estanques de almacenamiento de líquidos orgánicos, excepto combustibles (estos se agrupan dentro de Almacenamiento de Combustibles).

Las “Operaciones de Buques” corresponden a las emisiones provenientes de la operación de embarcaciones en la bahía, ya sea durante la estancia en muelle o boyas, durante la etapa de remolque o durante la entrada de las naves a la bahía (operación denominada “bajo crucero”).

Las emisiones provenientes de la operación de grúas horquilla, cargadores frontales, bulldózer y otro tipo de maquinaria similar, se agrupan dentro de la categoría denominada “Maquinaria Interna”. El número de fuentes que se indica corresponde al n° de empresas que entregaron información respecto de las operaciones y características de estas maquinarias y no al número de maquinarias existentes en la zona.

Puerto Ventanas S.A. cuenta con un muelle de carga y descarga de graneles (carbón, clínter, granos, concentrados de Cu y Zn, entre otros). Las emisiones provenientes de las operaciones transferencia de estos productos son agrupadas dentro de la categoría “Terminal Portuario”.

En el caso de las emisiones de resuspensión de polvo, estas se calcularon considerando el tránsito por vías pavimentadas y no pavimentadas dentro de sitios industriales (Tránsito Pav y Tránsito S/Pav).

El “Almacenamiento de Carbón” corresponde a aquellas fuentes que almacenan carbón para su comercialización, lo que implica un proceso de tamizado y molienda del material.

Puerto Ventanas S.A. cuenta con una Planta de Graneles Limpios, donde almacena, maneja y transfiere granos. Las emisiones provenientes de estas operaciones se agruparon dentro de la clasificación “Operación C/Granos”.

En el caso de “Fundición Primaria de Cobre” se consideran todas aquellas fuentes relacionadas directas e indirectamente al proceso de fundición llevado a cabo en la nave de convertidores, estos pueden ser actividades relacionadas a la recepción de concentrados en la cancha RAM, así como la operación en la planta de metales nobles.

## Emisiones

Las emisiones finales, según la clasificación de fuentes para el inventario de Ventanas, para las fuentes fijas clasificadas anteriormente, se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 215. Emisiones (Ton/Año) según Clasificación del Inventario**

CLASIFICACION DEL INVENTARIO	RAZON	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>x</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>
ALMACENAMIENTO CLINKER	EMPRESAS MELON S.A.	0,96	0,05					
ALMACENAMIENTO DE CARBON	COMERCIAL CATUMUTUN S.A.	9,41	0,004					
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	GASMAR S.A.			0,35	1,92		0,72	
CALDERAS INDUSTRIALES	CODELCO - DIVISIÓN VENTANAS	3,80	0,46	19,70	13,03	10,56	0,86	0,30
	COMPAÑIA DE PETROLEOS DE CHILE S.A.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	EMPRESA NACIONAL DEL PETRÓLEO (ENAP)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OXIQUM	0,58	0,26	24,08	8,11	0,78	0,64	0,27
EROSION EOLICA	AES GENER S.A.	0,90						
	COMERCIAL CATUMUTUN S.A.	0,61						
FUNDICION PRIMARIA DE COBRE	CODELCO - DIVISIÓN VENTANAS	740,48	360,10	28,39	18,41	27.469,20	1,22	0,55
GRUPOS ELECTROGENOS	GASMAR S.A.	0,21	0,05	6,11	1,32	0,40	0,48	0,01
	OXIQUM	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
INDUSTRIA QUIMICA	OXIQUM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,74	0,00
OPERACIÓN BUQUES	ENAP - COPEC	19,50	10,92	872,44	424,95	3.403,70		
	GASMAR S.A.	0,61	0,34	27,44	4,87	41,31		
	OXIQUM	1,27	0,71	73,39	15,95	132,38		
	PUERTO VENTANAS S.A.	2,86	1,60	131,99	31,03	257,08		
OPERACION C/GRANOS	PUERTO VENTANAS S.A.	13,84	2,35					
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	AES GENER S.A.	0,34	0,08	11,19	6,04	0,01		
	CODELCO - DIVISIÓN VENTANAS	1,13	0,27	23,56	12,65	0,02	0,00	0,00
	COMERCIAL CATUMUTUN S.A.	0,04	0,01	6,72	1,81	0,01		
	PUERTO VENTANAS S.A.	0,08	0,02	2,81	1,30	0,01		
TERMINAL PORTUARIO	PUERTO VENTANAS S.A.	4,20	0,38					
TERMOELECTRICAS	AES GENER S.A.	233,24	91,47	2.535,08	176,05	8.309,38	17,60	397,87
TRANSITO PAV <sup>32</sup>	AES GENER S.A.	0,31	0,04					
	CODELCO - DIVISIÓN VENTANAS	27,39	3,83					

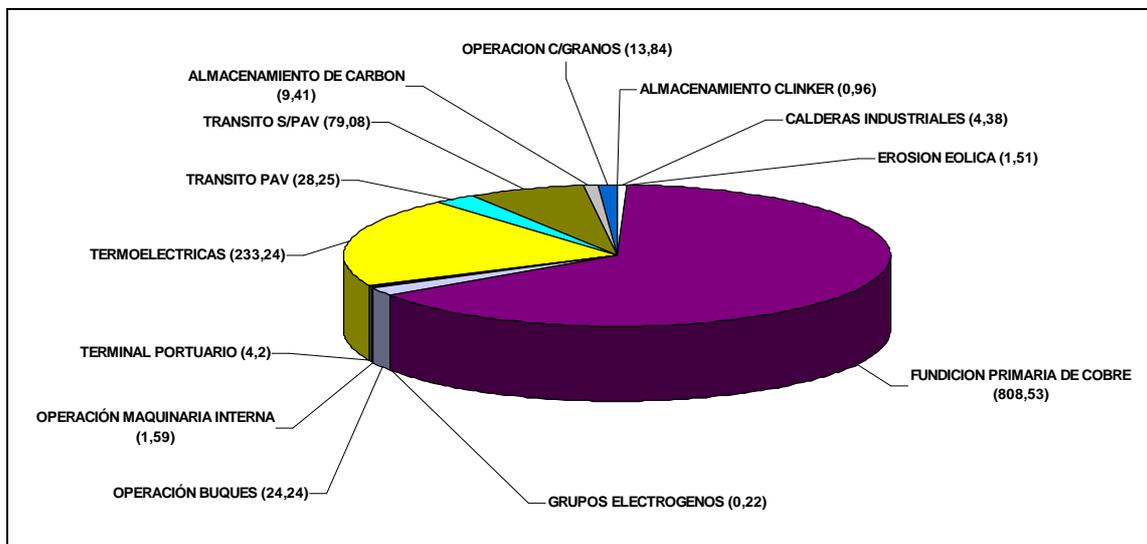
<sup>32</sup> Tránsito por vías industriales pavimentadas.

	GASMAR S.A.	0,05	0,01					
	PUERTO VENTANAS S.A.	0,50	0,07					
TRANSITO S/PAV <sup>33</sup>	AES GENER S.A.	0,20	0,02					
	CODELCO - DIVISIÓN VENTANAS	44,52	4,45					
	COMERCIAL CATUMUTUN S.A.	1,42	0,14					
	OXIQUM	32,94	3,29					
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>1.141,40</b>	<b>480,96</b>	<b>3.763,27</b>	<b>717,44</b>	<b>39.624,83</b>	<b>164,27</b>	<b>399,00</b>

Los aportes a las emisiones se clasifican según el contaminante criterio de estudio. Como la zona industrial de Ventanas ha sido declarada saturada por material particulado respirable y por anhídrido sulfuroso, es importante conocer, para el caso del MP<sub>10</sub>, el aporte directo del material particulado (fino y grueso) y de sus precursores (SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>, como contribuyentes a la formación de sulfatos y nitratos), para el caso del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) es importante observar el aporte de cada fuente identificada a las emisiones de SO<sub>x</sub>.

De esta forma, la contribución de las distintas fuentes a las emisiones de cada contaminante indicado, se muestra en los siguientes gráficos.

### Contribución a las emisiones de MP<sub>10</sub>



**Figura 35:** Aporte (ton/año) por categoría de fuentes a las emisiones de MP<sub>10</sub> en Ventanas – 2006

Las dos grandes fuentes, responsables de más del 85% de las emisiones de material particulado respirable, corresponden a la fundición primaria de cobre y a la central termoeléctrica de Ventanas, las que contribuyen con un 64,8% y 20,4%, respectivamente.

<sup>33</sup> Tránsito por vías industriales sin pavimentar.

Aparecen dos fuentes nuevas en la zona, con un aporte superior al 10% de las emisiones totales: el polvo resuspendido por acción del tránsito de camiones de gran tonelaje por vías pavimentadas y no pavimentadas en sitios industriales y las emisiones provenientes del gran movimiento portuario industrial existente en la zona.

La relación entre el % de aporte a las emisiones y las emisiones calculadas para cada fuente se muestra a continuación:

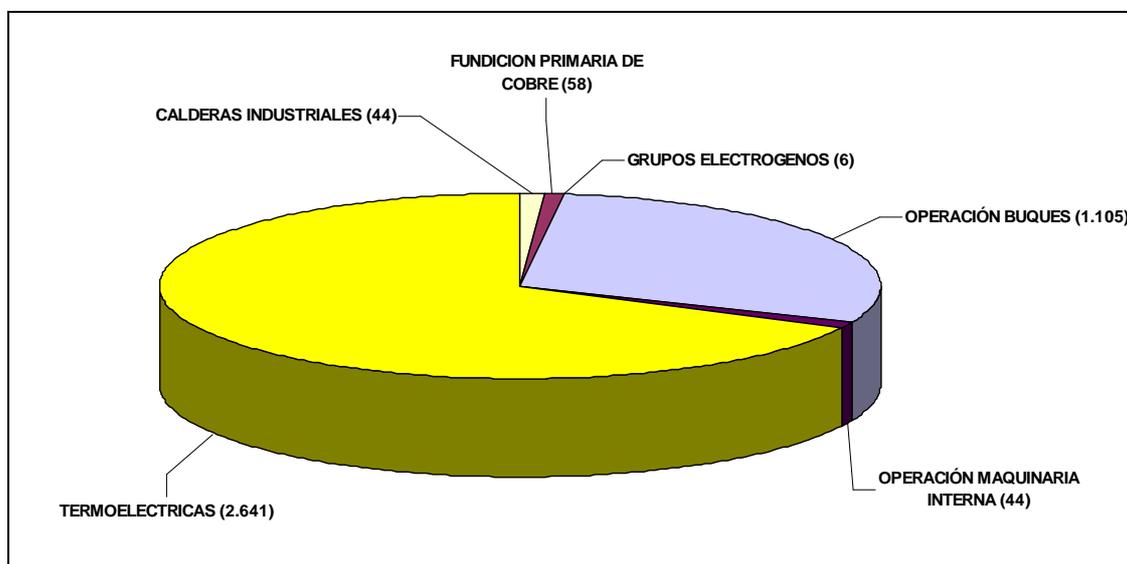
**Tabla 216. Emisiones de MP10 por Clasificación de Inventario**

<b>CLASIFICACION DEL INVENTARIO</b>	<b>MP<sub>10</sub> (%)</b>	<b>MP<sub>10</sub> (TON/AÑO)</b>
ALMACENAMIENTO CLINKER	0,1%	0,96
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	0,0%	-
CALDERAS INDUSTRIALES	0,4%	4,38
EROSION EOLICA	0,1%	1,51
FUNDICION PRIMARIA DE COBRE	64,8%	740,48
GRUPOS ELECTROGENOS	0,0%	0,22
INDUSTRIA QUIMICA	0,0%	-
OPERACIÓN BUQUES	2,1%	24,24
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	0,1%	1,59
TERMINAL PORTUARIO	0,4%	4,20
TERMoeLECTRICAS	20,4%	233,24
TRANSITO PAV	2,5%	28,25
TRANSITO S/PAV	6,9%	79,08
ALMACENAMIENTO DE CARBON	0,8%	9,41
OPERACION C/GRANOS	1,2%	13,84
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.141,40</b>

La tercera fuente de importancia dentro de las contribuyentes a las emisiones de material particulado, por su cercanía a la zona de La Greda son las actividades de transferencia de granos (“Operación C/Granos”). Si bien éstas emiten sólo 13,84 toneladas de MP<sub>10</sub> (en comparación con las de tránsito por vías pavimentadas y sin pavimentar), se observó durante las visitas a terreno, las altas emisiones provenientes de las tolvas de descarga de granos a camiones y tren, pero llamó especialmente la atención la operación de una máquina barredora, la cual cumple la función de barrer y aspirar el polvo superficial de las calles internas a Puerto Ventanas. Ésta máquina, al operar en seco, levantaba gran cantidad de polvo fugitivo (en su fracción más fina, ya que la fracción gruesa es aspirada) en la zona de entrada a los galpones de almacenamiento de granos. Debido a que no se cuenta con una metodología para estimar las emisiones de este tipo de fuentes no se incluyó en el inventario, pero se deberá tener en cuenta al momento de implementar medidas de reducción de emisiones a las fuentes de Ventanas.



## Contribución a las emisiones NOx



**Figura 37: Aporte (ton/año) por Categoría de Inventario a las Emisiones de NOx**

Como se observa, dos fuentes son las principales emisoras de óxidos de nitrógenos a la atmósfera: la central termoeléctrica de Ventanas y la Operación de Buques en la bahía. En menor medida se identifican las calderas industriales, fundición primaria de cobre, grupos electrógenos y la operación de maquinaria interna, todas con poco más del 3% de la responsabilidad en las emisiones.

Las emisiones de NOx según el % de aporte, se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 218. Emisiones SOx por Clasificación del Inventario**

CLASIFICACION DEL INVENTARIO	NOx (%)	NOx (TON/AÑO)
ALMACENAMIENTO CLINKER	0,00%	
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	0,01%	0,35
CALDERAS INDUSTRIALES	1,16%	43,79
EROSION EOLICA	0,00%	
FUNDICION PRIMARIA DE COBRE	0,75%	28,39
GRUPOS ELECTROGENOS	0,16%	6,13
INDUSTRIA QUIMICA	0,00%	-
OPERACIÓN BUQUES	29,37%	1.105,26
OPERACIÓN MAQUINARIA INTERNA	1,18%	44,28
TERMINAL PORTUARIO	0,00%	
TERMoeLECTRICAS	67,36%	2.535,08
TRANSITO PAV	0,00%	
TRANSITO S/PAV	0,00%	
ALMACENAMIENTO DE CARBON	0,00%	
OPERACION C/GRANOS	0,00%	
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>3.763,27</b>

## Resumen Inventario Final de Emisiones Totales Zona Industrial De Ventanas – 2006

Tabla 219. Inventario de Emisiones Zona Industrial de Ventanas 2006

<b>Clasificación Inventario</b>	<b>MP<sub>10</sub></b>	<b>MP<sub>2,5</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COV</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
Almacenamiento Clinker	0,96	0,05					
Almacenamiento de Carbon	9,41	0,00					
Almacenamiento de Combustibles	-	-	1,92	0,35	0,72	-	-
Calderas Industriales	4,38	0,72	21,15	43,79	1,50	11,34	0,57
Erosion Eolica	1,51	-					
Fundicion Primaria de Cobre	740,48	360,10	18,41	28,39	1,22	27.469,20	0,55
Grupos Electrogenos	0,22	0,05	1,32	6,13	0,49	0,40	0,01
Industria Quimica	-	-	-	-	142,74	-	-
Operación Buques	24,24	13,58	476,79	1.105,26		3.834,47	
Operacion C/Granos	13,84	2,35					
Operación Maquinaria Interna	1,59	0,38	21,80	44,28	-	0,04	-
Terminal Portuario	4,20	0,38					
Termoelectricas	233,24	91,47	176,05	2.535,08	17,60	8.309,38	397,87
Transito Pav	28,25	3,95					
Transito S/Pav	79,08	7,91					
<b>Total General</b>	<b>1.141,40</b>	<b>480,96</b>	<b>717,44</b>	<b>3.763,27</b>	<b>164,27</b>	<b>39.624,83</b>	<b>399,00</b>



**Figura 38: Participación por categoría de fuente en el inventario de emisiones de fuentes fijas de Ventanas -2006**

Los principales contribuyentes a las emisiones siguen siendo la fundición y refinería de cobre y la central termoeléctrica de Ventanas. Sin embargo, aparecen nuevas fuentes contribuyentes a las emisiones: la operación de embarcaciones en puerto, responsables del SOx, NOx y la resuspensión de polvo por tránsito de camiones pesados por vías industriales. En el caso de las emisiones de COV, el mayor contribuyente corresponde a la Industria Química.

## 5 Antecedentes Calidad del Aire y emisiones sector Codelco Ventanas y AES Gener.

A continuación se realiza un pequeño análisis preliminar de cómo ha evolucionado en los último 13 años

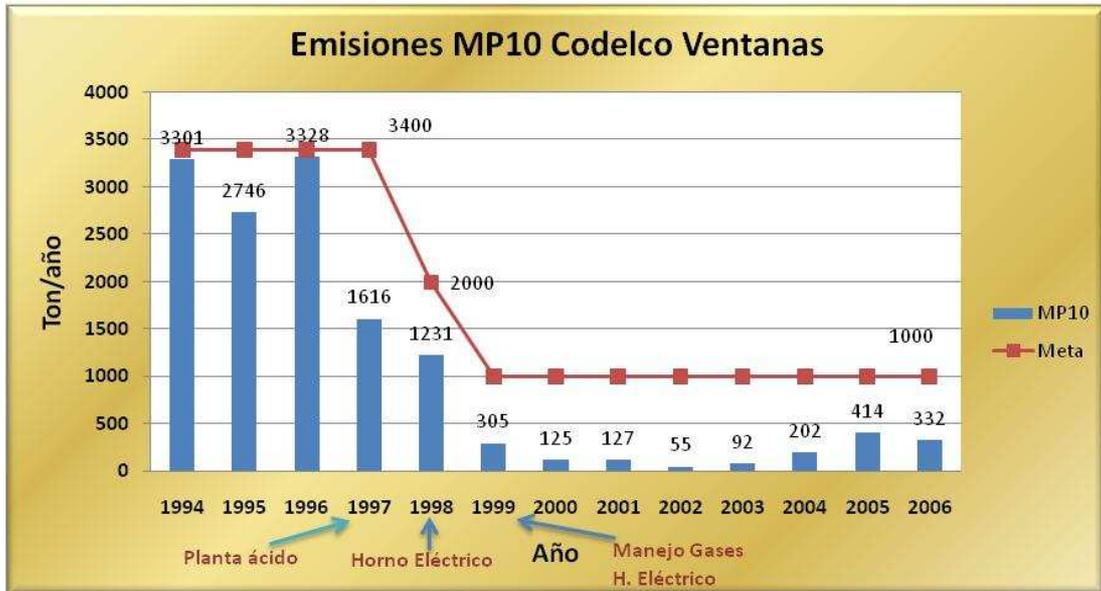


Figura 39: Emisiones MP-10 Codelco División Ventanas

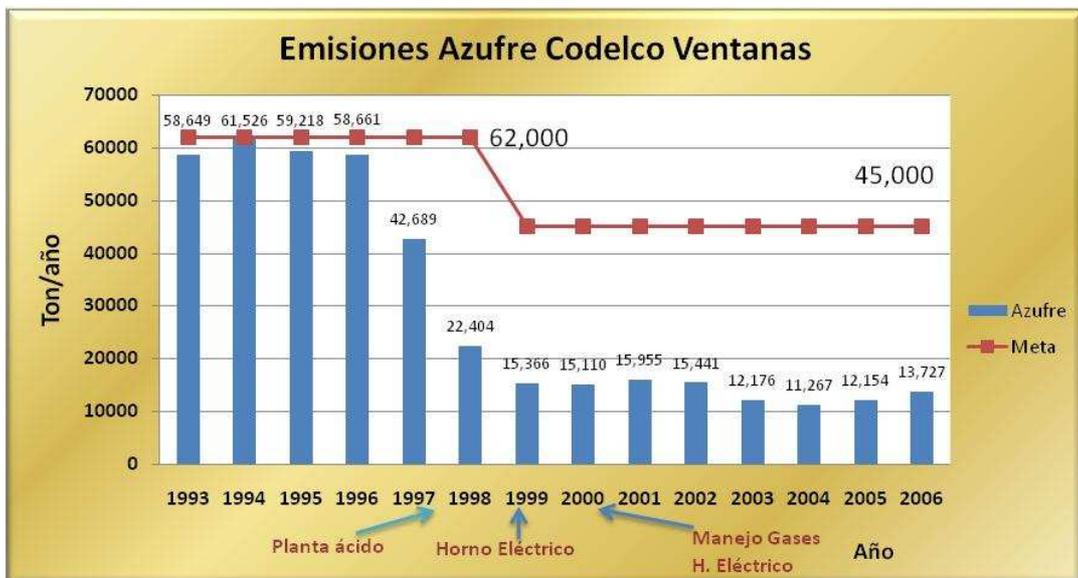


Figura 40: Emisiones Azufre Codelco División Ventanas

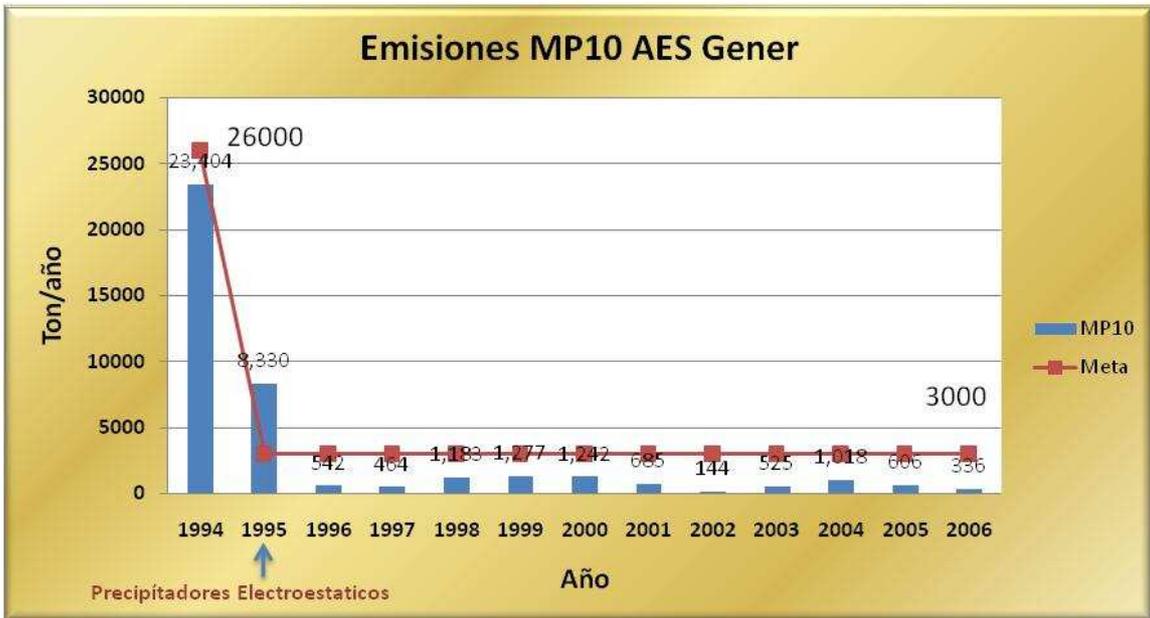


Figura 41: Emisiones MP-10 AES GENER.

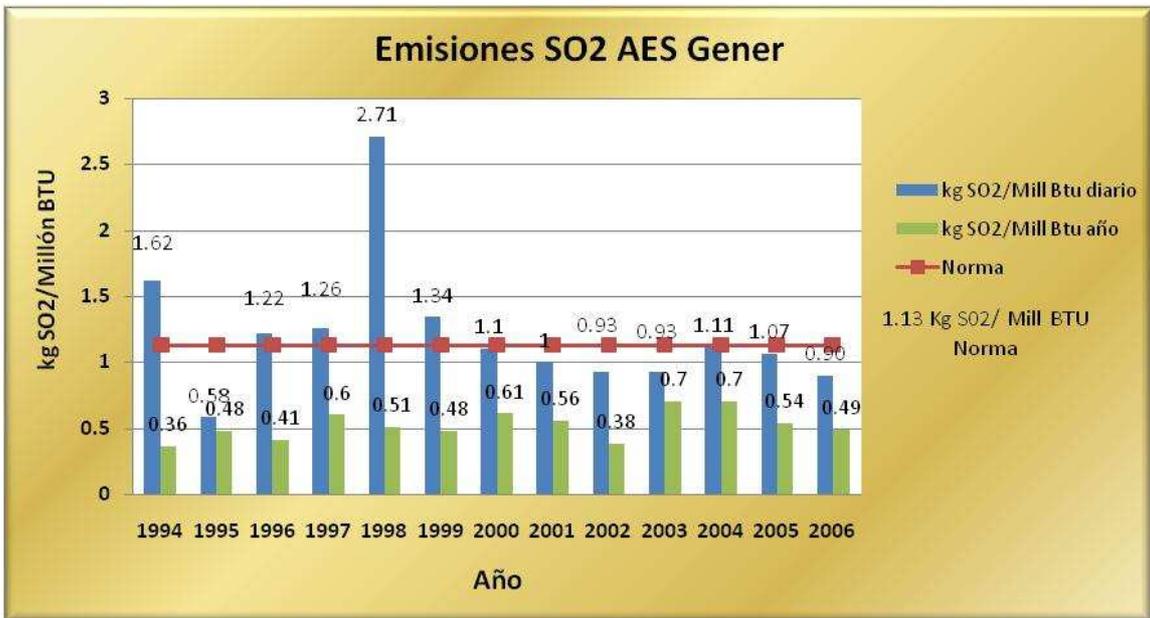
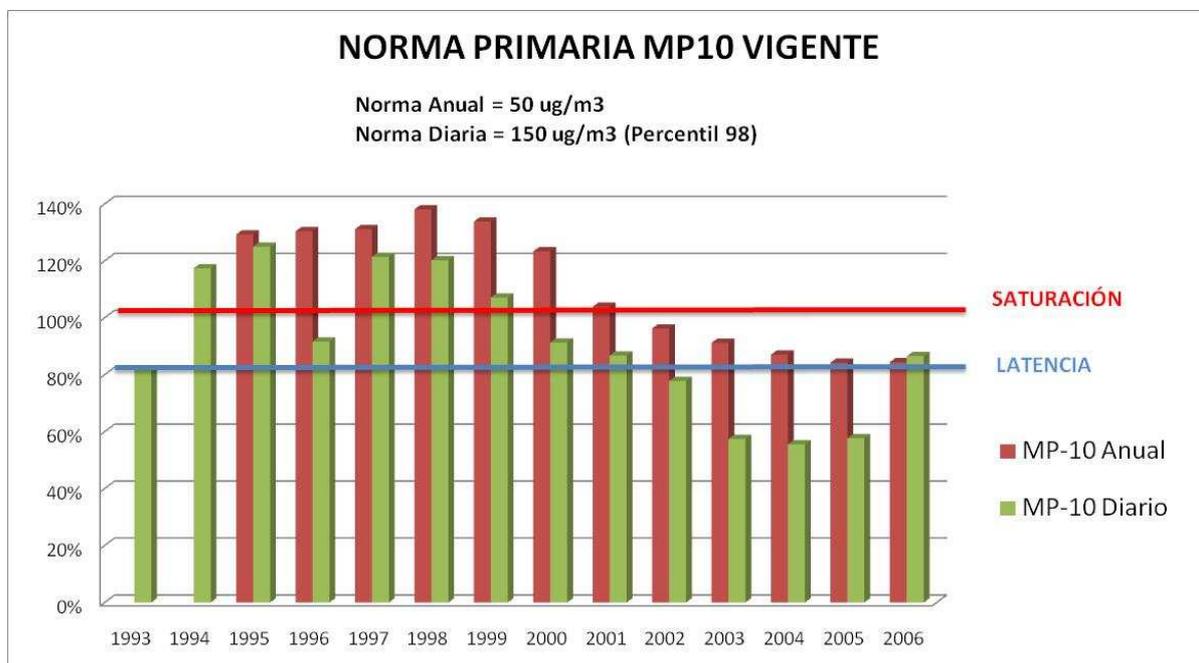


Figura 42: Emisiones SO<sub>2</sub> AES GENER.

En las imágenes anteriores es posible ver que tanto en Codelco Ventanas como en AES Gener existió una reducción sostenida de emisiones de MP-10 y SO<sub>2</sub> (excepto año 1998 en Gener) desde mediados de la década de los noventa hasta el año 2002 lo que se tradujo claramente en mejoras en la calidad del aire hasta el año 2002 en la zona de la Red de monitoreo de Codelco Ventanas. Desde el año 2003 al 2005 se puede ver cierto aumento en las emisiones de MP-10 y SO<sub>2</sub> de ambas instalaciones lo que no produce un empeoramiento de la calidad del aire desde el año 2003 al 2005 pero si un estancamiento, es decir los niveles se mantienen durante estos tres años tanto para el SO<sub>2</sub> como para el MP10. Lo que sorprende es que el año 2006 presenta mejoras en las emisiones de las instalaciones de Codelco Ventanas y AES-Gener pero los niveles de calidad del aire empeoran el año 2006 respecto al año 2005. Esto se puede deber a las siguientes razones:

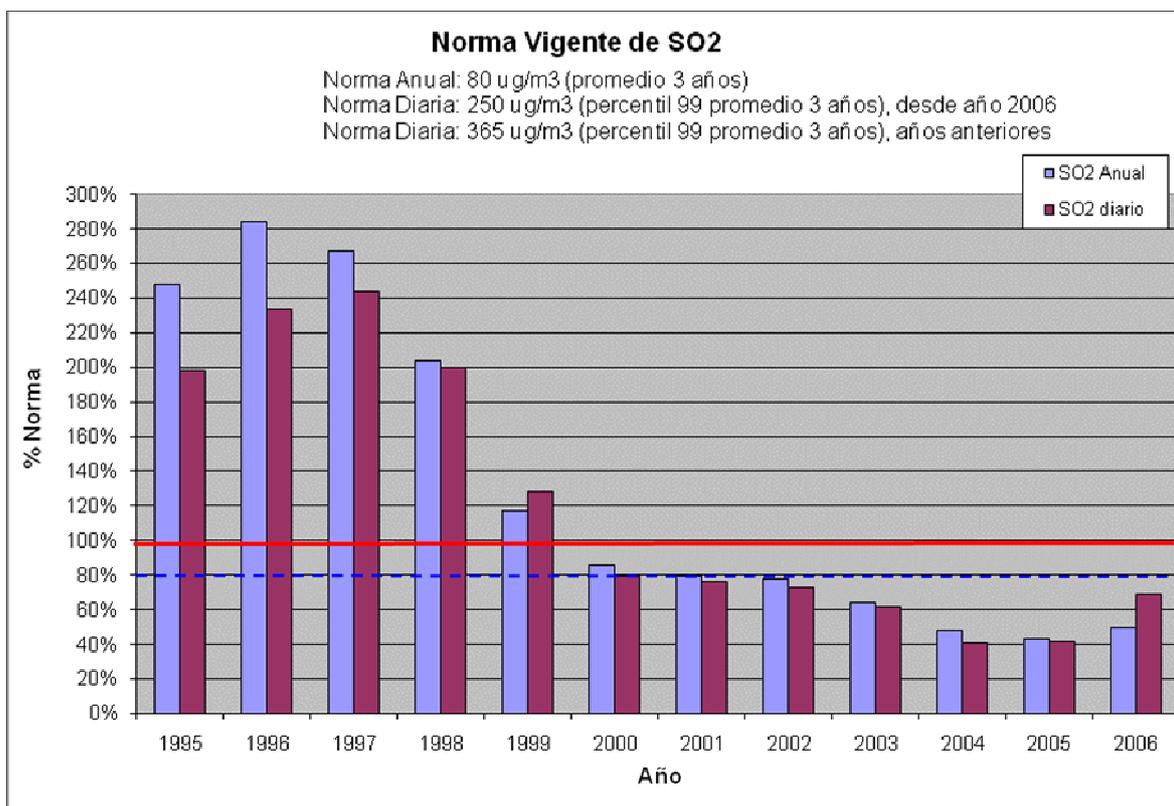
- El año 2006 presentó condiciones meteorológicas desfavorables
- Se ha producido un aumento en emisiones de SO<sub>2</sub> y MP-10 de otras fuentes.
- Menos probable pero podría existir algún error en la estimación de emisiones del año 2006.

Uno de los objetivos de este estudio es poder dar una respuesta o señal acerca de esta interrogante, elaborando un inventario de emisiones detallado de la zona y realizando una estimación del impacto de estas emisiones. (Relación emisión – inmisión)



**Figura 43: Cumplimiento normativa MP-10 estaciones Red Codelco División Ventana y AES Gener.**

La figura anterior se realizó estimando el promedio anual y el percentil 98 de los promedios diarios para todas las estaciones de la Red CDV y AES Gener, por cada año se muestra el valor de la estación que presentó el máximo nivel.



**Figura 44: Cumplimiento normativa SO2 estaciones Red Codelco Red Codelco División Ventana y AES Gener.**

## 6 El modelo de dispersión AERMOD

A contar del año 2005 la EPA de EEUU ha reemplazado al modelo ISC3 por el modelo AERMOD, el cual ha pasado a ser el modelo preferido para fines de evaluación de impactos ambientales, es decir, se trata del modelo regulatorio actualmente utilizado por la EPA.

Cuando se dispone de un perfil vertical de datos meteorológicos (T, presión, viento, etc), el modelo AERMOD incorpora una descripción más actualizada de la dispersión de plumas de todo tipo de fuentes emisoras (puntuales, de área, lineales y de volumen). Por ejemplo, considera que en condiciones convectivas (fuerte insolación, periodo diurno) se produce un ascenso y descenso de masas de aire que puede inducir altos impactos de concentraciones cuando una pluma ‘fumiga’ sobre un receptor dado, aspecto que no es modelado en detalle por ISC3, y que es representado en forma probabilística por AERMOD.

AERMOD consiste en un sistema de modelación formado por tres componentes: AERMOD (modelo de dispersión), AERMAP (procesador de terreno) y AERMET (procesador meteorológico). Entre las características destacables del sistema AERMOD tenemos su habilidad para tratar la variabilidad vertical de las propiedades de la capa límite planetaria, tratamiento especial de fuentes areales, fuentes de área de forma irregular, un modelo de penachos múltiples para la capa límite convectiva, limitaciones al mezclado vertical en condiciones de estabilidad atmosférica, tratamiento de dispersión sobre terreno complejo que mejora los algoritmos disponibles en modelos como el ISC3 (pero sin la complejidad de CTDMPPLUS).

AERMET es el procesador meteorológico del sistema. Los datos de entrada consisten en datos horarios de cobertura de nubes, meteorología superficial y radiosondeos cada 12 horas (estándar de los EEUU). Los resultados del procesamiento consisten en parámetros de turbulencia superficial así como variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura) con sus valores en la superficie del dominio y también sus perfiles verticales, los que se requieren para poder representar apropiadamente los procesos de transporte y dispersión de emisiones en el dominio estudiado. En caso que no se cuente con radiosondeo en la zona de estudio, AERMET emplea correlaciones empíricas para estimar la altura de mezclado en condiciones extremas (valores máximo y mínimo para cada día modelado).

AERMAP es un procesador de terreno diseñado para simplificar y estandarizar la entrada de datos de terreno al sistema. Los datos de entrada incluyen las elevaciones de terreno y las ubicaciones de los receptores en el dominio modelado. La salida incluye, para cada receptor seleccionado, la ubicación y su altura relativa al terreno donde está emplazado. También se estima una altura crítica para establecer si un penacho va a pasar por sobre una colina o solamente la va a rodear, es decir, empleando la metodología introducida en el modelo CTDMPPLUS, modelo que también ha sido aplicado por un integrante del equipo Consultor, en el caso de la zona de Ventanas, V Región<sup>34</sup>.

El procesador meteorológico de AERMOD (AERMET) posee extensiones y una gran flexibilidad ya que AERMET acepta sectores angulares con diferentes propiedades de rugosidad, albedo y razón de Bowen, dependiendo de la dirección del viento predominante. Esto es particularmente apropiado para el caso de localidades costeras como Ventanas, debido a que hay una clara distinción entre la superficie del mar y la del continente.

Aermet utiliza la información de meteorología superficial más las características superficiales locales del terreno (albedo, razón de Bowen, latitud, longitud, estacionalidad)

---

<sup>34</sup> Felipe Dubernet y Héctor Jorquera, “Modelación de Dispersión de Contaminantes sobre Terreno Complejo”, XII Congreso Chileno de Ingeniería Química, Valparaíso, 9-11 Octubre, 1996.

para estimar el balance de energía superficial y así estimar los flujos turbulentos de momentum y calor ( $u^*$  y  $H$ , respectivamente) que definen el estado local de la turbulencia, mediante la aplicación de ecuaciones de diagnóstico.

Entregar más detalles técnicos escapan a los objetivos de este estudio, mayores especificaciones sobre el modelo AERMOD pueden encontrarse en:

[http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm#aermod](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm#aermod)

## **7 El modelo de dispersión CALMET/CALPUFF**

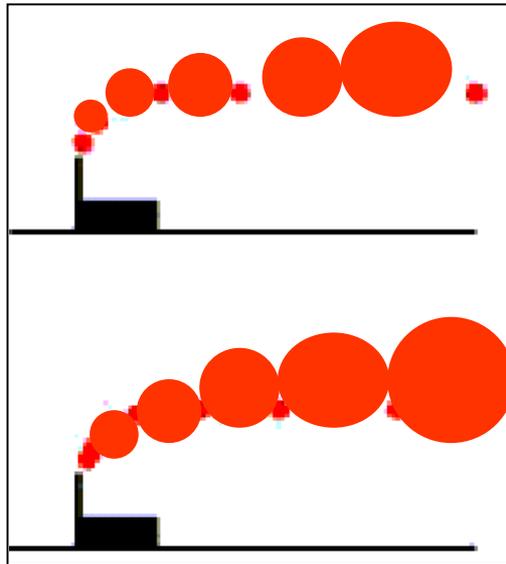
CALPUFF es el modelo recomendado por la EPA de EEUU para estimar el transporte de largo alcance de contaminantes y su impacto en áreas con meteorología y terreno complejos. El sector a ser modelado presenta condiciones meteorológicas y topográficas complejas al encontrarse encajonado entre cadenas montañosas, con elevaciones intermedias que lo harían ser clasificado como ‘terreno complejo’ en la definición clásica de la EPA de EEUU.

Los modelos de ‘paquetes de emisiones’ o de ‘puffs’ consideran la variación temporal de las emisiones, al representar la emisión de cada fuente puntual como un conjunto de paquetes de contaminantes ("puffs"), los cuales son transportados por el campo de vientos, se expanden al mezclarse con el aire que los rodea y en su interior se considera también las reacciones químicas más importantes.

Los modelos de “puff”, a diferencia de los modelos Gaussianos, permiten manejar situaciones transientes como desarrollo de brisa valle-cordillera, y los casos de calmas del viento, donde los modelos Gaussianos predicen concentraciones infinitas (o irrazonablemente altas), ya que en tal caso los paquetes de contaminación siguen creciendo en tamaño, aunque la velocidad del viento sea prácticamente cero.

Por esta misma razón los modelos de puff son particularmente útiles para simular situaciones de acumulación de contaminantes bajo condiciones de muy mala dispersión (alta estabilidad atmosférica, bajos vientos superficiales), donde fallan los modelos Gaussianos (que tienden a estimar muy altas condiciones en las horas previas al amanecer, pese a que en esas condiciones las emisiones suelen ser mínimas).

El modelo CALPUFF le sigue la pista a los distintos paquetes de contaminantes en su viaje por el dominio computacional, así que también se puede describir como un modelo de ‘trayectorias’. Se pueden modelar varios contaminantes en forma simultánea y las reacciones químicas también se pueden incorporar de manera simplificada. Los algoritmos incorporan mecanismos de crecimiento del "puff" a lo largo de la trayectoria y también mecanismos de depositación seca y húmeda.



**Figura 45: Esquema de cómo se modelan las emisiones en modelos de puffs como CALPUFF.**

CALPUFF es más avanzado técnicamente por las siguientes razones:

- El modelo meteorológico de CALPUFF (llamado CALMET) a diferencia de AERMET genera un campo tridimensional de meteorología no homogéneo, empleando toda la información meteorológica de la zona, no de una sola estación monitorea (AERMOD e ISC3 consideran un campo de vientos uniforme en cada hora simulada).
- CALMET considera efectos meteorológicos costeros y sobre cuerpos de agua, efectos topográficos sobre el campo de vientos, utiliza parametrización diferenciada de la capa límite sobre cuerpos de agua respecto a la parametrización de la capa límite sobre el suelo. Esta capacidad es aprovechada de mejor manera cuando existen observaciones meteorológicas sobre el mar.
- CALPUFF emplea algoritmos de cálculo de la transformación química para la estimación de nitratos y sulfatos a partir de las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, considerando la oxidación de esos precursores a ácido nítrico y sulfúrico y la posterior neutralización con amoníaco para dar origen a nitratos y sulfatos en fase partícula. (ver las dos figuras siguientes); NOTA: ni AERMOD ni ISC3 hacen este tipo de cálculos. Para esto existen tres opciones:
  - o El esquema MESOPUFF II,
  - o El esquema RIVAD/ARM3
  - o Configurar un archivo con un perfil diario de distintas velocidades de transformación de especies.
  - o En las primeras dos opciones solo es necesario configurar un background mensual o horario de Ozono y un background mensual de NH<sub>3</sub>
- CALPUFF respeta la conservación de masa de los contaminantes tanto espacialmente como temporalmente, los modelos Gaussianos no satisfacen esto. Además CALPUFF mantiene en todo momento un registro de los paquetes

(puffs) de contaminación en el dominio modelado, mientras que AERMOD e ISC3 descartan las simulaciones anteriores y generan campos de concentraciones sesgados, especialmente en condiciones de vientos débiles.

- CALMET acepta configuración de propiedades del terreno (Rugosidad, Razón de Bowen, Albedo, etc) en formato de grilla, no en distribución angular (discreta, pro sectores) como lo hacer AERMOD, lo cual le permite incorporar toda la variabilidad del uso de suelos en el dominio modelado.

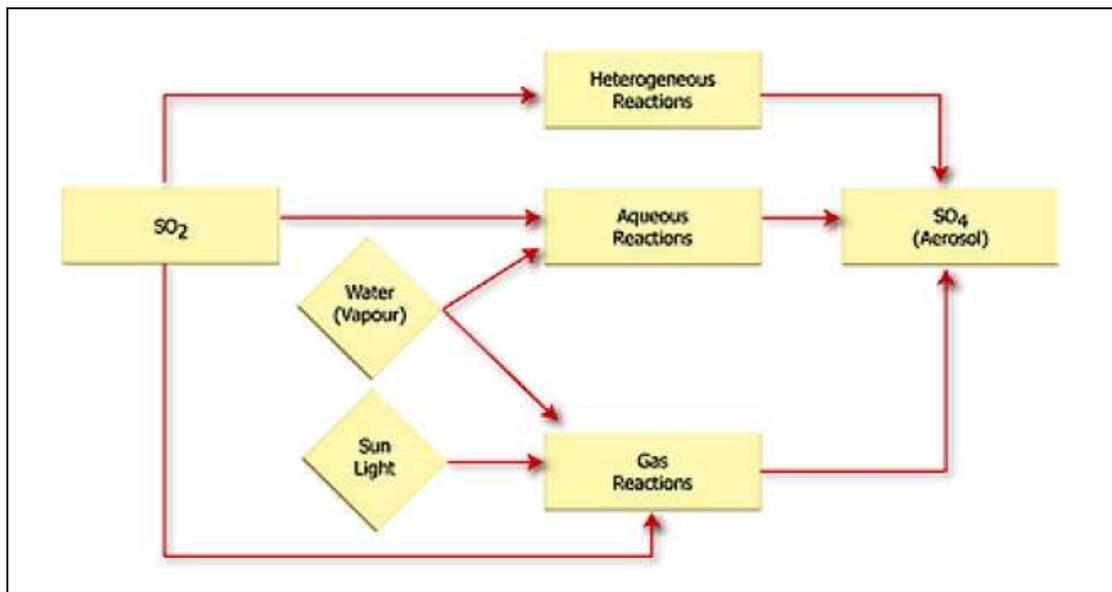


Figura 46. Esquema de formación de SO<sub>4</sub> (particulado) utilizado por CALPUFF.

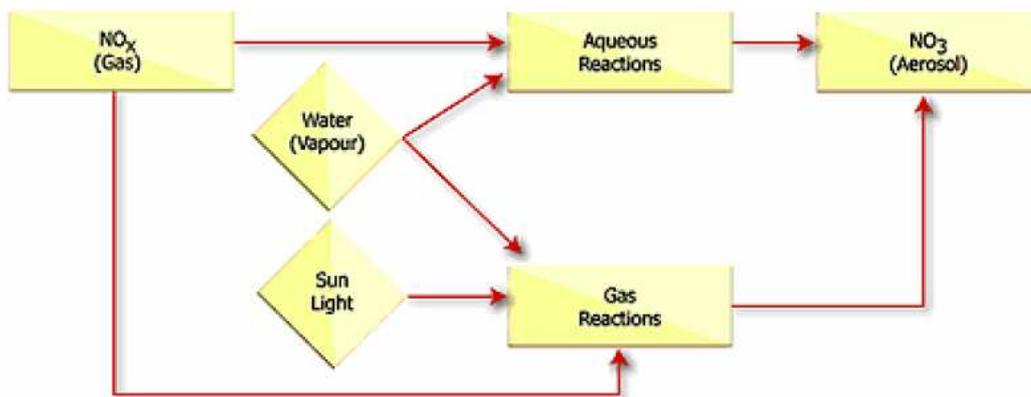


Figura 47: Esquema de formación de NO<sub>3</sub> (particulado) utilizado por CALPUFF.

Las características mencionadas anteriormente son ampliamente recomendables debido a la situación de zona costera que presenta la localidad de Ventanas, además de la posibilidad de utilización de algoritmos químicos para realizar una estimación de la formación de aerosoles (sulfato en este caso).

## 7.1 El modelo meteorológico CALMET

El modelo meteorológico CALMET consiste en un módulo de campos de viento y módulos micrometeorológicos para capas límites sobre agua y sobre tierra. Se usa un sistema de grillas que consiste en NZ niveles verticales de NX por NY celdas cuadradas horizontales. Este módulo es de diagnóstico, es decir, modelo estacionario.

- Datos de entrada utilizados por CALMET

Datos de estaciones superficiales:

Observaciones horarias de:

- Velocidad de vientos
- Dirección de vientos
- Temperatura
- Cobertura de nubes
- Altura de nubes
- Presión superficial
- Humedad relativa
- Precipitaciones

Datos en altura (mínimo dos veces al día):

- Velocidad de vientos
  - Dirección del Viento
  - Temperatura
  - Presión
  - Elevación de cada nivel de datos
  - Data de modelos de pronóstico MM4/MM5 y CSUMM
- (opcional)

Observaciones de estaciones en cuerpos de agua (opcional)

Datos geofísicos:

- Elevaciones de terreno
- Categorías de uso de suelos
- Rugosidad superficial (opcional)

- Albedo (opcional)
- Razón de Bowen (opcional)
- Constante del flujo de calor superficial (opcional)
- Constante de flujo de calor antropogénico (opcional)
- Índice de vegetación (opcional)

Estos coeficientes opcionales en caso de no ser definidos expresamente por el usuario, son estimados por el programa dependiendo de la categoría de uso de suelos del dominio de modelación.

En términos sencillos CALMET es un modelo meteorológico que estima campos de viento y temperatura grillados tridimensionales en resolución de tiempo horaria. Asociando campos de dos dimensiones como por ejemplo la altura de la capa de mezcla, las características superficiales del terreno.

La estimación de campos de vientos se realiza siguiendo los pasos que se muestran en el siguiente diagrama.

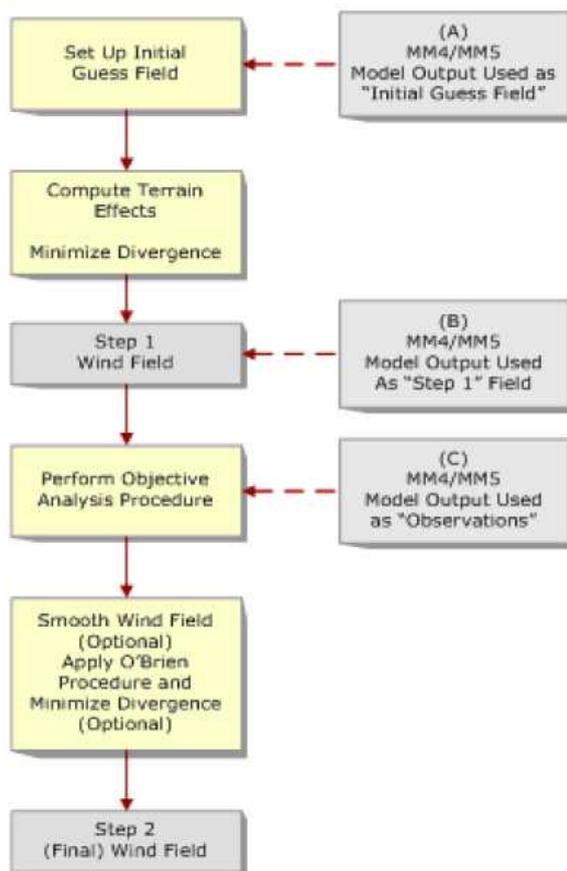


Figura 48: Esquema estimación de campos de vientos.

El primer paso corresponde a una estimación inicial del campo de vientos la cual es ajustada por distintos efectos del terreno.

El segundo paso corresponde a la introducción de información observada (la cual es interpolada) y combinada con la estimación inicial del campo de vientos. Simulaciones de un modelo de pronóstico como MM5 o WRF pueden ser ingresados tanto en la etapa inicial como en la etapa de observaciones.

Un método inverso a la distancia es utilizado para introducir información observacional en el primer paso del campo de vientos.

$$(u, v)'_2 = \frac{\left\{ \frac{(u, v)_1}{R^2} + \sum_k \frac{(u_{obs}, v_{obs})_k}{R_k^2} \right\}}{\left\{ \frac{1}{R^2} + \sum_k \frac{1}{R_k^2} \right\}}$$

donde  $(u_{obs}, v_{obs})_k$  son los componentes observados del viento para la estación k

$(u, v)_1$  son los componentes del viento en la etapa 1 en un determinado punto de la grilla.

$(u, v)_2'$  son los componentes iniciales del viento para la etapa 2

$R_k$  es la distancia de la estación de observación k a un determinado punto de la grilla.

R es un parámetro de peso especificado por el usuario para el campo de vientos de la primera etapa, corresponde a un “radio de influencia”, por ejemplo, 4 km en torno a las estaciones de monitoreo.

Entregar más detalles técnicos escapan a los objetivos de este estudio, mayores especificaciones sobre el modelo CALMET/CALPUFF pueden encontrarse en:  
<http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>

## 8 Información meteorológica analizada y utilizada en la modelación

Se analizó la información proveniente de la red meteorológica de CDV y AES Gener. Las estaciones y sus respectivas coordenadas aparecen en la tabla siguiente.

Tabla 220: Coordenadas de las estaciones de meteorología

Estación	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Latitud(s)	Longitud(o)
Principal	267304	6371939	32.765	71.484
La Greda	268178	6374247	32.745	71.474
Los Maitenes	270241	6372458	32.761	71.452
Puchuncavi	274348	6377500	31.717	71.407
Sur	267700	6368500	32.796	71.480
Valle Alegre	271904	6367000	32.811	71.436

Las coordenadas UTM se presentan con DATUM WGS84 y Huso 19S.

La información meteorológica, la que se entiende que ya ha sido analizada por entidades como CONAMA fue nuevamente revisada y graficada para descartar cualquier tipo de información que pareciera extraña.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las estaciones mencionadas.

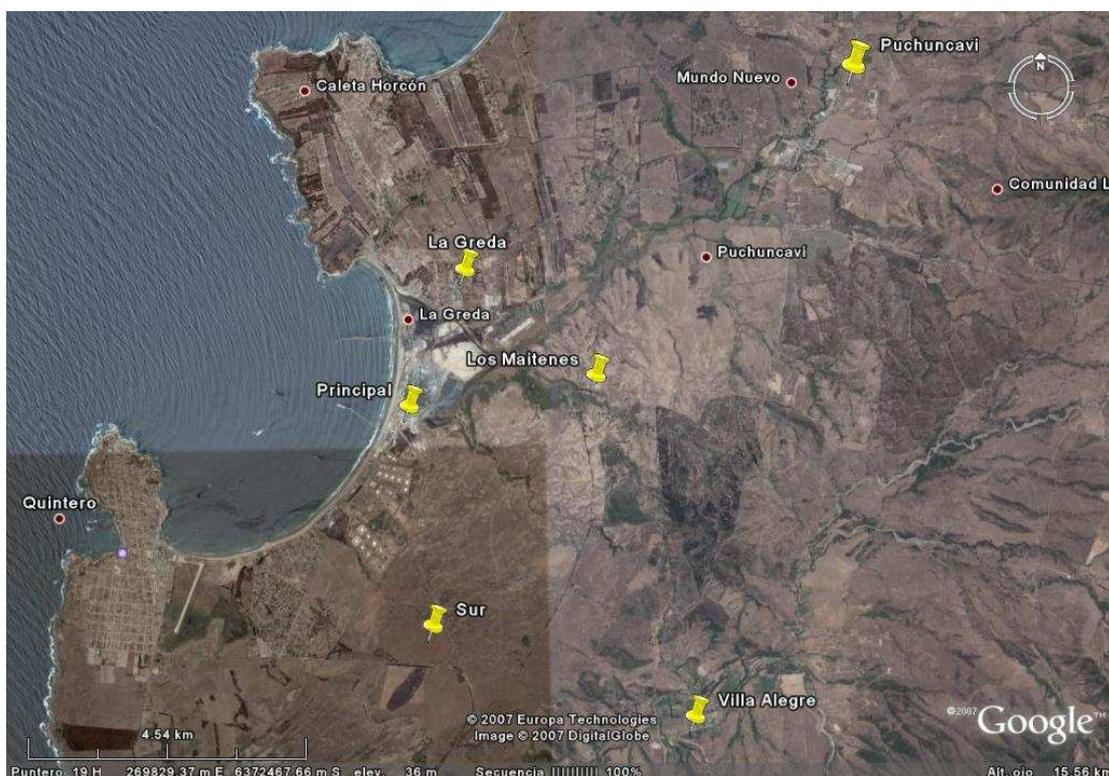


Figura 49: Ubicación de las estaciones de meteorología de la red CDV y AES Gener

**Tabla 221: Parámetros disponibles en las estaciones de meteorología**

<b>Estación</b>	<b>Parámetros disponibles</b>
<b>Principal</b>	Velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión, radiación global y precipitación.
<b>La Greda</b>	Velocidad y dirección del viento
<b>Los Maitenes</b>	Velocidad y dirección del viento
<b>Puchuncavi</b>	Velocidad y dirección del viento
<b>Sur</b>	Velocidad y dirección del viento
<b>Valle Alegre</b>	Velocidad y dirección del viento

### **8.1 Porcentaje de información disponible para el periodo simulado con Calmet.**

Estación La Greda

**Tabla 222: Porcentaje de información disponible**

	<b>WS</b>	<b>WD</b>
<b>Abril</b>	100%	100%
<b>Mayo</b>	100%	100%
<b>Junio</b>	100%	100%
<b>Julio</b>	100%	100%
<b>Agosto</b>	100%	100%
<b>Septiembre</b>	100%	100%
<b>Octubre</b>	99.9%	99.9%
<b>Noviembre</b>	100%	100%

Estación Los Maitenes

**Tabla 223: Porcentaje de información disponible**

	<b>WS</b>	<b>WD</b>
<b>Abril</b>	99.7%	99.7%
<b>Mayo</b>	100%	100%
<b>Junio</b>	100%	100%
<b>Julio</b>	100%	100%
<b>Agosto</b>	100%	100%
<b>Septiembre</b>	100%	100%
<b>Octubre</b>	99.6%	99.6%
<b>Noviembre</b>	99.2%	99.2%

Estación Principal

**Tabla 224: Porcentaje de información disponible**

	<b>WS</b>	<b>WD</b>	<b>TEMP</b>	<b>PRESS</b>	<b>HR</b>	<b>LLUVIA</b>	<b>RAD</b>
<b>Enero</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Febrero</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Marzo</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Abril</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Mayo</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Junio</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Julio</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Agosto</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Septiembre</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Octubre</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Noviembre</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Diciembre</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Estación Puchuncavi

**Tabla 225: Porcentaje de información disponible**

	<b>WS</b>	<b>WD</b>
<b>Abril</b>	99.4%	99.4%
<b>Mayo</b>	100%	100%
<b>Junio</b>	100%	100%
<b>Julio</b>	100%	100%
<b>Agosto</b>	100%	100%
<b>Septiembre</b>	100%	100%
<b>Octubre</b>	99.9%	99.9%
<b>Noviembre</b>	100%	100%

Estación Sur

**Tabla 226: Porcentaje de información disponible**

	<b>WS</b>	<b>WD</b>
<b>Enero</b>	100%	100%
<b>Febrero</b>	99.9%	99.9%
<b>Marzo</b>	99.3%	99.3%
<b>Abril</b>	100%	100%
<b>Mayo</b>	98.8%	98.8%
<b>Junio</b>	100%	100%
<b>Julio</b>	100%	100%
<b>Agosto</b>	99.7%	99.7%
<b>Septiembre</b>	100%	100%
<b>Octubre</b>	99.3%	99.3%
<b>Noviembre</b>	96.8%	96.8%
<b>Diciembre</b>	99.6%	99.6%

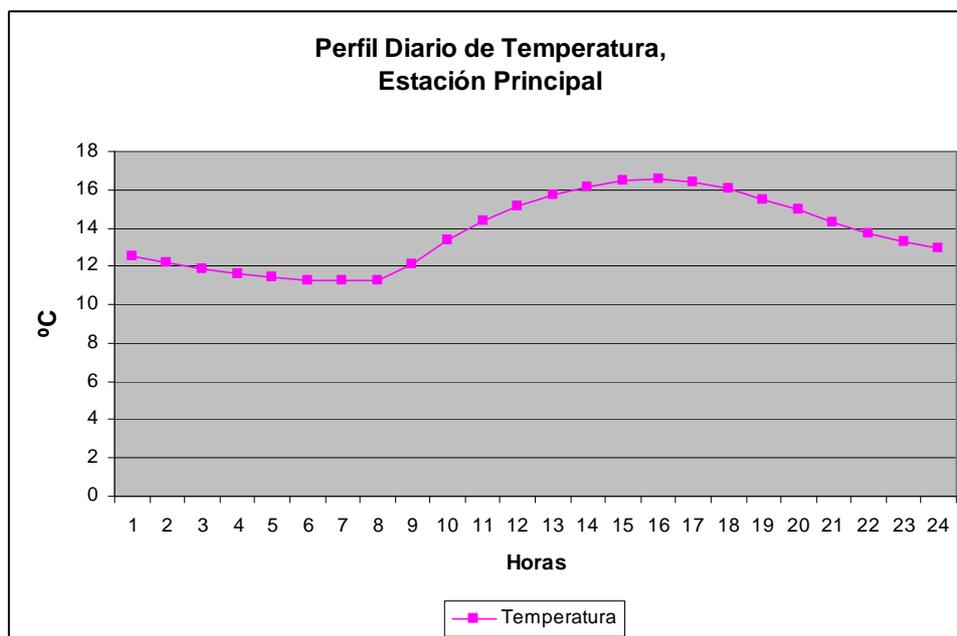
Estación Valle Alegre

**Tabla 227: Porcentaje de información disponible**

	WD	WS
<b>Abril</b>	99.9%	99.9%
<b>Mayo</b>	99.7%	99.7%
<b>Junio</b>	100%	100%
<b>Julio</b>	100%	100%
<b>Agosto</b>	100%	100%
<b>Septiembre</b>	99.9%	99.9%
<b>Octubre</b>	99.3%	99.3%
<b>Noviembre</b>	98.8%	98.8%

## 8.2 Perfil Diario y Anual de Temperatura para la Estación Principal

Se presenta el perfil diario de temperatura de la Estación Principal, como se puede apreciar en la figura el máximo de temperatura se aprecia a las 15 horas aproximadamente con una temperatura promedio de 16°C, mientras que la temperatura mínima es de 11°C aproximadamente.



**Figura 50: Perfil Diario de Temperatura, Estación Principal, año 2006**

En la siguiente figura se presenta el perfil de temperatura anual para la Estación Principal.

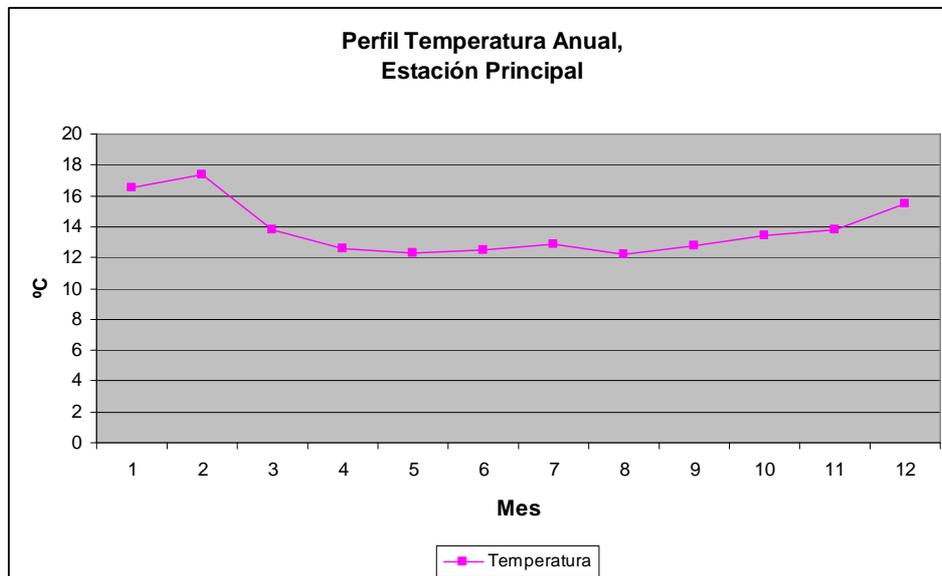


Figura 51: Perfil Anual de temperatura, Estación Principal, año 2006

Se puede apreciar que la temperatura promedio anual se mantiene constante en la época invernal y presenta aumentos a medidas que se acerca a la época de verano.

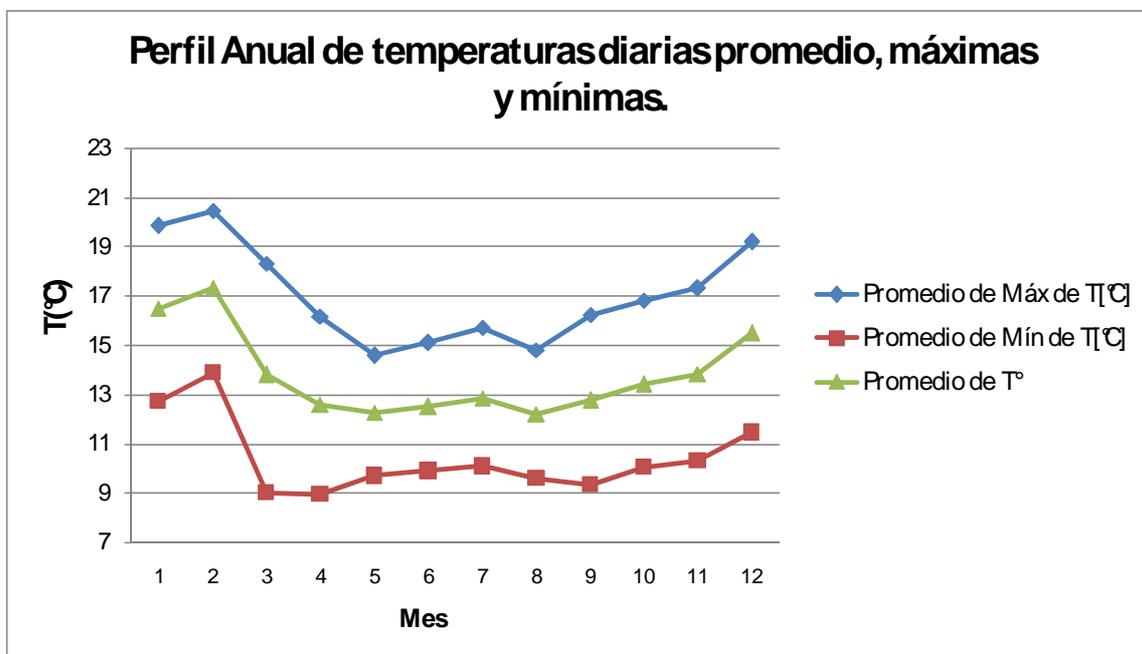
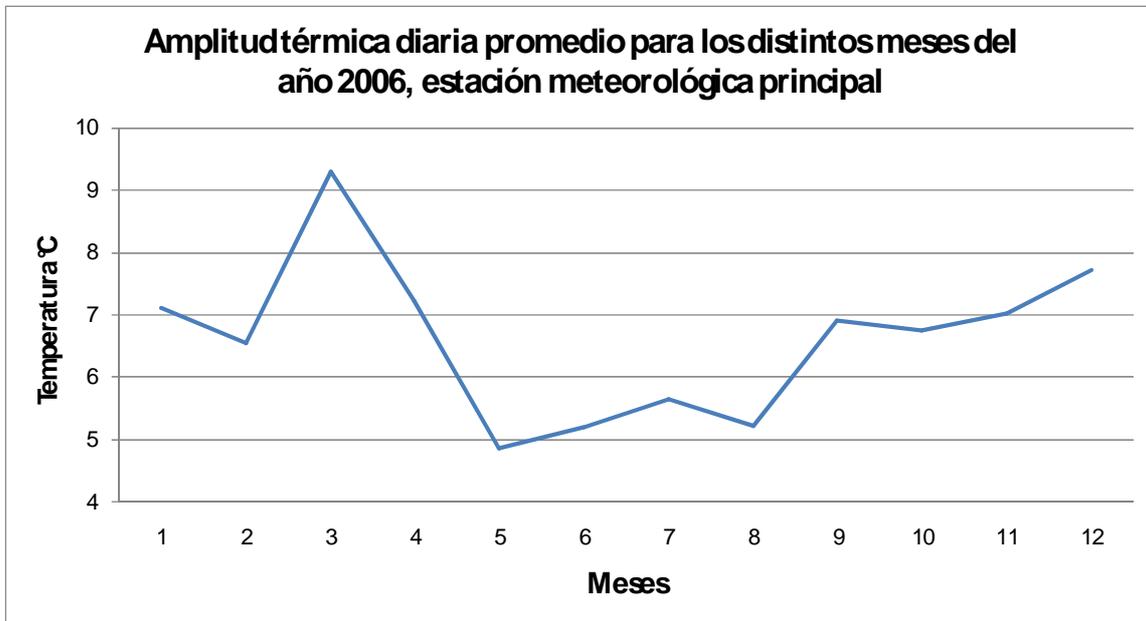


Figura 52: Perfil Anual de temperaturas promedio, máximas y mínimas diarias, Estación Principal, año 2006



**Figura 53: Perfil Anual de amplitudes termicas diarias, Estación Principal, año 2006**

Se puede ver que que en este caso la amplitud térmica diaria promedio es mayor en los meses de verano que en los meses de invierno.

## Perfil Diario y Anual de Velocidad del Viento para la Estación Principal

Se presentan en los gráficos siguientes, como se comporta la velocidad el viento en las estaciones de Ventanas, generando perfiles diarios y anuales.

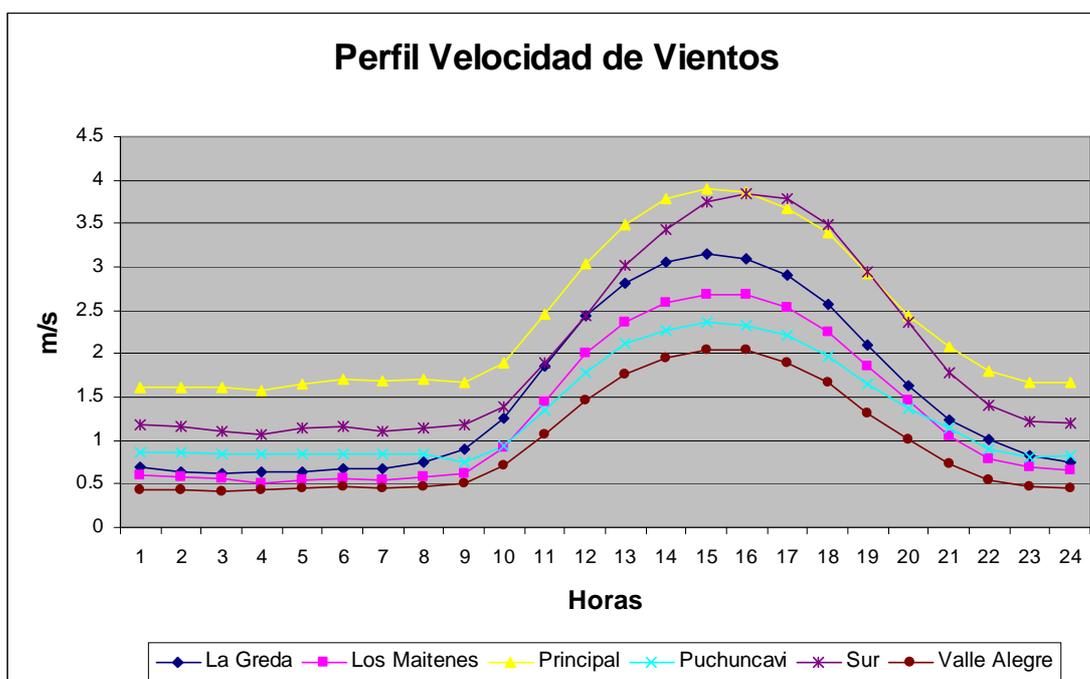


Figura 54: Perfil Diario Velocidades de Vientos, año 2006

Tal como se puede apreciar en la figura 4, las seis estaciones presentan velocidades de vientos que se incrementan a partir de las 10 de la mañana y disminuye a partir de las 21 horas. Los máximos se producen a las 15 horas en todas las estaciones a excepción de la estación Sur que presenta su máximo a las 16 horas.

Es esperable que la estación Principal tenga una mayor velocidad de vientos que las demás estaciones, puesto que presenta condiciones costeras. El resto de las estaciones están ubicadas más al interior, tal como lo muestra la figura 1.

Por otro lado, se puede indicar que todas las estaciones presentan el mismo patrón de comportamiento de vientos en el periodo de 24 horas.

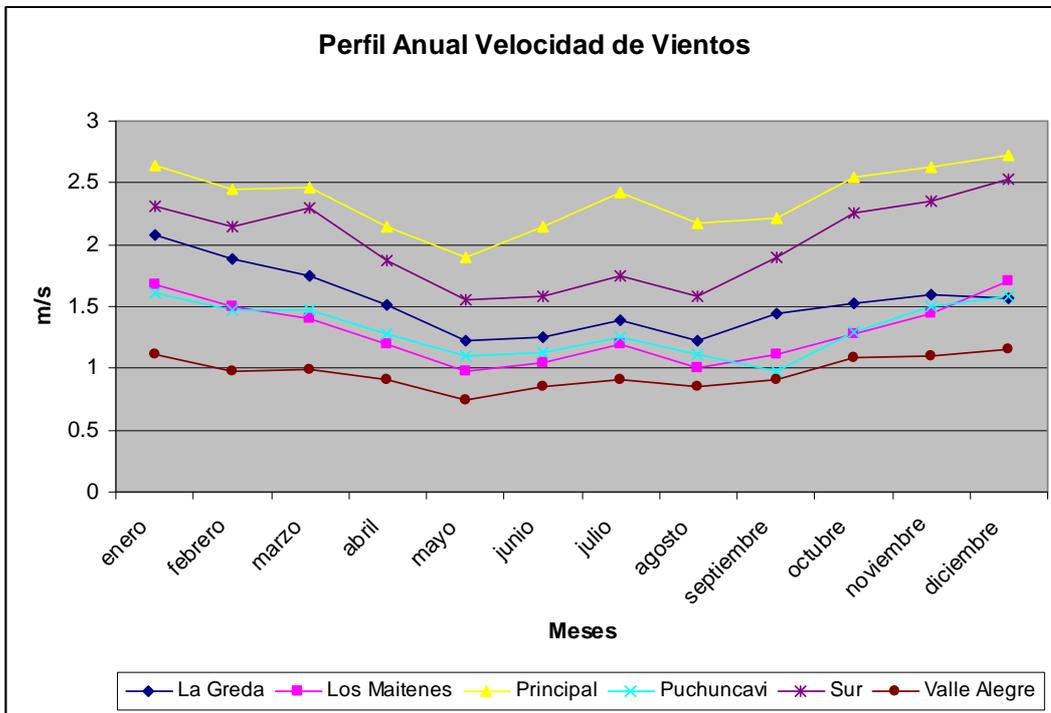


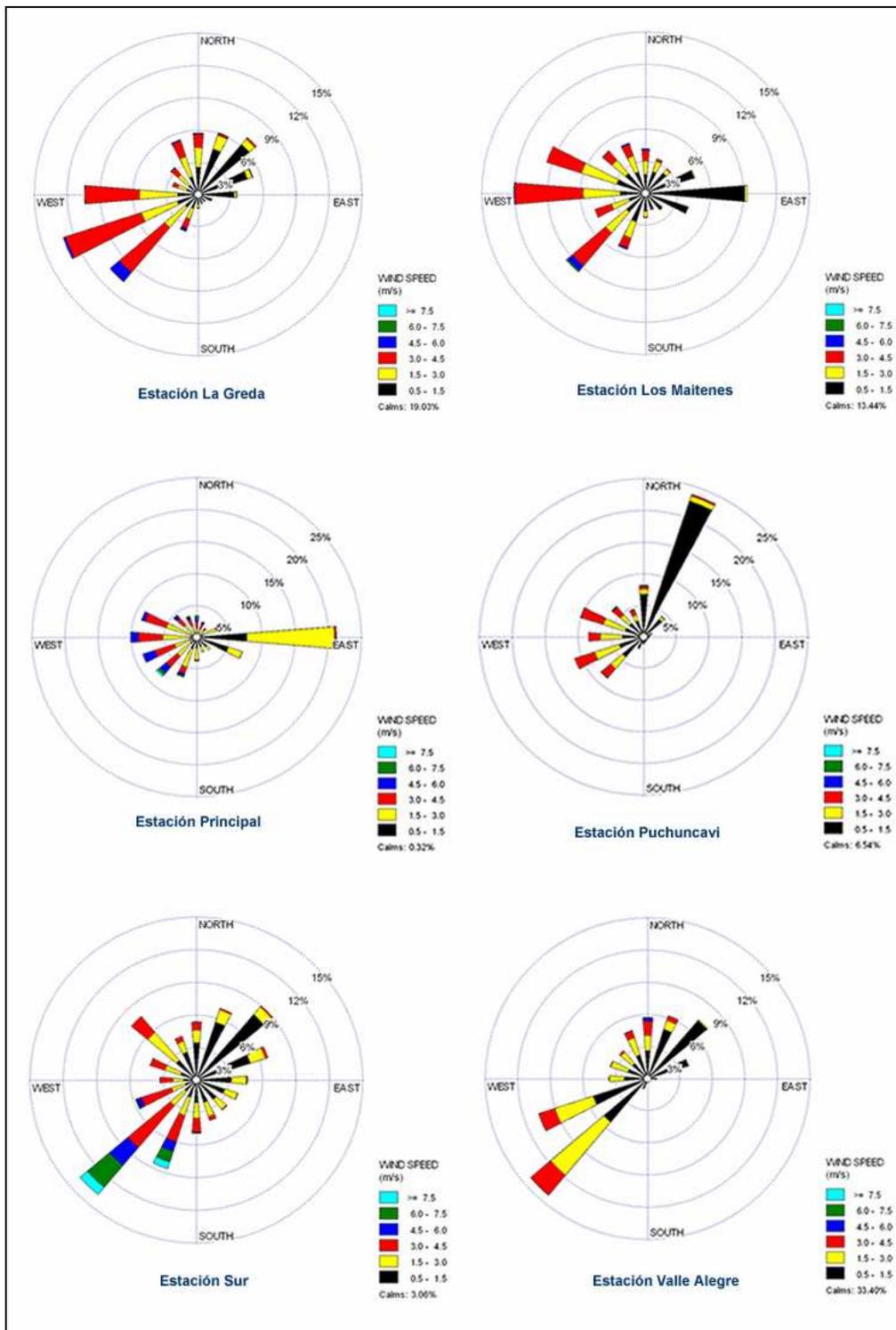
Figura 55: Perfil Anual Velocidades de Vientos (m/s), año 2006

En la figura 5 se presenta el perfil anual de velocidades de vientos para la estación Principal, se puede apreciar que la estación Principal presenta mayores velocidades de vientos en el año, también se puede observar que las estaciones de Los Maitenes y Puchuncavi presentan aproximadamente las mismas velocidades anuales a pesar de que se encuentran en lugares distintos y que presentan además una topografía distinta. En conjunto, todas las estaciones presentan el mismo patrón de comportamiento anual en que la velocidad del viento tiende a ser mayor durante los meses de verano.

### 8.3 Rosas de los Vientos y distribución de frecuencia de la velocidad de los vientos

La rosa de los vientos asigna los vientos de acuerdo a la dirección de donde provienen. En las figuras que se presentan a continuación, se pueden apreciar estas rosas de los vientos para el año 2006 completo para las seis estaciones que presenta la red del complejo industrial CDV y AES Gener. Posteriormente se realiza el mismo análisis para los meses de verano y de invierno.

**Año 2006 completo**



**Figura 56: Distribución de frecuencia Anual de Clases de Vientos**

En la estación La Greda se observa que el viento proviene del sur-oeste, la cual presenta velocidades del orden de 1.5-3.0 m/s. También existe una componente proveniente del oeste y que presenta la misma velocidad de los vientos que vienen del nor-este.

En la estación Los Maitenes presenta tres componentes importantes, una proveniente del oeste, otra del sur-oeste y la otra con dirección oeste, con velocidades hasta 4.5 m/s para la dirección este, hasta 6.0 m/s en la dirección nor-este y hasta 3.0 m/s en la dirección oeste.

En la estación Principal se aprecia una componente principal de orientación oeste con velocidades en los vientos entre 1.5-3.0 m/s. Presenta otras componentes de vientos con velocidades que oscilan entre los 1.6-6.0 m/s pero estas presentan una menor frecuencia.

La estación Puchuncavi presenta una componente predominante proveniente del nor-este con vientos predominantes entre 0.5-1.5 m/s, existen otras componentes de vientos que presentan velocidades mayores pero con una menor frecuencia.

La estación Sur presenta tres componentes marcadas provenientes del sur-oeste, nor-oeste y nor-este.

La estación Valle Alegre presenta dos componentes principales que provienen del sur-oeste y presentan velocidades del orden de 1.5-4.5 m/s en ambas orientaciones.

Se aprecia que las estaciones La Greda, Los Maitenes, Sur y Valle Alegre muestran una dirección de vientos predominante proveniente del sur-oeste, mientras que la dirección predominante para las estaciones Principal y Puchuncavi es este y nor-este respectivamente. La diferencia en el patrón de direcciones de vientos que presentan las estaciones principal y Puchuncavi se explican ya que la primera presenta condiciones costeras mientras que la segunda ya se encuentra más alejada del resto de las estaciones hacia el norte y más cercana a la cordillera de la costa.

Debido a que la estación Principal presenta un componente de viento “este” muy marcado, lo que la diferencia de las otras estaciones meteorológicas se decidió revisarla en más detalle.

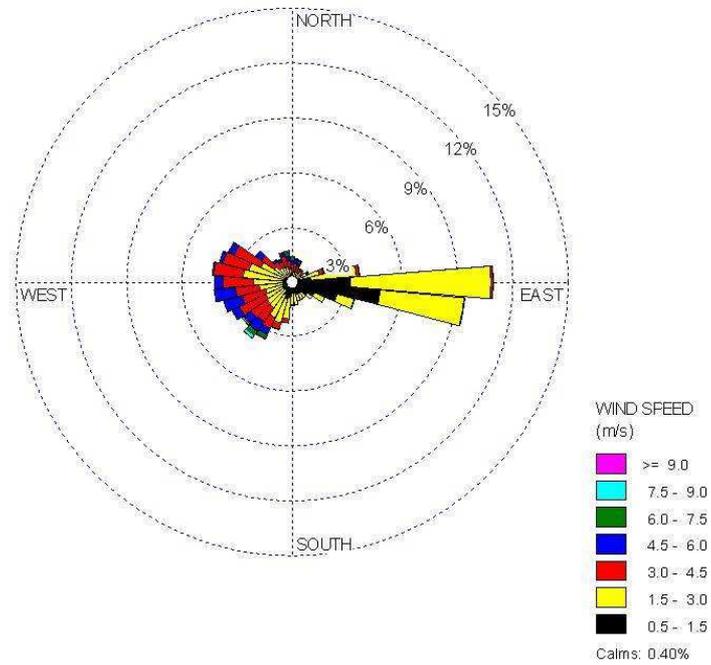


Figura 57: Distribución de frecuencia Anual de Clases de Vientos utilizando más cuadrantes angulares en estación Principal.

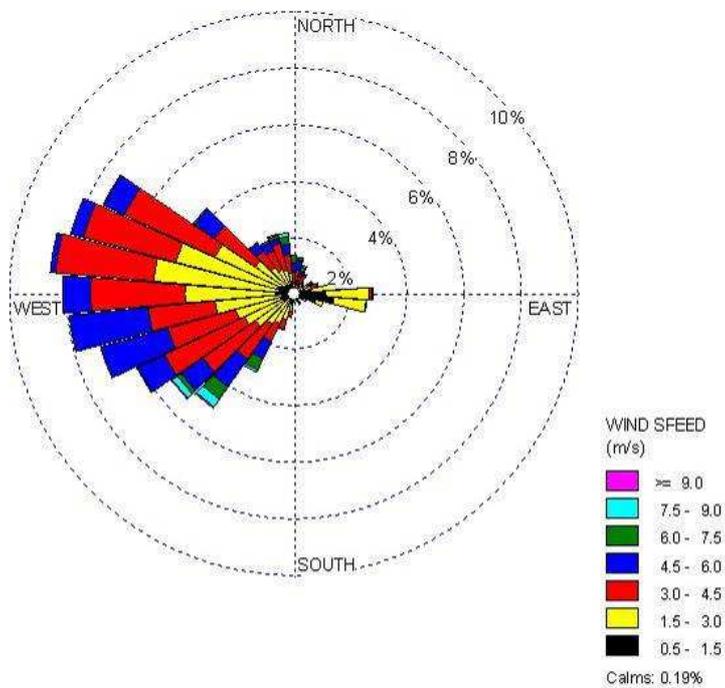


Figura 58: Distribución de frecuencia Anual de Clases de Vientos presentes durante horas del día (9 AM y las 8 PM).

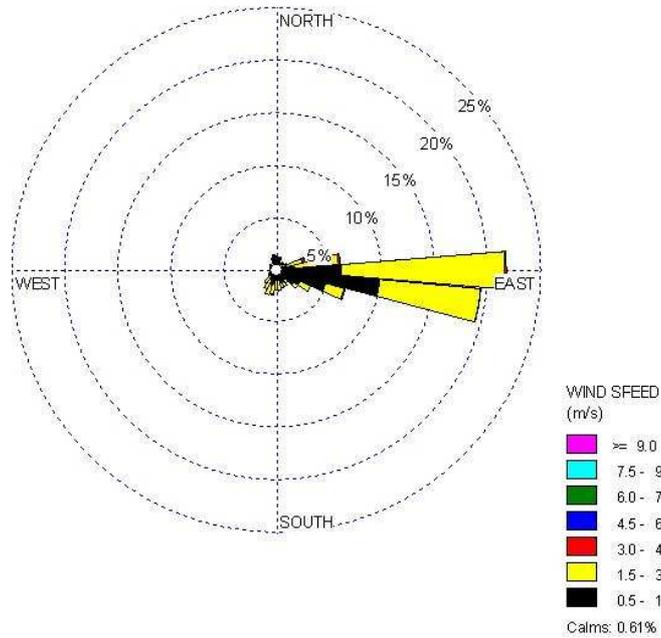


Figura 59: Distribución de frecuencia Anual de Clases de Vientos presentes durante horas de la madrugada (12 AM y las 7 AM).

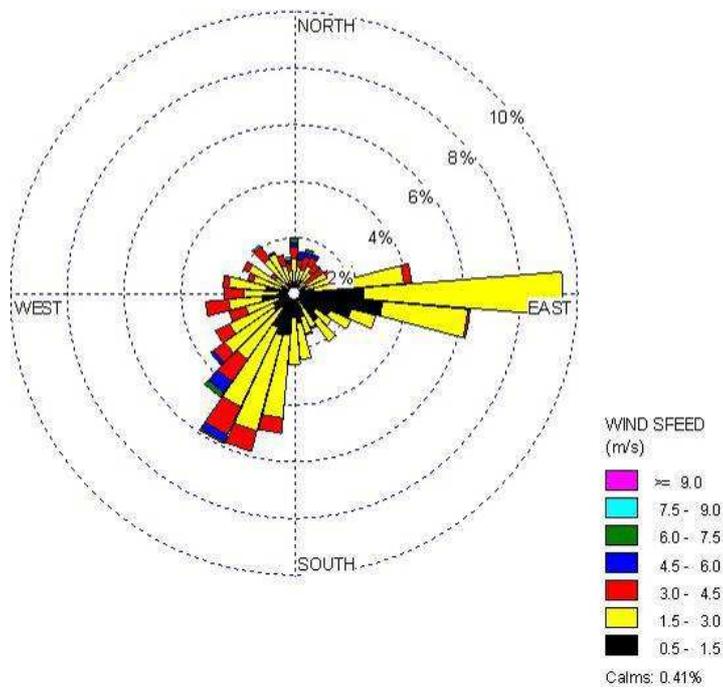


Figura 60: Distribución de frecuencia Anual de Clases de Vientos presentes durante horas de la noche (entre 9 PM y las 12 PM).

Las figuras anteriores muestran que la componente “este” del viento se presenta en horas de la madrugada y de la noche principalmente, lo que se explica debido a la cercanía a la costa de esta estación. Este régimen del viento está dominado por la brisa –continente – mar durante las horas de la noche se explica por la mayor capacidad calórica que presenta el mar respecto al continente, de esta manera las temperaturas superficiales durante horas de la noche y madrugada son más altas sobre el mar que sobre el continente, este genera mayores presiones atmosféricas sobre el continente respecto al mar lo que conlleva a que el viento tenga un desplazamiento desde el continente hacia el mar.

En la siguiente figura se presenta las distribuciones de frecuencia de los vientos para las seis estaciones.

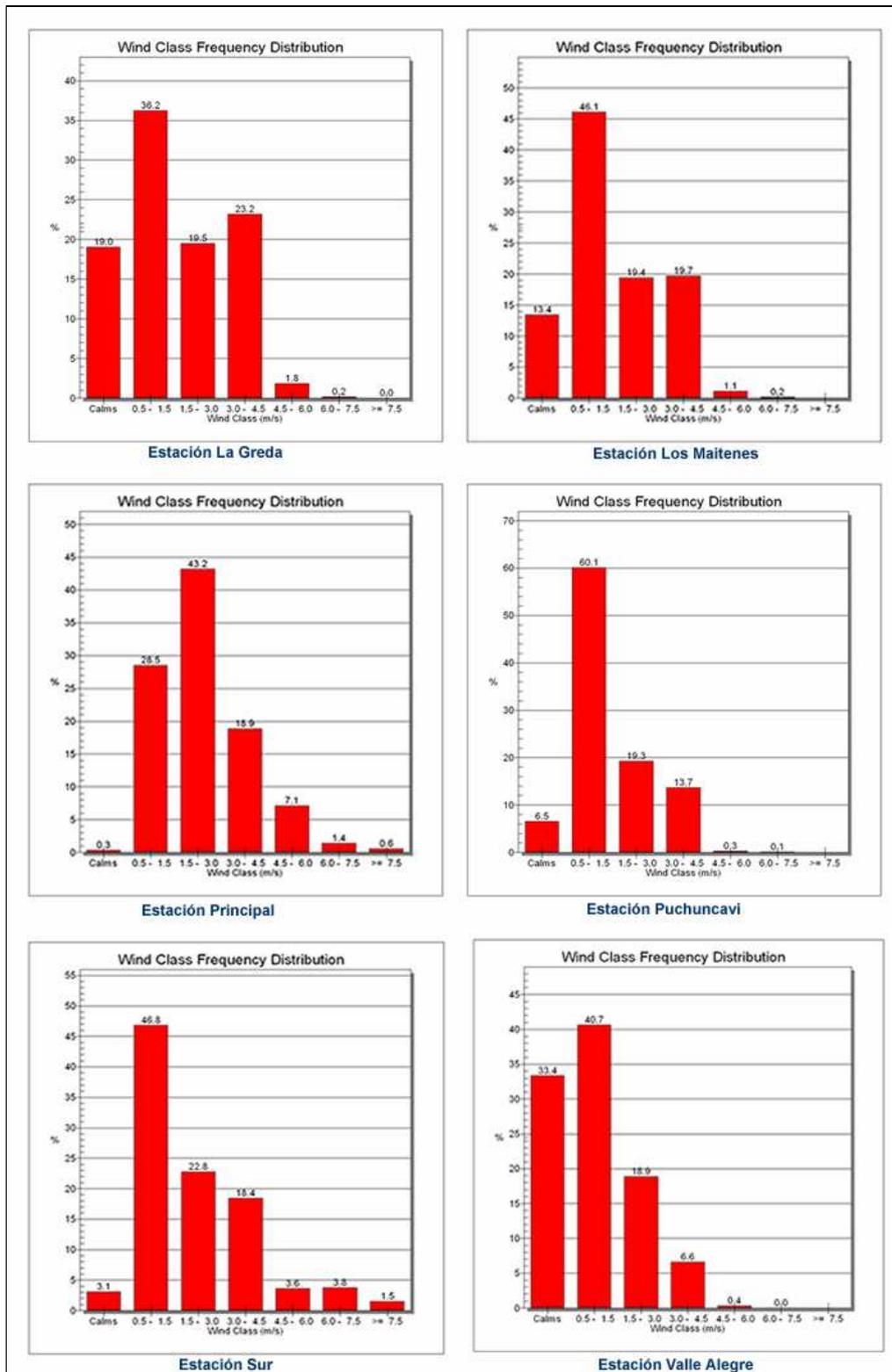


Figura 61: Distribución de frecuencia Anual de Clases de Vientos

En la estación La Greda se puede apreciar del gráfico que los vientos presentan un mayor porcentaje (43%) en velocidades del orden de 0.5-1.5 m/s y presenta cerca de un 20% de calmas.

En la estación Los Maitenes se puede apreciar que hay un 45% de frecuencia la cual presenta una velocidad de 0.5-1.5 m/s, también presenta frecuencias del orden de 19% para velocidades mayores a 1.5 m/s las cuales se pueden apreciar en las rosas de los vientos de la figura anterior.

En la estación Principal se observa que las velocidades de los vientos a 1.5-3.0 m/s presentan un alto porcentaje (43%) como también los vientos con velocidad de 0.5-1.5 m/s que presentan un porcentaje de 27%. Se puede apreciar que las calmas son muy bajas en esta estación.

En la estación Puchuncavi se observa que un 60% de la frecuencia de los vientos presentan velocidades entre 0.5-1.5 m/s

En la estación Sur presenta bajos valores de calmas (3%) y un alto porcentaje de velocidades entre 0.5-1.5 m/s (sobre un 46%).

En la estación Valle Alegre se observa que presenta un porcentaje alto (33%) de calmas y un porcentaje de un 40% de vientos con velocidades entre 0.5-1.5 m/s.

Como se puede apreciar, prácticamente todas estaciones presentan vientos predominantes con velocidades del orden de 0.5-1.5 m/s.

## Período de Verano

En la siguiente figura, se muestra el comportamiento del viento en la temporada de verano para las seis estaciones.

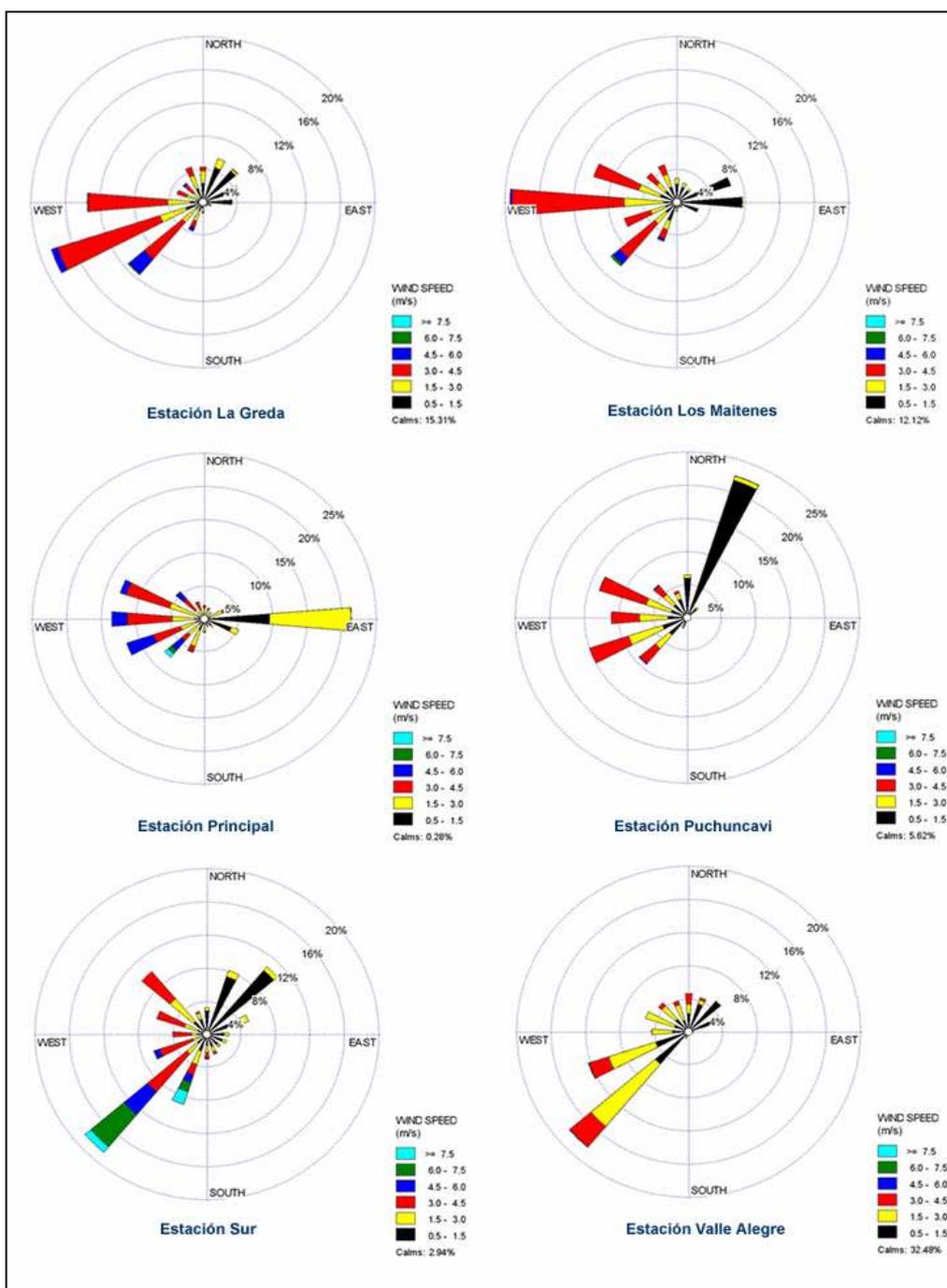


Figura 62: Distribución de frecuencia estación de Verano de Clases de Vientos

Para el periodo de verano, la estación La Greda y Los Maitenes presentan similares direcciones de vientos. La estación La Greda presenta un fuerte componente proveniente del sur-oeste con velocidades entre 3.0 – 4.5 m/s.

Para la estación Los Maitenes, ésta presenta un marcado componente proveniente del oeste con velocidades de los vientos entre 3.0 – 4.5 m/s.

La estación Principal, presenta una fuerte componente proveniente del este y también presenta componentes proveniente del oeste. La componente este tiene velocidades entre 0.5 – 1.5 y 1.5 – 3.0 m/s que tienen un alto porcentaje.

La estación Puchuncaví presenta un marcada componente proveniente del nor-este con velocidades predominantes de 0.5 – 1.5 m/s, también presenta otra componentes pero con una menor frecuencia.

La estación Sur presenta una componente principal sur-oeste y unas componentes secundarias de viento que proviene del nor-este y nor-oeste. La velocidad del viento para la componente sur-oeste se encuentra marcada por vientos mayores a 3.0 m/s.

La estación Valle Alegre presenta vientos predominantes que vienen del sur-oeste, en la cual prevalecen vientos con velocidades entre 1.5-4.5 m/s, las demás componentes son pequeñas y por ende no prevalecen.

Los patrones de dirección de los vientos son bastante parecidos al promedio anual pero como se puede ver más adelante no son tan parecidos con respecto a los meses de invierno.

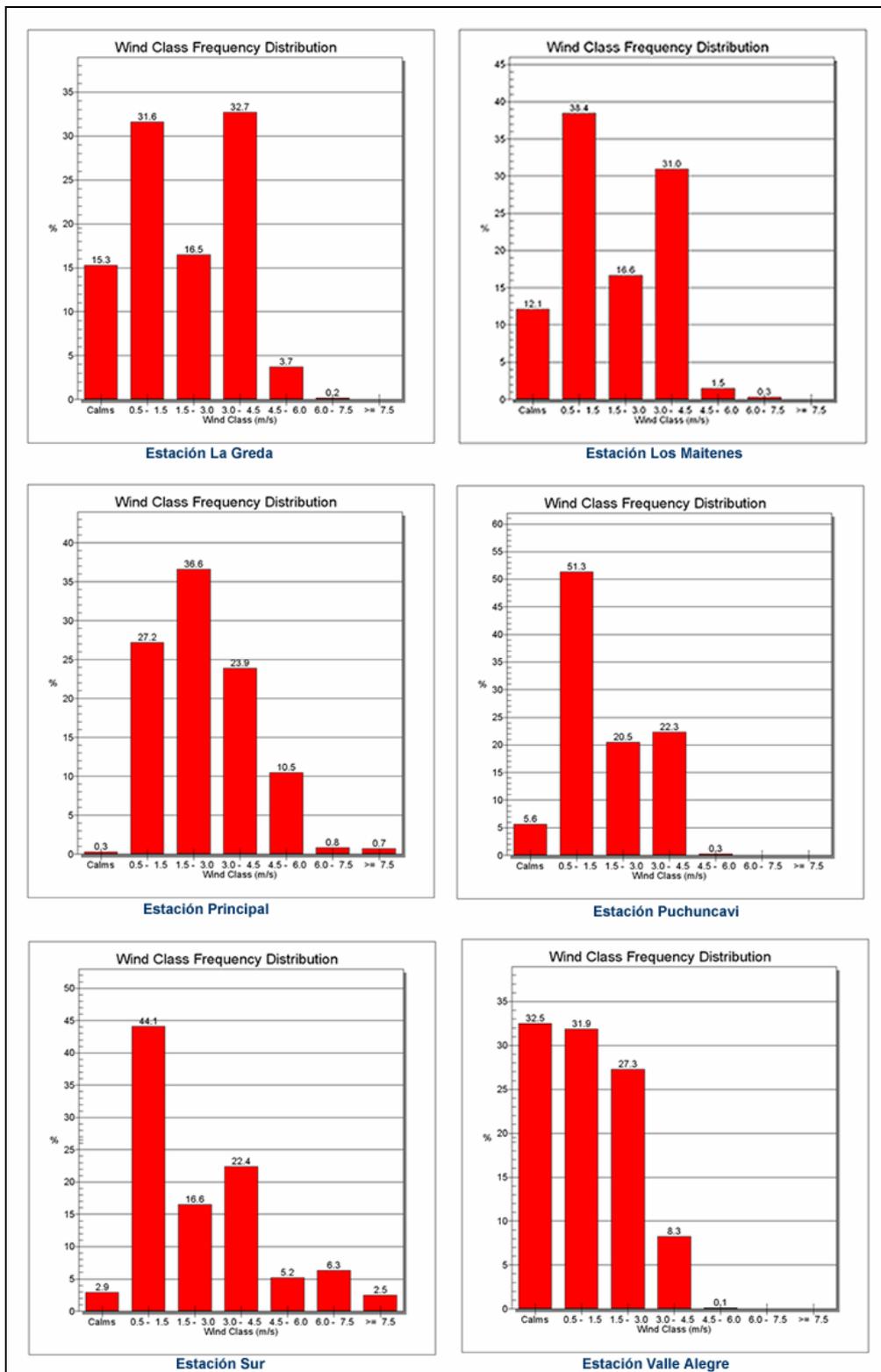


Figura 63: Distribución de frecuencia de Clases de Vientos, época de verano.

En la estación La Greda se puede observar que hay dos frecuencias predominantes de velocidades de vientos con valores de 0.5-1.5 m/s y 3.0-4.5 m/s respectivamente, la primera velocidad representa un 31% mientras que la segunda representa un 32%, el resto del porcentaje corresponde a calmas y vientos con otras velocidades.

En la estación Los Maitenes también se presentan dos frecuencias predominantes de velocidades de vientos que presentan los mismos valores que la estación La Greda pero con porcentaje distintos a las mencionadas los cuales son 38% y 31% respectivamente, el resto corresponde a calmas y vientos que tienen otras velocidades.

En la estación Principal se observa una velocidad predominante entre 1.5-3.0 m/s que representa el 36% y otras dos velocidades que presentan los siguientes porcentajes 27% y 23% respectivamente. Estos porcentajes representan velocidades entre 0.5-1.5 m/s y 3.0-4.5m/s respectivamente. Además presenta un porcentaje muy pequeño de calmas cercano al 0.3%.

En la estación Puchuncavi se observa una velocidad predominante con vientos entre 0.5-1.5 m/s y presenta un porcentaje de un 51%. Las calmas solo representan un 5% aproximadamente. El resto de las velocidades de los vientos representa el 49% restante para esta estación.

En la estación Sur los vientos que presentan mayor porcentaje (44.1%) son los vientos que presentan velocidad entre 0.5-1.5 m/s. existen otras componentes que corresponden a velocidades que se encuentran entre 1.5-3.0 y 3.0-4.5 m/s respectivamente, la cual presenta porcentajes de 16% y 22% respectivamente. Los vientos que presentan calma representan un menor porcentaje.

En la estación Valle Alegre existen dos componentes marcadas de velocidad de vientos que se encuentran entre los 0.5-1.5 y 1.5-3.0 m/s respectivamente y presentan porcentajes del orden de 32% y 27% respectivamente. Esta estación presenta un alto porcentaje, del orden de 33%, de calmas, que predominan las calmas en esta estación.

## Período de Invierno

En la siguiente figura, se muestra el comportamiento del viento en la temporada de invierno para las seis estaciones.

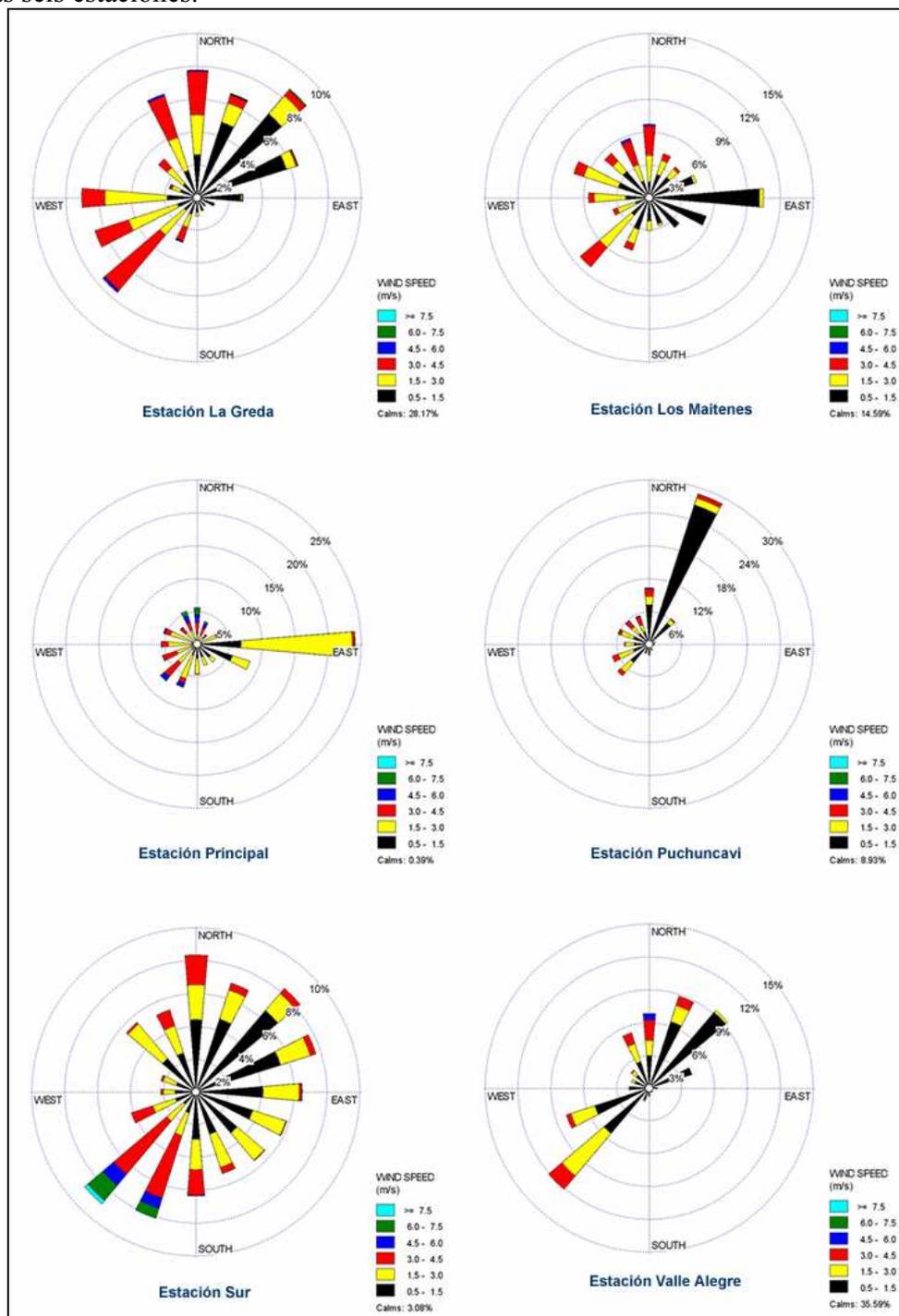


Figura 64: Distribución de frecuencia estación de Invierno de Clases de Vientos

En la estación La Greda en la temporada de invierno no presenta componentes principales marcadas en la dirección del viento como en la temporada de verano, no obstante, se puede apreciar tres conjuntos de componentes, el primer conjunto proviene del sur-oeste, el segundo conjunto corresponde a una componente norte y el tercer presenta un componente nor-este con vientos que presentan una velocidad de 1.5-3.5 m/s para el caso de las direcciones sur-oeste y norte y de 0.5-1.5 m/s para el caso del viento nor-este.

En la estación Los Maitenes se aprecia viento este, con velocidades del orden de 0.5-1.5 m/s, existe otra componente de viento sur-oeste y que presenta velocidades del orden de 1.5-3.0 m/s.

En la estación Principal se aprecia que la componente principal del viento se orienta proviene del este con velocidades del orden 1.5-3.0 m/s.

En la estación Puchuncaví se aprecia una única componente de viento que proviene del nor-este la cual presenta una velocidad del orden de 0.5-1.5 m/s.

En la estación Sur se presenta una situación de desorden las direcciones de los vientos, existen componentes de viento prácticamente en todos los sentidos no se aprecia plenamente si hay alguna orientación predominante en esta estación, no obstante, se presentan velocidades del orden de 1.5-4.5 m/s para las distintas orientaciones de la dirección del viento.

En la estación Valle Alegre se puede observar que existen dos componentes de orientación sur-oeste y nor-este las cuales presentan una velocidad del orden de 0.5-4.5 m/s y del orden 0.5-1.5 m/s respectivamente.

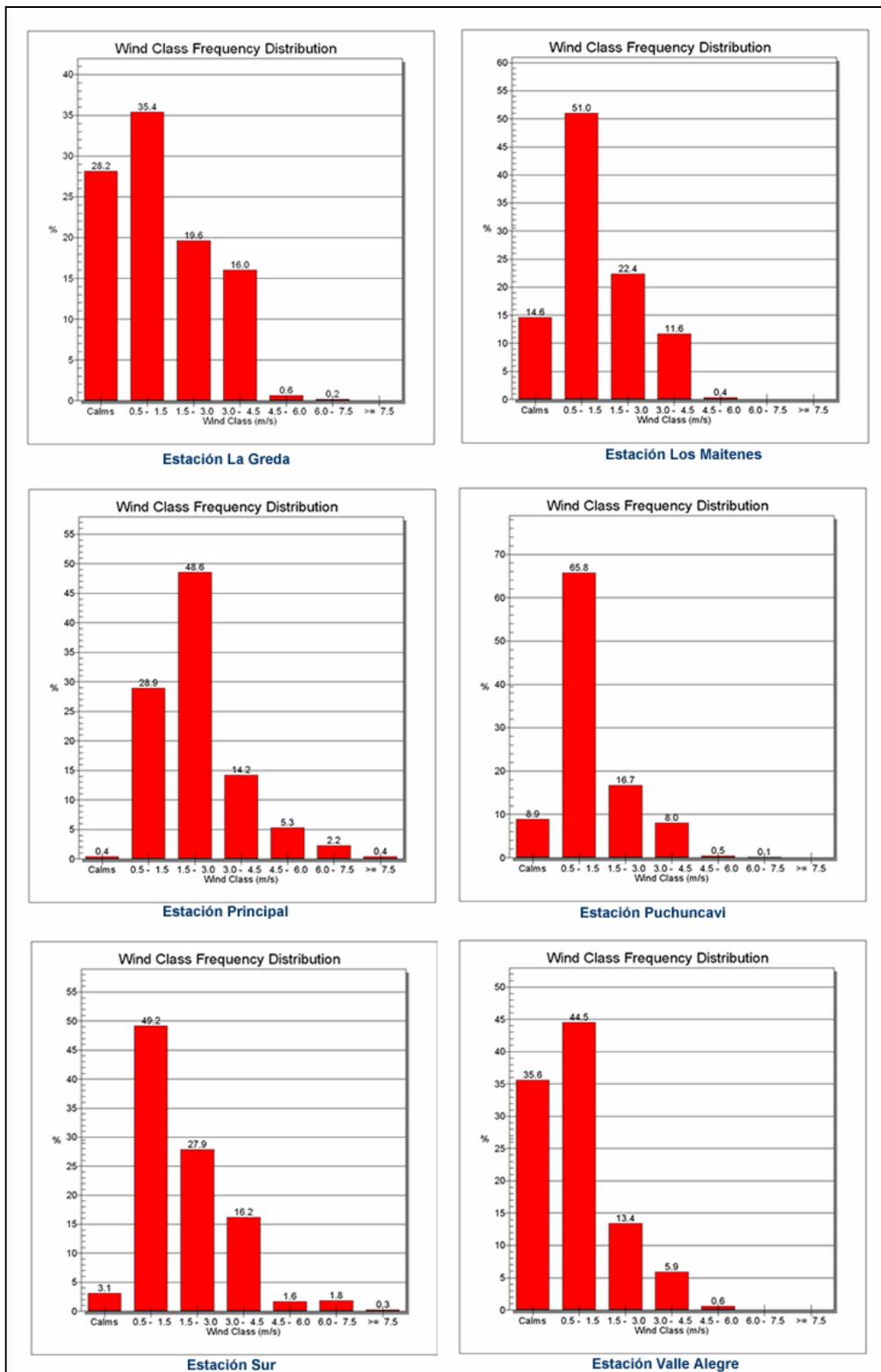


Figura 65: Distribución de frecuencia de Clases de Vientos, época de invierno.

En la estación La Greda se puede observar que una velocidad de viento predominante de con valores de 0.5-1.5 m/s, la velocidad representa un 35%, el resto del porcentaje corresponde a calmas con 28% y vientos con otras velocidades y que presentan menores porcentajes.

En la estación Los Maitenes se presentan una velocidad de viento predominante, ésta presenta un porcentaje de 51% para vientos con velocidades del orden de 0.5-1.5 m/s, el resto corresponde a calmas y vientos que tienen otras velocidades.

En la estación Principal se observa una velocidad predominante entre 1.5-3.0 m/s que representa el 48% y otras dos velocidades que presentan los siguientes porcentajes 28% y 14% respectivamente. Estos porcentajes representan velocidades entre 0.5-1.5 m/s y 3.0-4.5m/s respectivamente. Además presenta un porcentaje muy pequeño de calmas cercano al 0.4%.

En la estación Puchuncavi se observa una velocidad predominante con vientos entre 0.5-1.5 m/s y presenta un porcentaje de un 65%. Las calmas solo representan un 8% aproximadamente. El resto de las velocidades de los vientos representa el 27% restante para esta estación.

En la estación Sur los vientos que presentan mayor porcentaje (49%) son los vientos que presentan velocidad entre 0.5-1.5 m/s. existen otras componentes que corresponden a velocidades que se encuentran entre 1.5-3.0 y 3.0-4.5 m/s respectivamente, la cual presenta porcentajes de 27% y 16% respectivamente. Los vientos que presentan calma representan un menor porcentaje con un 3%

En la estación Valle Alegre existen dos componentes marcadas de velocidad de vientos que se encuentran entre los 0.5-1.5 y 1.5-3.0 m/s respectivamente y presentan porcentajes del orden de 44.5% y 13% respectivamente. Esta estación presenta un alto porcentaje, del orden de 35% de calmas. En esta estación predominan los vientos con velocidades entre 0.5-1.5 m/s en la época de invierno.

#### **8.4 Información superficial adicional**

Para el caso de cobertura y altura de nubes se obtuvo información satelital desde uno de los sitios web de la NASA, proyecto MODIS.

## 8.5 Información en altura.

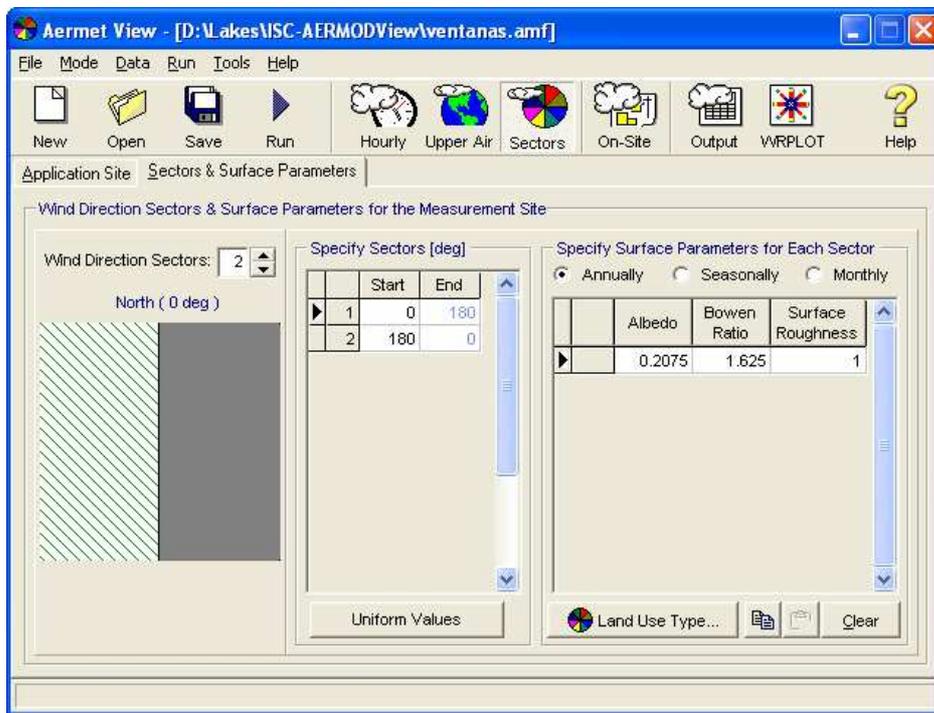
Tabla 228: Ubicación radiosondeos disponibles en Chile (WGS84)

Radiosondeos	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Latitud	Longitud
<b>Santo Domingo</b>	257197	6279125	-33.60	-71.62
<b>Antofagasta</b>	352192	7741772	-20.42	-70.42
<b>Puerto Montt</b>	155935	5406804	-41.42	-73.12

En AERMET se trabajó exclusivamente con información en altura obtenida del Radio Sondeo de Santo Domingo. En el caso de CALMET solo en algunos casos se complemento con Antofagasta, ya que CALMET no acepta valores perdidos dentro del período de simulación y necesita dos radiosondeos diarios como mínimo.

### **Dominio, topografía y usos de suelo.**

Tanto para AERMOD como para CALPUFF el dominio y topografía utilizados son los mismos. Este no es el caso del uso de suelo ya que AERMOD solo permite especificar el uso de suelo por sectores angulares relativos a la ubicación de la estación meteorológica utilizada tal como se indica en la siguiente imagen. Para nuestro caso se especifico uso de suelo de tipo industrial en el lado oriente de la estación meteorológica principal de Codelco Ventanas y mar en el sector poniente del dominio.



**Figura 66: Distribución de usos de suelo configurado en AERMOD. (En plomo el sector industrial y en verde el mar).**

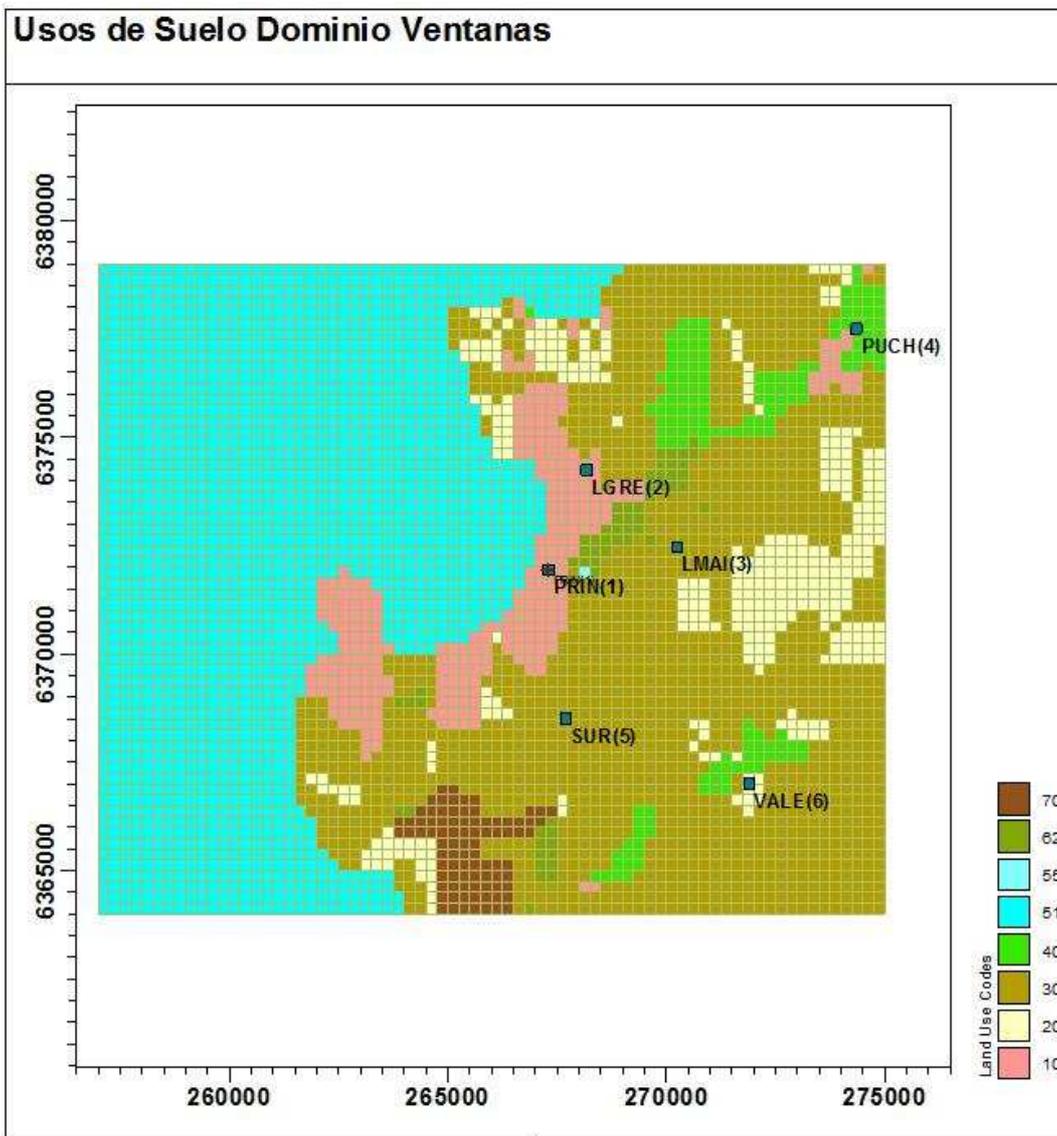


Figura 67: Distribución de usos de suelo configurado en Calpuff. (Fuente CONAMA ).

Tabla 229: Códigos de uso de suelo

Código	Uso de Suelo
70	Tierra Baldía
62	Humedales
55	Cuerpo de Agua
51	Cuerpo de Agua
40	Bosques
30	Praderas
20	Agrícola
10	Urbano e Industrial

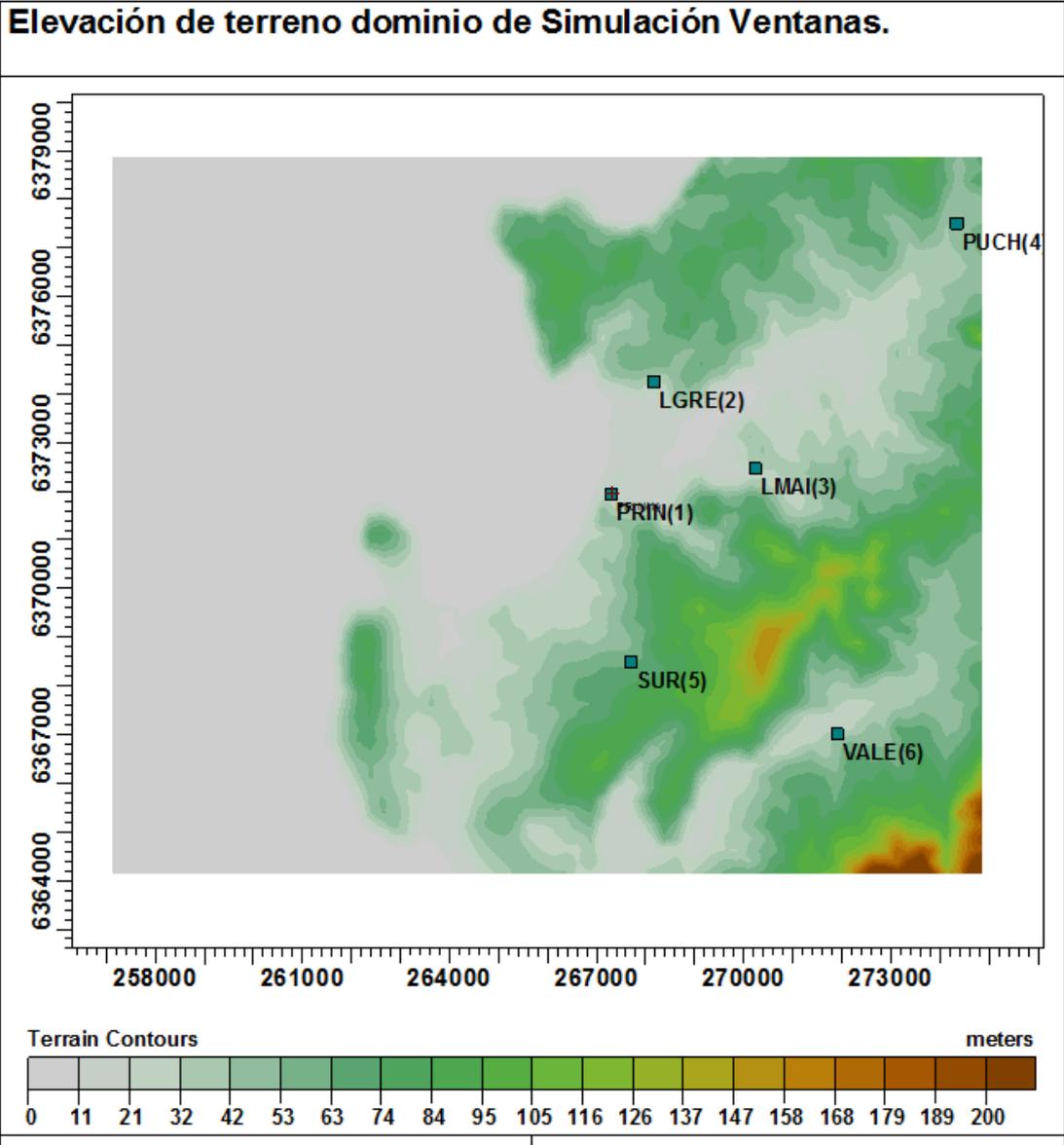


Figura 68: Topografía dominio de simulación (Fuente: Nasa Shuttle Radar Topography Mission)<sup>35</sup>

<sup>35</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

### Topografía área de simulación en Ventanas

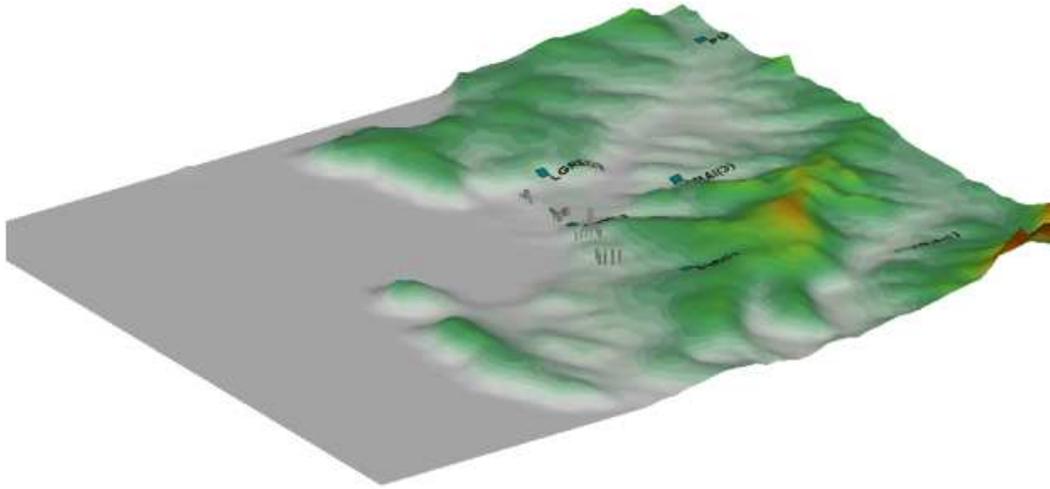


Figura 69: Topografía dominio de simulación (Fuente: Nasa Shuttle Radar Topography Mission)<sup>36</sup>

<sup>36</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

## **9 Simulación meteorológica realizada con AERMET para AERMOD**

El modelo AERMET genera campos de meteorológicos espacialmente homogéneos debido a que el modelo solo utiliza una estación meteorológica superficial y una estación meteorológica de altura.

Se simuló el año 2006 completo considerando dos versiones distintas de meteorología, en la primera simulación se utilizó la información superficial de la estación “Principal” y para la segunda versión se utilizó la estación Sur, para ambos casos la información en altura fue obtenida del radiosondeo de la estación Santo Domingo de la página web de la Universidad de Wyoming.

La razón de modelar dos versiones distintas utilizando estaciones diferentes es el que si viene cierto que la estación Principal se encuentra en las mismas instalaciones de Codelco Ventanas, esta estación presenta condiciones meteorológicas costeras y como se puede ver en el análisis del capítulo anterior las velocidades de los vientos son más altas en esta estación con respecto a las velocidades medidas en las otras estaciones disponibles y la dirección de los vientos presenta un patrón que es bastante distinto al de todas las otras estaciones. Se decidió realizar una segunda versión con meteorología de la estación Sur ya que esta presenta un patrón de velocidad y dirección de vientos que tiene cierta similitud al resto de las estaciones.

## 10 Simulación meteorológica realizada con CALMET para CALPUFF

Debido a que el modelo CALMET puede utilizar más de una estación meteorológica, se utilizaron las seis estaciones que forman parte de la red meteorológica Ventanas, las cuales ya se enumeraron antes en este informe. La información en altura fue obtenida también del radiosondeo de Santo Domingo. Pero Calmet a diferencia de AERMET necesita dos radiosondeos diarios, esta frecuencia de radiosondeos solo estaba disponible entre los meses de Abril y Noviembre del año 2006. Por esta razón se simuló el período que va de Abril a Noviembre del 2006.

**Tabla 230: Dominio utilizado en Calmet, celdas de resolución de 500 x 500 metros.**

	WGS84 Huso-19	
	X-UTM (Metros)	Y-UTM (Metros)
S-P	257000	6364000
N-O	275000	6379000
Metros	18000	15000
Celdas	36	30

**Tabla 231: Niveles utilizados en CALMET, sobre la altura del suelo.**

	Caras superiores
Niveles	Altura (metros)
0	0
1	20
2	40
3	80
4	160
5	320
6	1000
7	1500
8	2000
9	2700

Para obtener los niveles medios de los niveles es necesario promediar las caras de las celdas, es decir los niveles serían: 10, 30, 60, 120, 240, 660, 1250, 1750 y 2350 metros de altura sobre el suelo.

### 10.1 Análisis campo meteorológico simulado con CALMET

## Alturas de mezcla en Codelco Ventanas

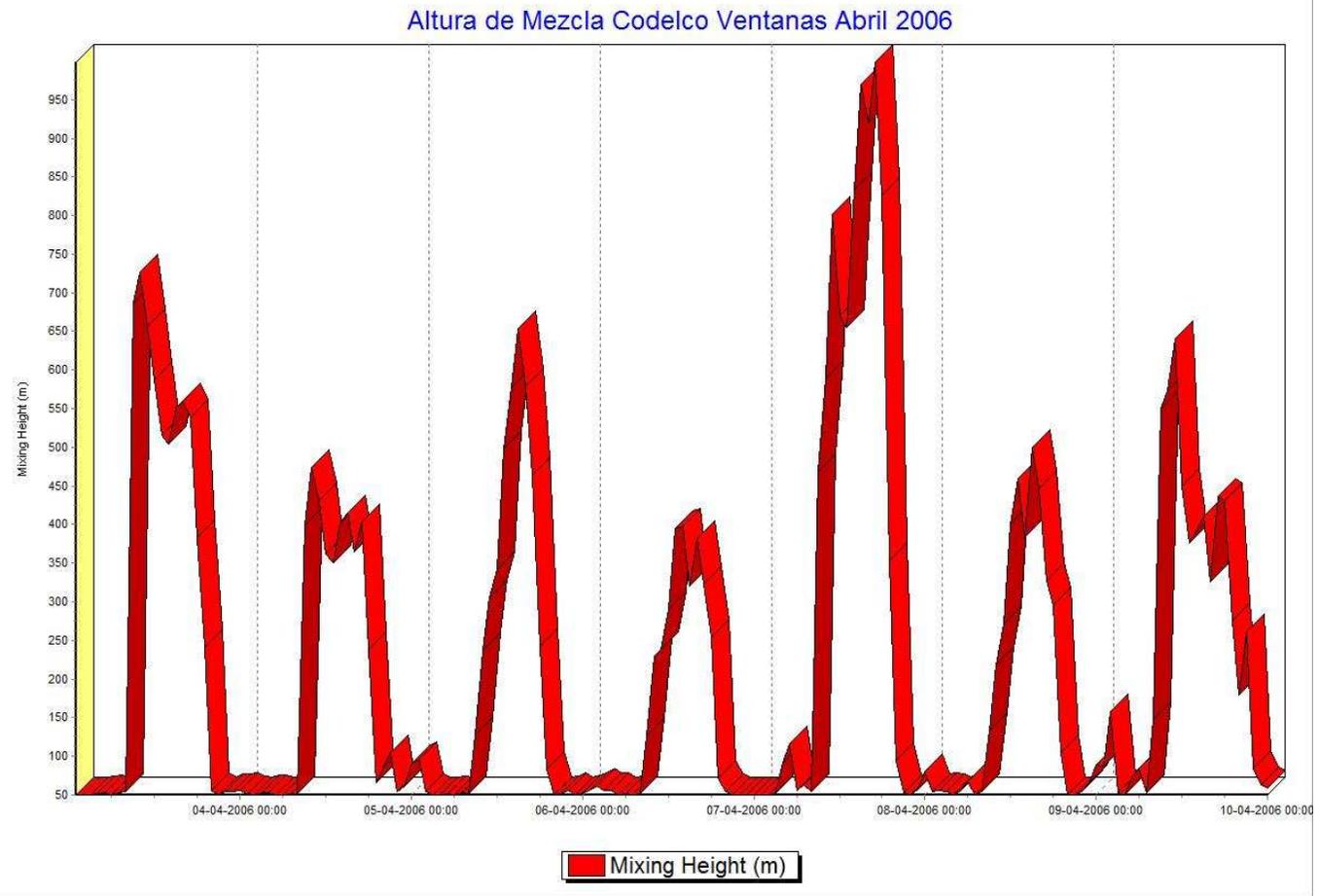


Figura 70: Altura de Mezcla Codelco Ventanas algunos días de Abril 2006

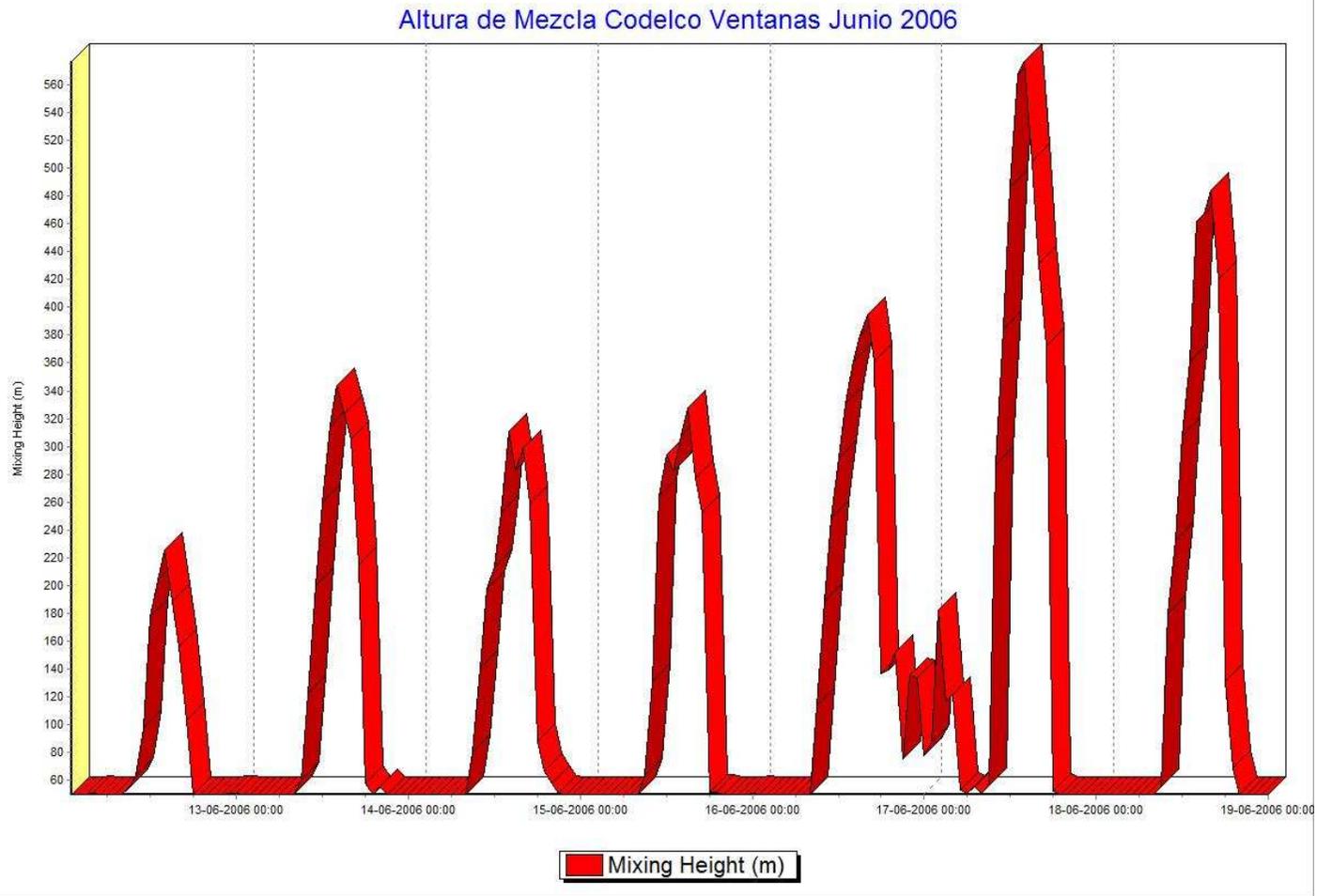


Figura 71: Altura de Mezcla Codelco Ventanas algunos días de Junio 2006

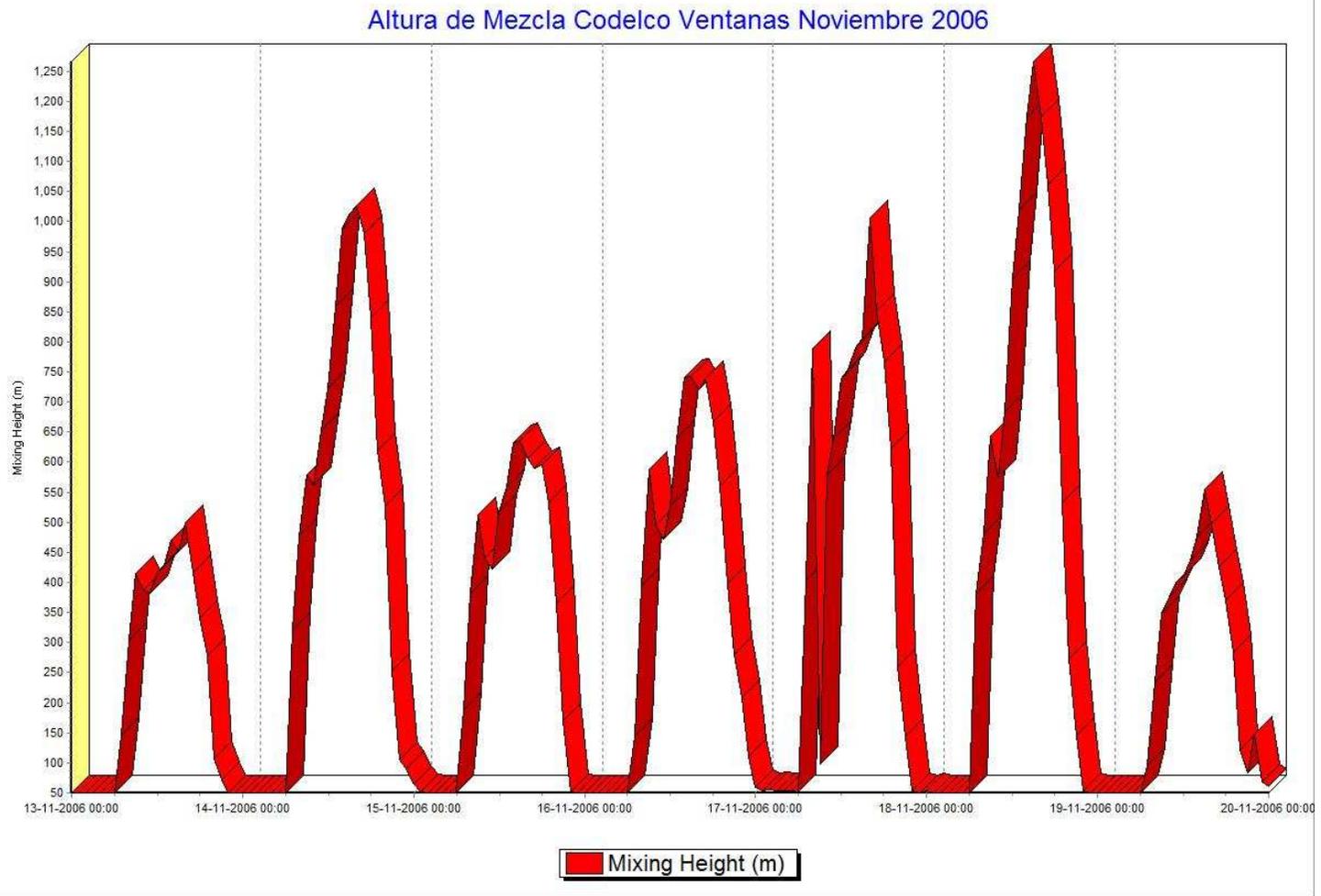
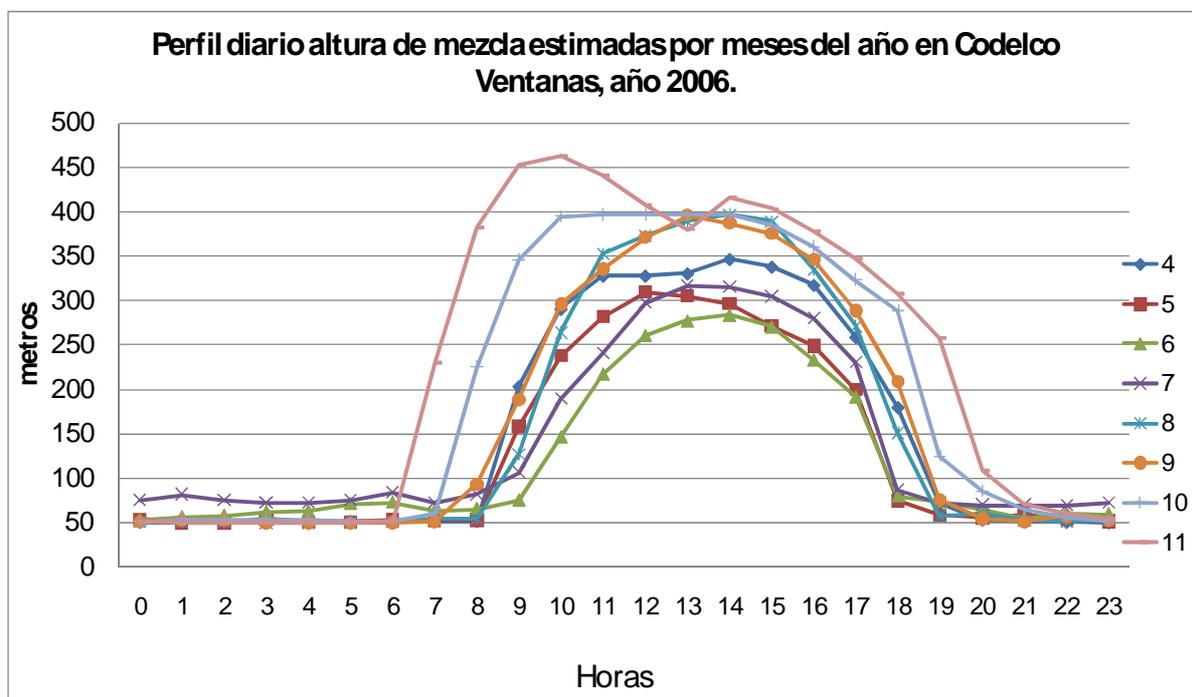


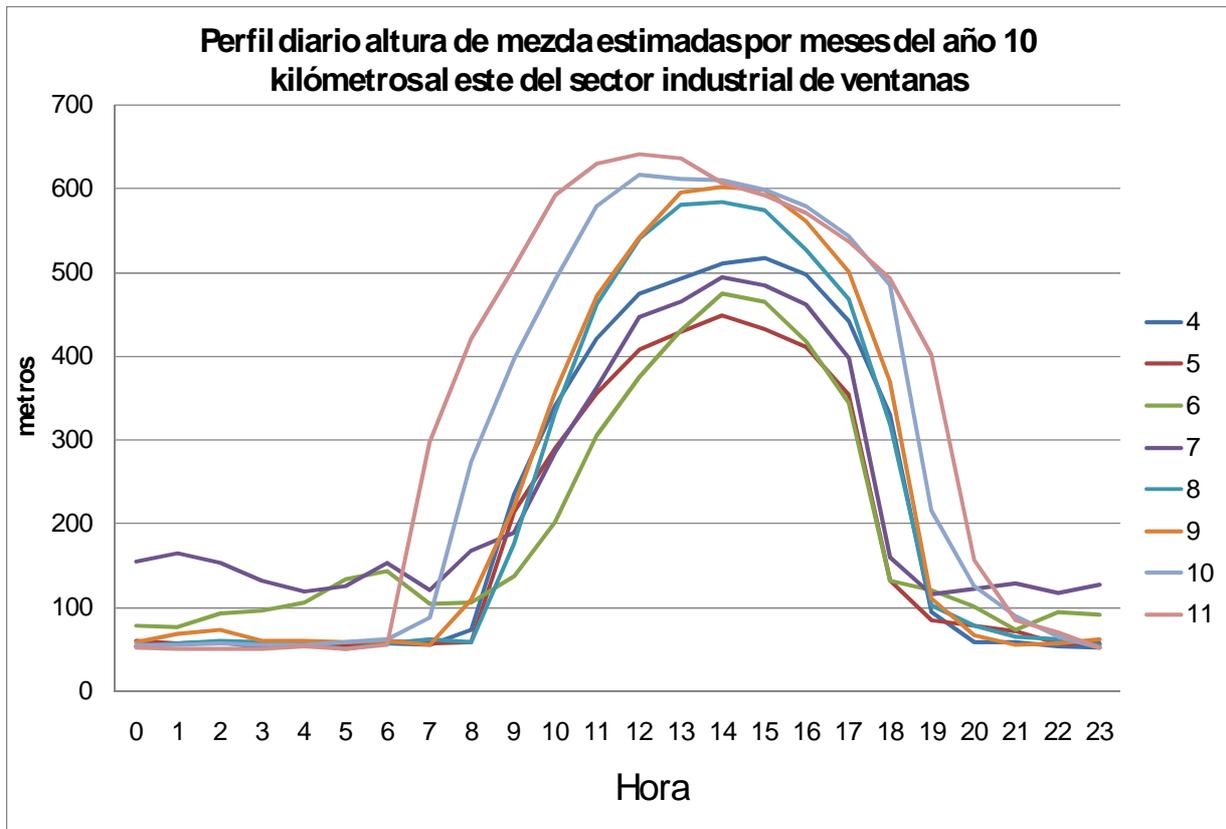
Figura 72: Altura de Mezcla Codelco Ventanas algunos días de Noviembre 2006



**Figura 73: Perfil Diario Promedio Altura de Mezcla zona del complejo industrial de Ventanas año 2006**

La figura anterior muestra los perfiles diarios promedio por mes del año, existe un máximo en horas de la tarde y los máximos de altura de capa de mezcla tienden a ser mayores en meses más cercanos al verano, es decir los meses de Verano presentan mejores condiciones de ventilación debido a la existencia de condiciones de mayor inestabilidad atmosférica. No obstante se puede ver que para los meses de Octubre y Noviembre la altura de capa de mezcla estimada por CALMET presenta máximos muy temprano por la mañana. Se revisó la información de entrada al modelo y la sincronización de datos y no se encontró nada extraño

La próxima figura muestra exactamente lo mismo que la anterior pero 10 kilómetros al este del complejo industrial Ventanas, adentrándose en el continente. En esa imagen los perfiles para Octubre y Noviembre toman una forma más parecida a lo esperado pero aun la altura de la capa de mezcla se sigue levantando muy temprano en la mañana.



**Figura 74: Perfil Diario Promedio Altura de Mezcla 10 kilómetros al este de la zona del complejo industrial de Ventanas año 2006**

Hubiera sido oportuno y recomendable haber tenido disponible la temperatura ambiente de otra estación meteorológica además de la estación meteorológica principal.

### Mapas de alturas de mezcla dominio de modelación

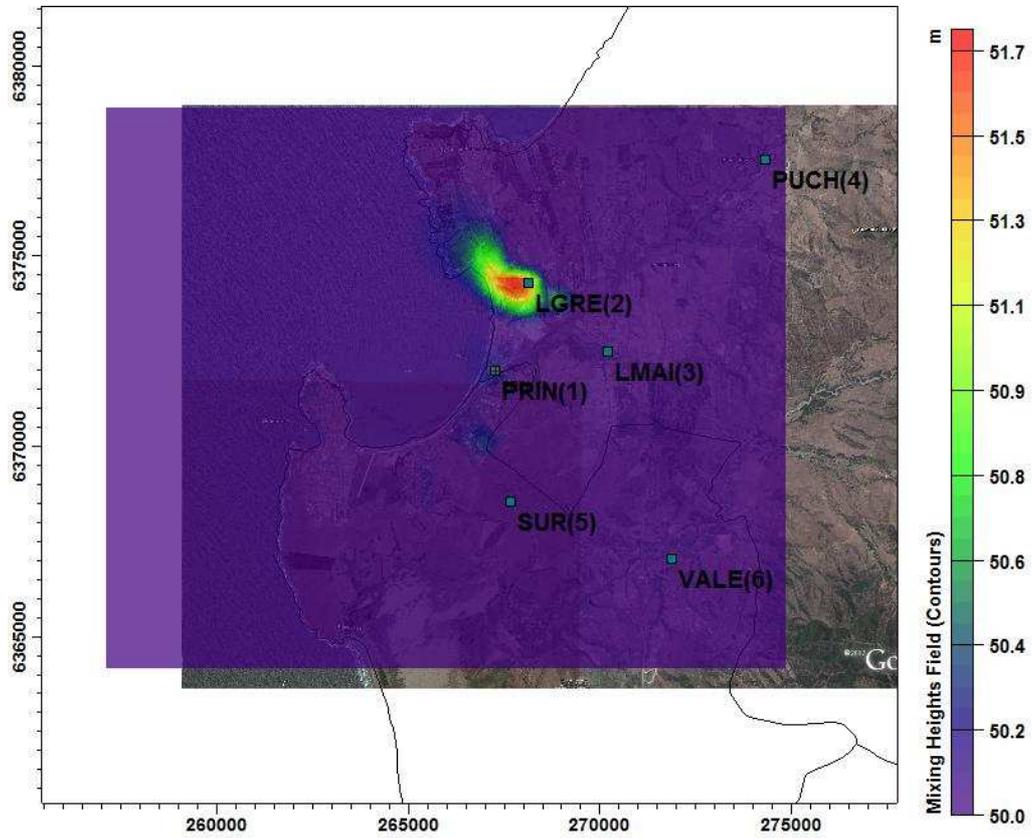
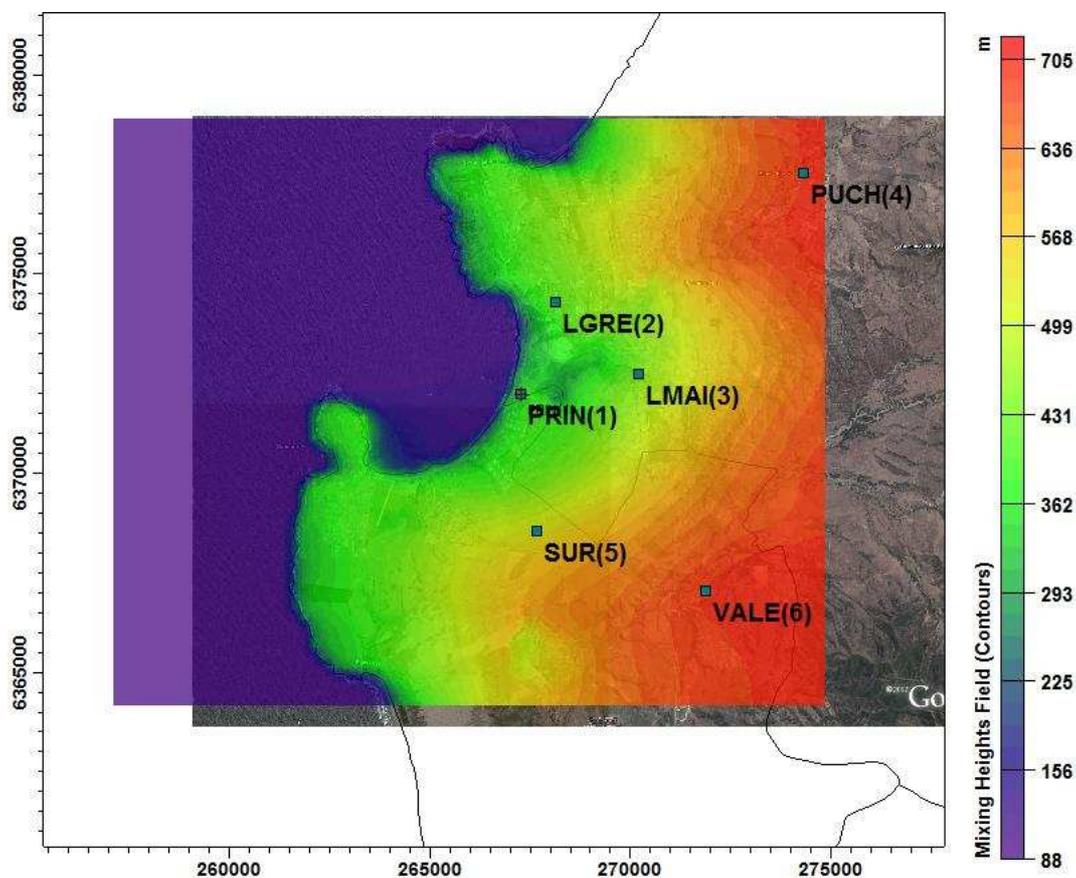


Figura 75: Mapa Alturas de Mezcla Sector Industrial de Ventanas y alrededores 11 de Abril 7 am



**Figura 76: Mapa Alturas de Mezcla Sector Industrial de Ventanas y alrededores 11 de Abril 2 pm**

En la figura anterior se puede ver claramente la diferencia en altura de capa de mezcla producida por el calentamiento del continente respecto al océano el cual se mantiene más frío en horas del día. Es posible notar bajas alturas de capa de mezcla en horas de la noche y madrugada y máximos en horas de la tarde.

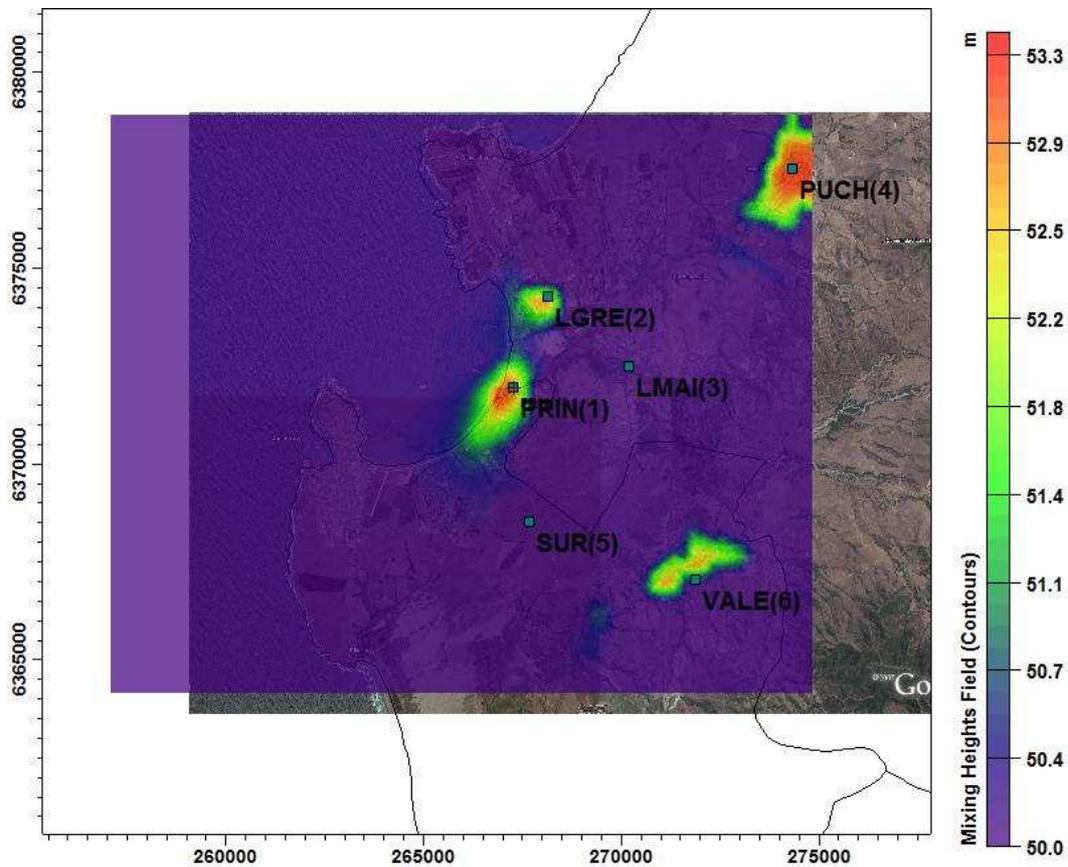


Figura 77: Mapa Alturas de Mezcla Sector Industrial de Ventanas y alrededores 11 de Abril 8 pm

### Mapas campos de vientos dominio de modelación

En horas de la mañana se observa una cierta componente de flujo continente-mar, con bajas velocidades e influencia de la topografía. El flujo no está claramente desarrollado a esa hora, ya que el nivel de insolación acumulada no es suficiente para ello. Por esto se aprecian zonas de convergencia y divergencia del viento, asociados a la topografía.



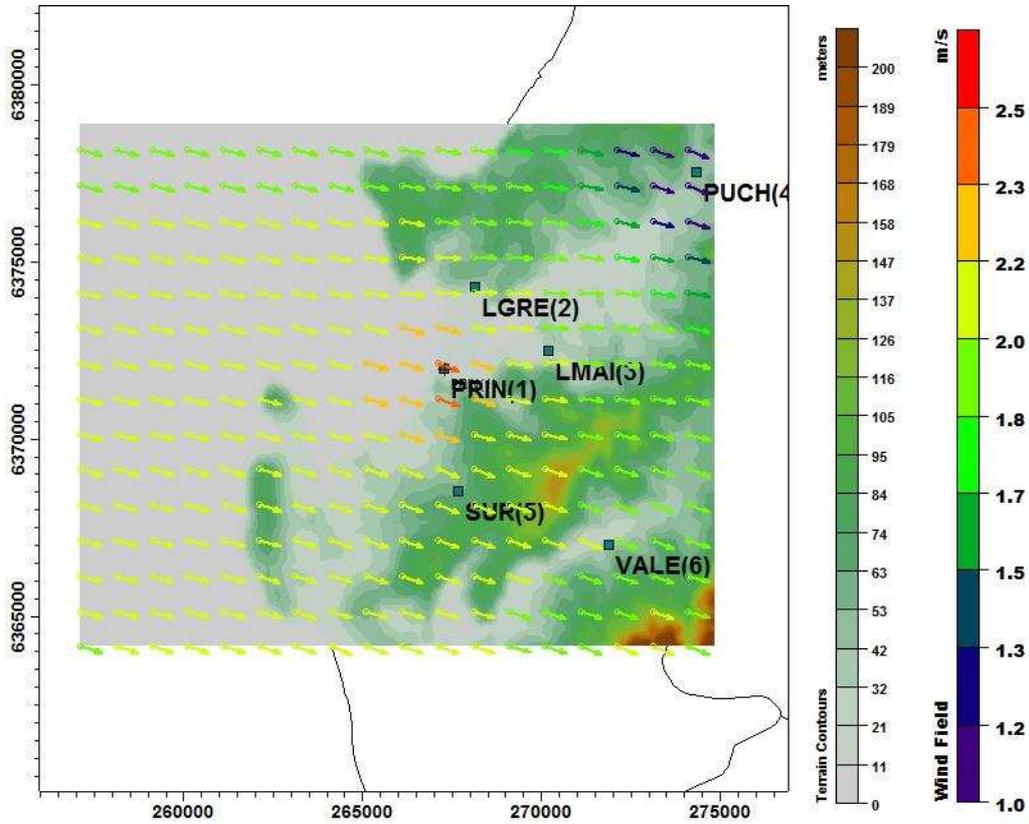


Figura 79: Mapa Vectores de Viento Sector Industrial de Ventanas y alrededores 11 de Abril 2 pm y topografía.

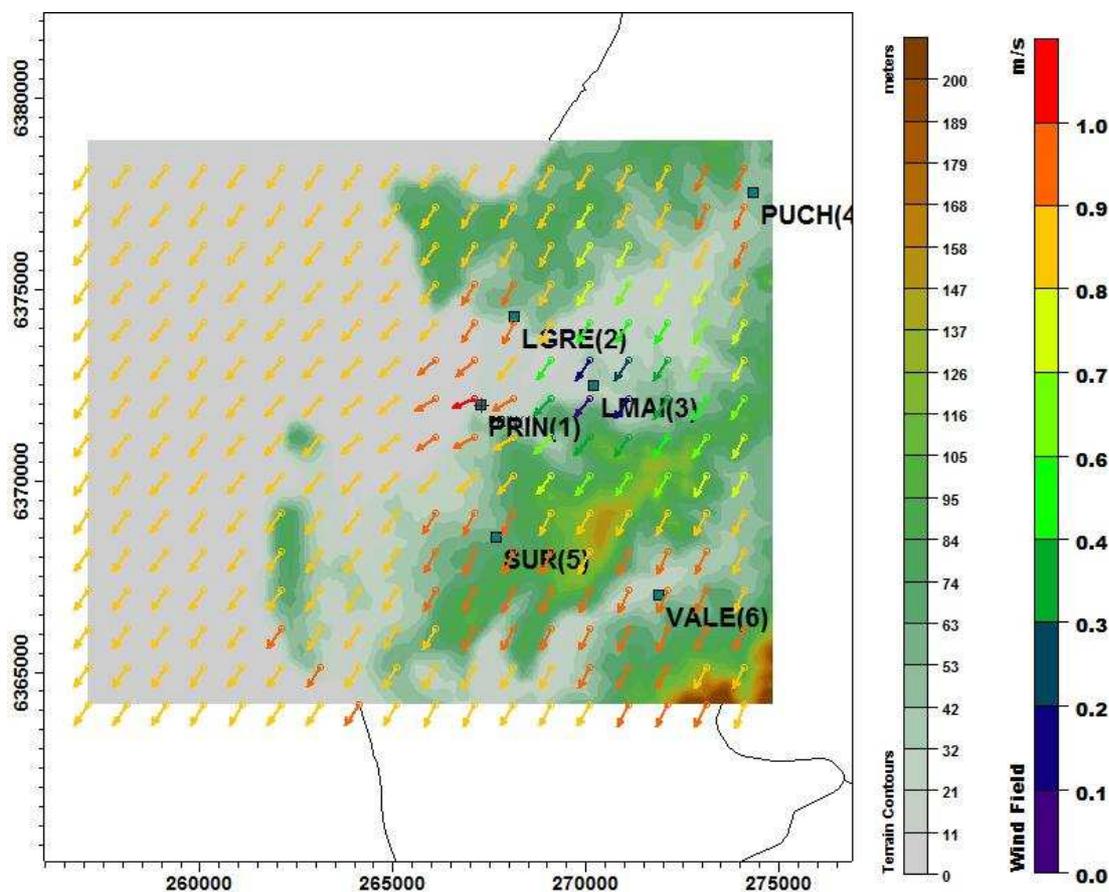


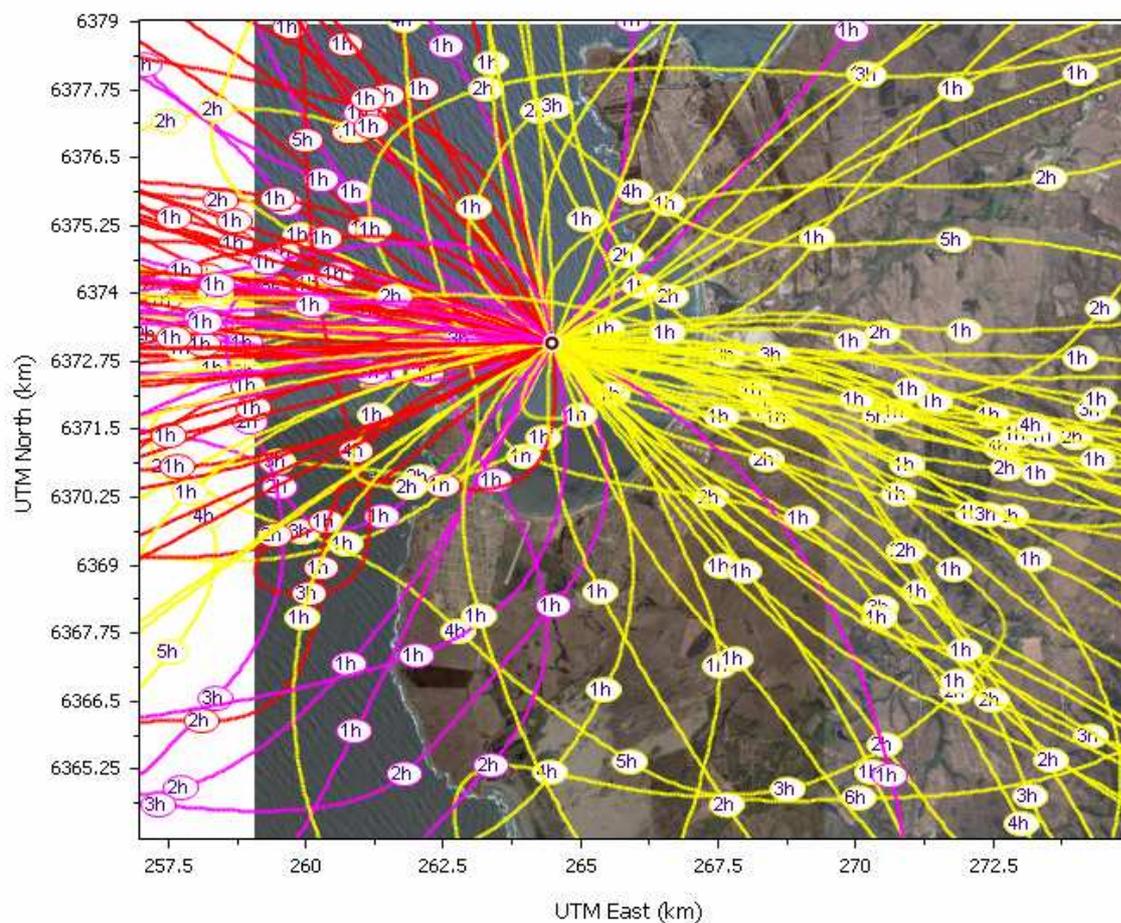
Figura 80: Mapa Vectores de Viento Sector Industrial de Ventanas y alrededores 11 de Abril 8 pm y topografía.

En la figura anterior es posible ver que al inicio de la noche nuevamente se genera un campo de vectores de vientos con tendencia continente-mar, combinada con zonas de suave convergencia y divergencia asociadas a la topografía, la cual no es muy accidentada. Esta configuración de vientos permite buenas condiciones de dispersión y los vientos transportan contaminantes hacia el océano.

### Análisis de trayectorias de vientos

Se realizó un análisis de trayectorias de vientos para una semana de Mayo del 2006, en las siguientes figuras las trayectorias correspondientes a horas de la madrugada (entre 12 am y 7 am) aparecen de color rojo, para las horas del día en color amarillo (entre las 8 am y 7 pm) y para las horas de la noche en color rosado (entre las 8 pm y 11 pm). Cada línea indica para una hora determinada la trayectoria que tendrá el viento a partir del punto de inicio, marcadas con 1h, 2h y así sucesivamente se indica donde se trasladaría una masa de aire después de 1 hora, 2 horas, etc más tarde.

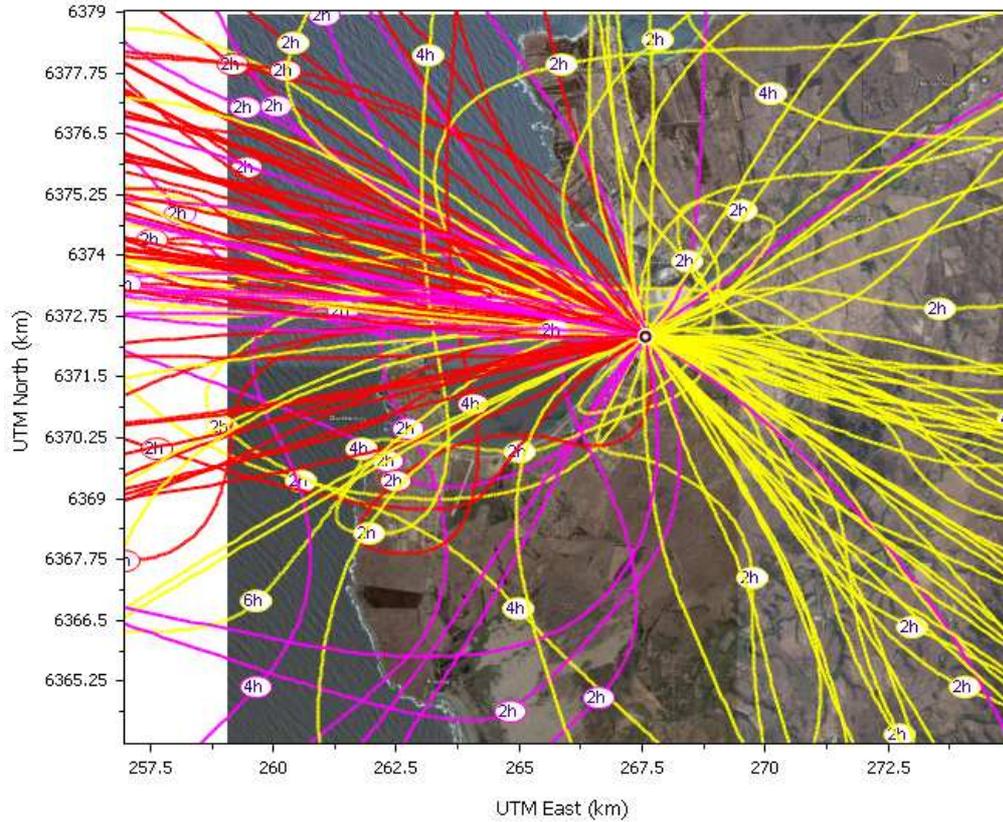
Analisis de trayectorias, zona barcos 1 semana de Mayo, 2006.



**Figura 81: Mapa trayectorias de Viento Zona de barcos a 30 metros de altura.**

En la figura anterior se puede ver que las trayectorias de vientos desde un punto sobre la bahía donde se presenta actividad naviera, se puede ver que durante la noche y madrugada es predominante de dirección oeste, mientras que durante horas del día las trayectorias apuntan predominantemente hacia el este.

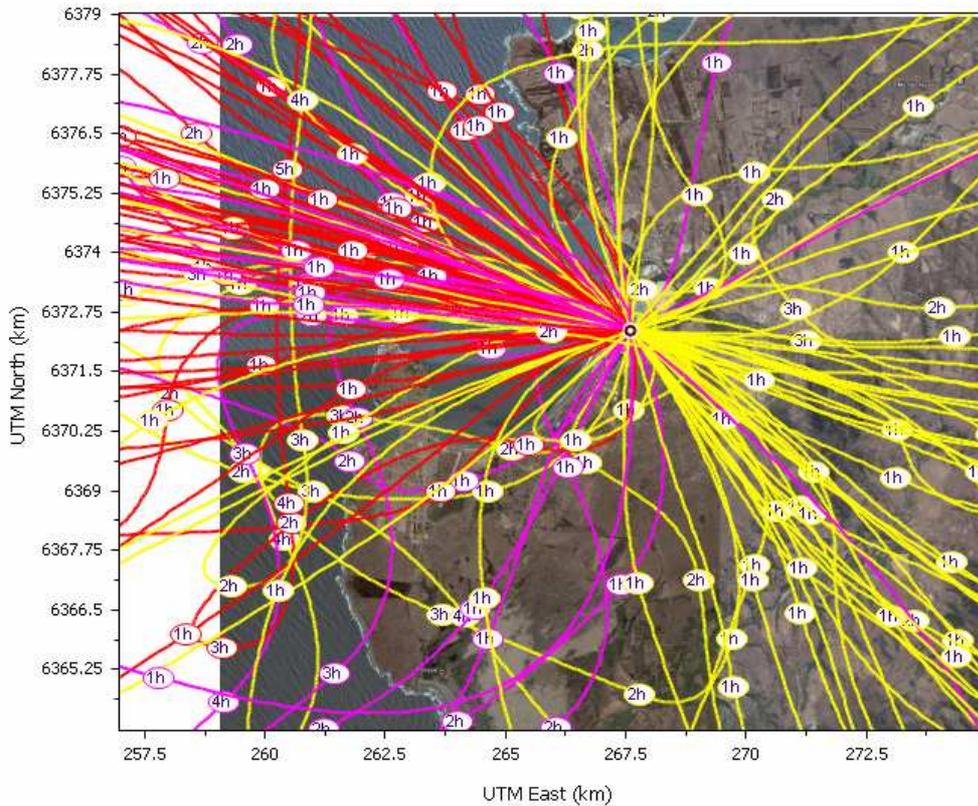
Análisis de trayectorias, Chimenea 40 metros Codelco semana de Mayo, 2006.



**Figura 82: Mapa trayectorias de Viento Chimenea 40 metros de altura de Codelco.**

En la figura anterior se puede ver la distribución de trayectorias de vientos desde la chimenea de 40 metros de Codelco Ventanas, la distribución de trayectorias es muy similar a la anterior.

Análisis de trayectorias, Chimenea 160 metros Codelco semana de Mayo, 2006.



**Figura 83: Mapa trayectorias de Viento Chimenea 153 metros de altura de Codelco.**

En la figura anterior se puede ver la distribución de trayectorias de vientos desde la chimenea de 153 metros de Codelco Ventanas la distribución de trayectorias nuevamente bastante similar a las dos anteriores, en este caso se ven un poca mas de trayectorias con componente norte y sur de vientos.

## 11 Emisiones

Se consideraron las emisiones calculadas para el inventario de emisiones del presente estudio. Las fuentes consideradas son las que se ubican dentro del dominio del estudio que se muestra en la siguiente imagen.



Figura 84: Zona de inventario de emisiones.

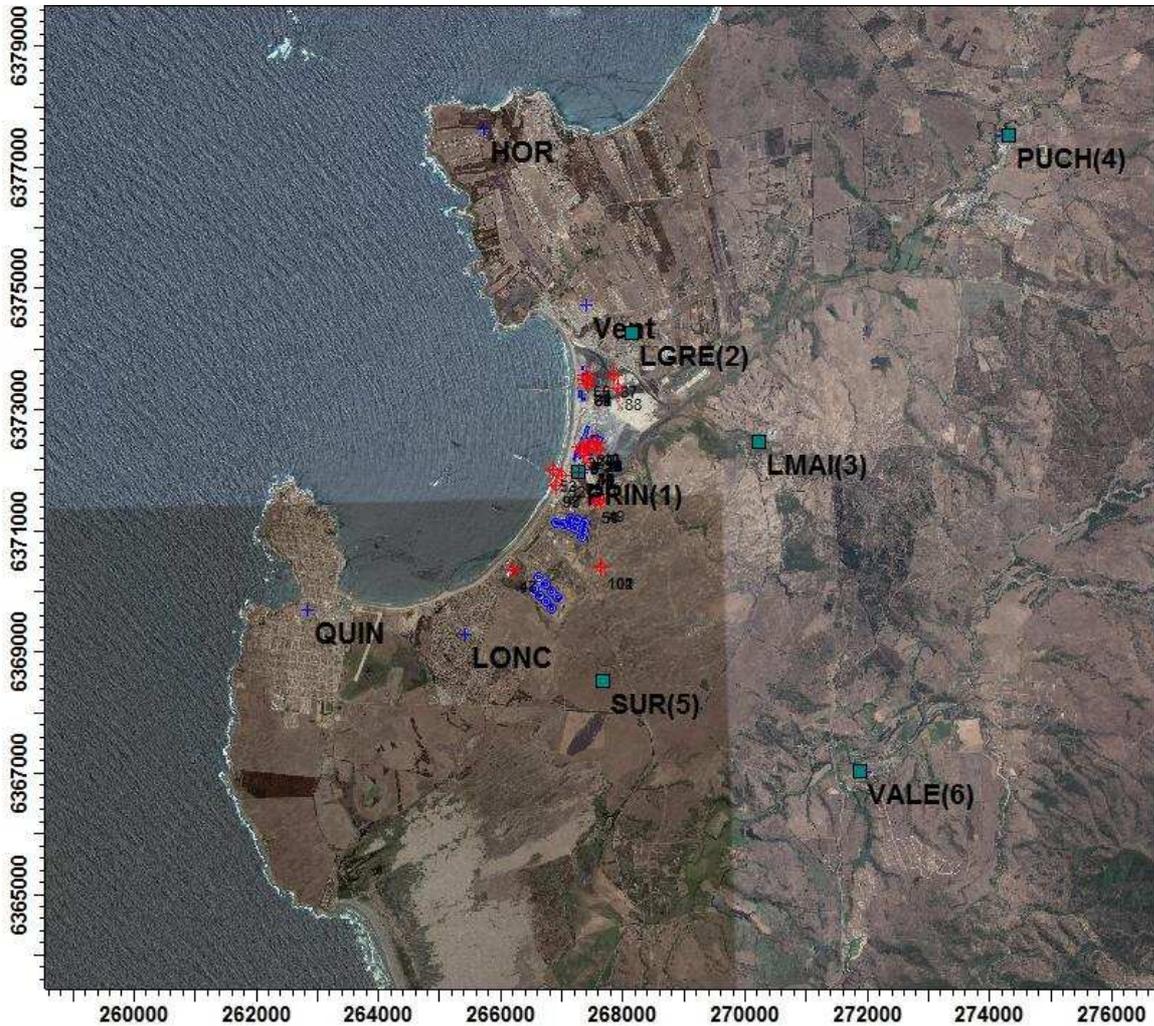


Figura 85: Fuentes fijas, receptores puntuales y edificios.

Se ingresaron 220 fuentes entre fuentes fijas y de área, fuentes móviles se ingresaron como fuentes de área.

Se ingresaron edificios para considerar los efectos de “Building Downwash”, los cuales se estimaron utilizando el modelo BPIP.



## 12 Resultados modelos de dispersión de contaminantes.

### 12.1 Validación AERMOD y CALPUFF

#### Background:

Considerando que el inventario de emisiones abarca la gran mayoría de los tipos de fuentes de emisión se considera que para la zona de estudio prácticamente la totalidad de emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> estarían consideradas en el inventario de emisiones. Se entiende como zona del estudio, aquella para la cual se estimaron emisiones.

Para el caso del MP-10 la estimación de background es más complicada. Haciendo referencia al estudio de Kavouras et al (2001), “Source Apportionment of PM10 and PM2.5 in Five Chilean Cities Using Factor Analysis”, se puede ver que según este estudio para Viña del mar y Valparaíso la concentración proveniente de aerosol marino corresponde a 1.2 µg/m<sup>3</sup>, la contribución de polvo natural correspondería a un 18.2 y 21 µg/m<sup>3</sup> correspondientemente.

Se puede esperar que la contribución del aerosol marino al particulado en el sector de Ventanas sea similar a lo estimado en Viña del mar y Valparaíso. En cuanto a las contribuciones de polvo natural gran parte de este polvo se espera que correspondan a contribuciones de levantamiento de polvo de fuentes móviles y erosión eólica, fuentes que están consideradas en gran parte en el inventario de emisiones. En resumen se espera que el aporte de MP<sub>10</sub> de fuentes no consideradas en el inventario de emisiones sea relativamente bajo dentro de la zona donde se estimaron emisiones, siendo incluso mayor el nivel de incertidumbre de las estimaciones de concentraciones de MP-10 que la necesidad de estimar un nivel de background natural acertado. Por ende se concluye que no es necesario agregar un background de MP<sub>10</sub> a las estimaciones de concentraciones obtenidas por los modelos dentro del área del estudio donde se estimaron emisiones.

#### Calibración del inventario de emisiones:

A través de modelaciones sucesivas, conjuntamente con la refinación de otros parámetros se calibraron las siguientes emisiones.

El polvo resuspendido estimado para fuentes móviles de calles pavimentadas y no pavimentadas fue corregido por un factor de 0.4.

Para los barcos se utilizó un contenido de azufre promedio de 1000 ppm.

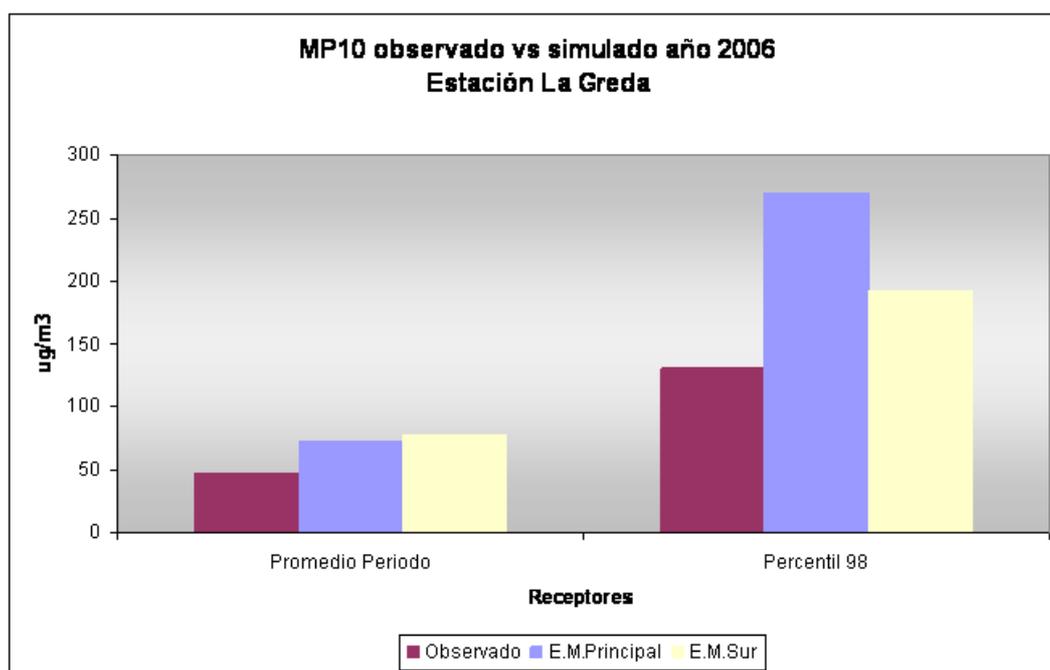
En ambos casos se trata de emisiones cuya magnitud posee mayor incertidumbre que la de otras fuentes. En el caso del levantamiento de polvo de calles históricamente se han obtenido sobreestimaciones de importancia considerable en los números trabajos que ha realizado el equipo consultor. En el caso de los barcos existe gran incertidumbre y variabilidad en el contenido de azufre de los combustibles utilizados por las distintas embarcaciones.

### Comparación respecto al monitoreo

#### AERMOD

#### **MP-10**

Para el MP-10 solo se evalúan los resultados en La Greda, ya que esta es la única estación de monitoreo que está ubicada dentro de la zona de estimación de emisiones. Se consideran dos meteorologías, E.M. Principal y Sur. Además se consideran solo los días que disponen de monitoreo de MP-10



**Figura 86: Evaluación MP-10 en La Greda, promedio del período simulado y percentil 98 del promedio diario con ambas meteorologías.**

Al simular ambas meteorologías el modelo sobreestima las concentraciones observadas en la estación La Greda, tanto en utilizando la meteorología de la estación Principal como en la estación Sur.

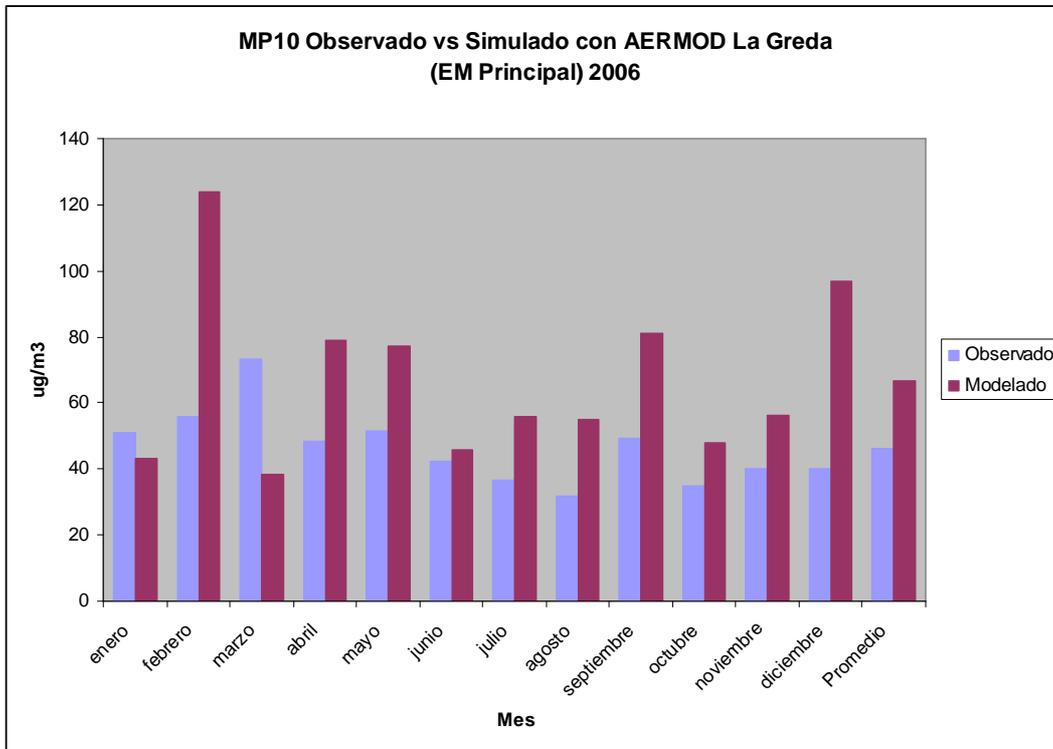


Figura 87: Evaluación MP-10 en La Greda, promedios mensuales considerando solo días con monitoreo.

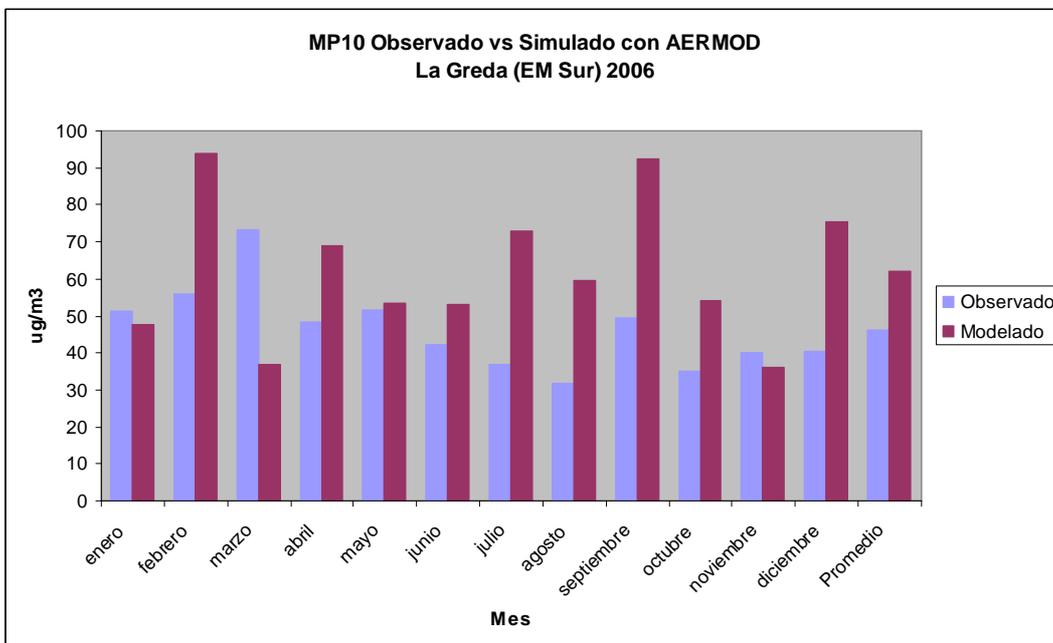
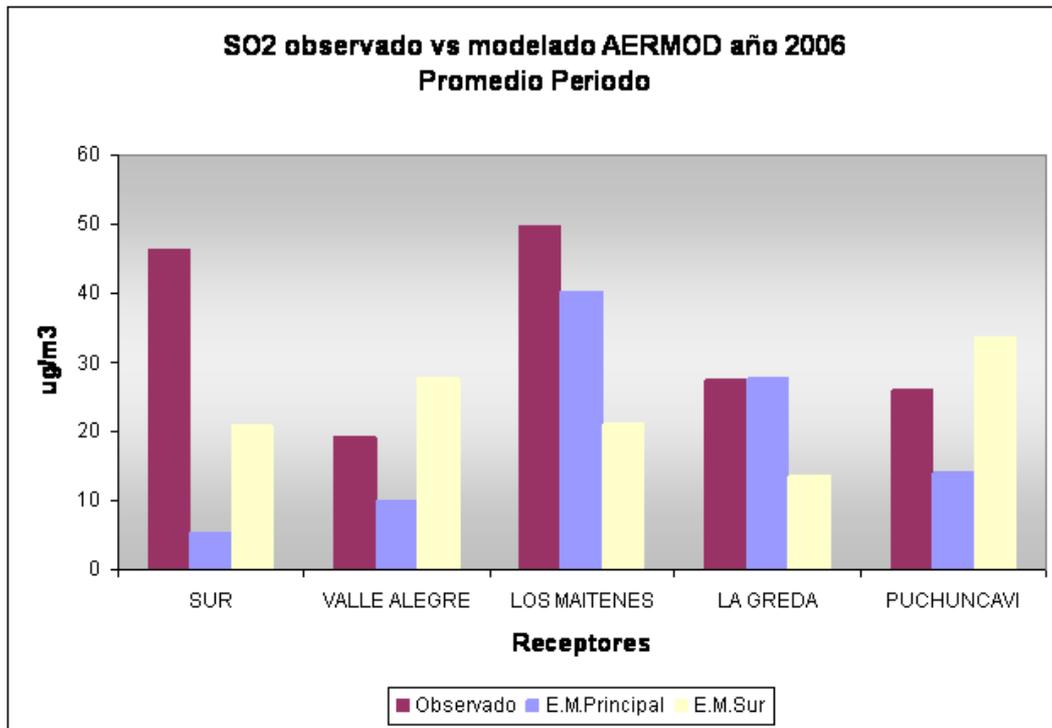
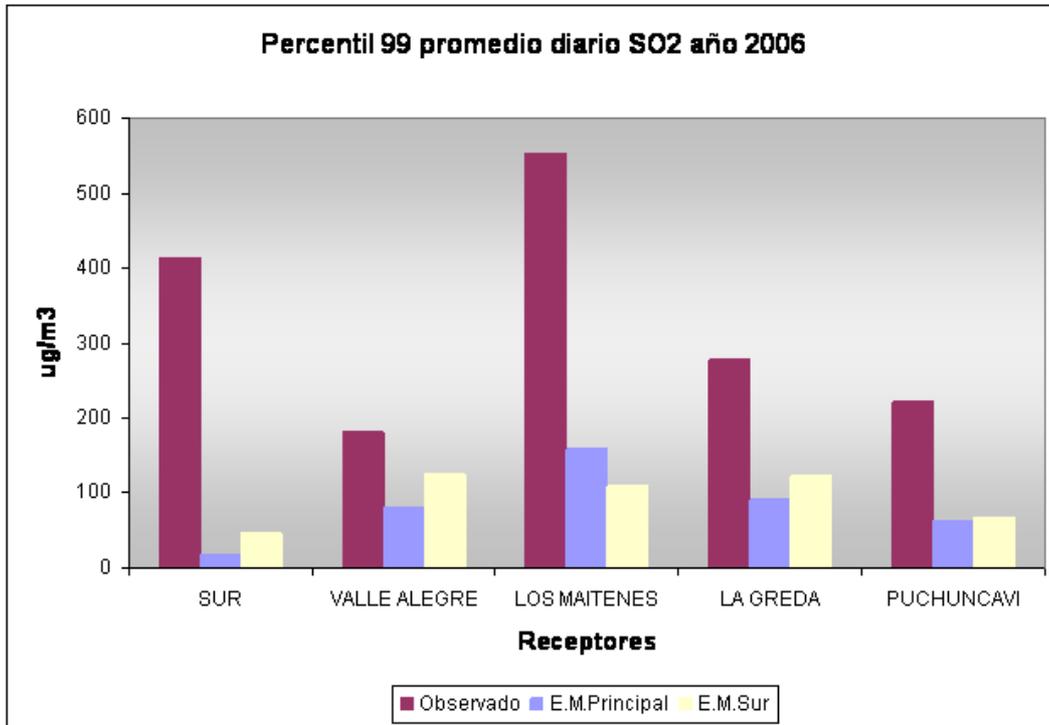


Figura 88: Evaluación MP-10 en La Greda, promedios mensuales considerando solo días con monitoreo.

## SO<sub>2</sub>



**Figura 89: Evaluación SO<sub>2</sub> en las estaciones monitoras, promedio período**



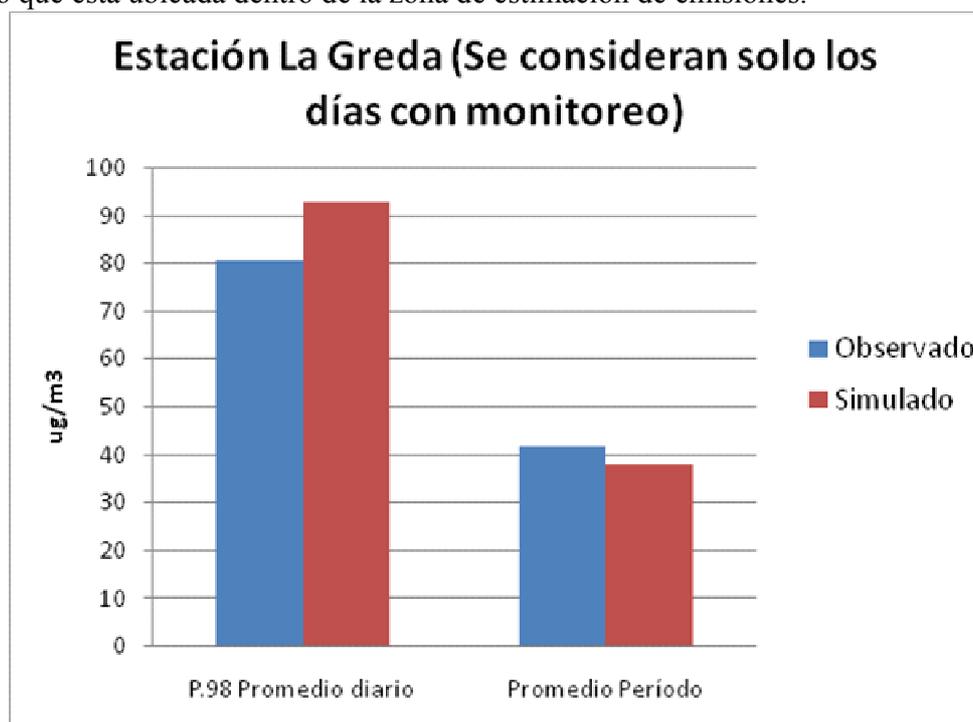
**Figura 90: Evaluación SO<sub>2</sub> en las estaciones monitoras, percentil 99 promedio diario.**

Se puede ver que el promedio anual simulado de SO<sub>2</sub> mejora en general al utilizar la estación Principal. La excepción sería el receptor en Puchuncavi.

## CALPUFF

### MP-10

Para el MP-10 solo se evalúan los resultados en La Greda, ya que esta es la única estación de monitoreo que está ubicada dentro de la zona de estimación de emisiones.



**Figura 91: Evaluación MP-10 en la greda, promedio del período simulado y percentil 98 del promedio diario.**

Se puede ver que en la evaluación más gruesa el modelo anda muy bien, en el caso de los promedios mensuales el modelo subestima en los meses de Abril, Mayo y Septiembre y sobreestima considerablemente en el mes de Julio.

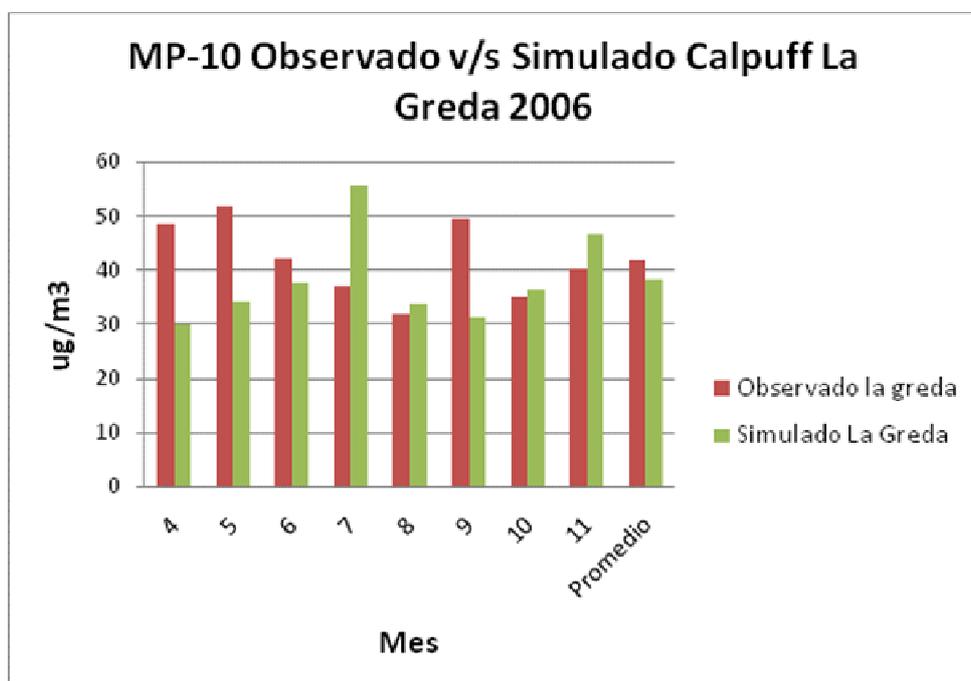


Figura 92: Evaluación MP-10 en la greda, promedios mensuales considerando solo días con monitoreo.

## SO<sub>2</sub>

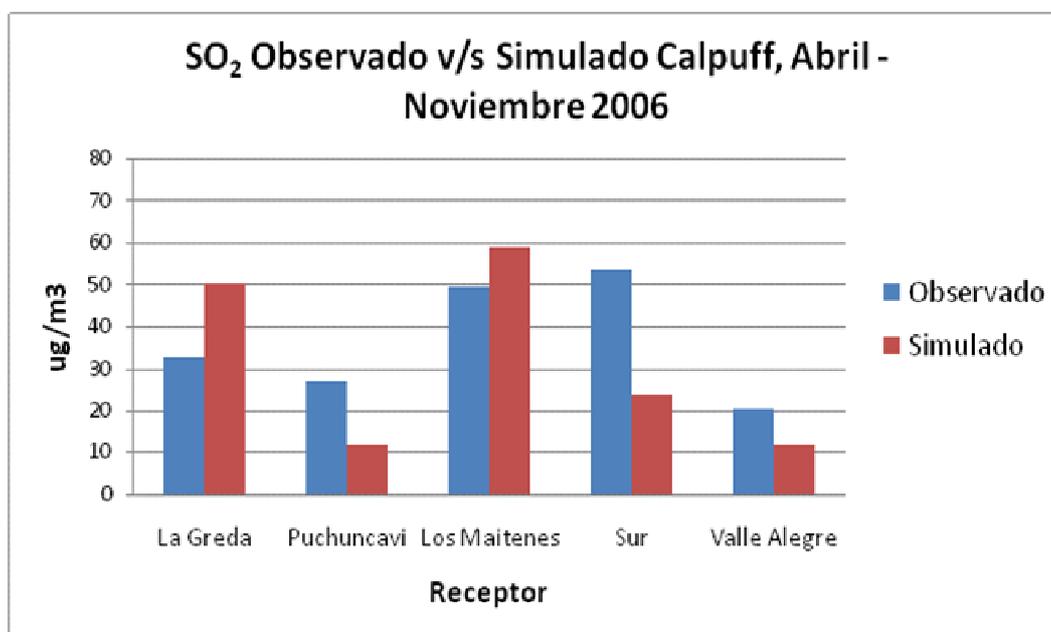


Figura 93: Evaluación SO<sub>2</sub> promedio período en las distintas estaciones de monitoreo.

Para el promedio del período el modelo sobreestima en La Greda y Los Maitenes y subestima en el resto de las estaciones. Se espera que las estaciones más alejadas de la zona industrial (Puchuncaví, Sur y Valle Alegre) tengan contribuciones de SO<sub>2</sub> que provengan de otras zonas que no fueron incluidas en el presente cálculo de emisiones.

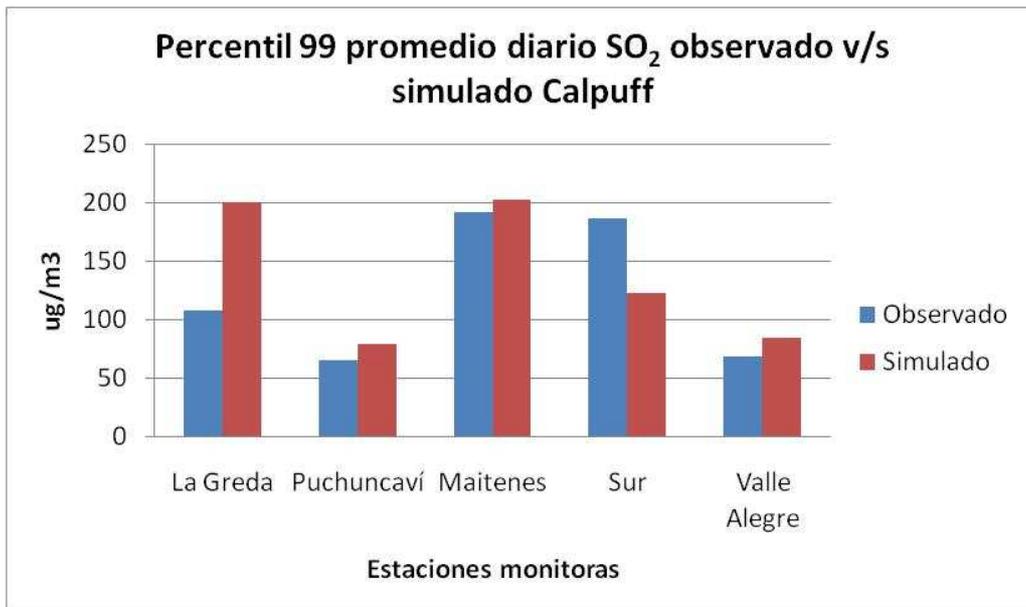


Figura 94: Evaluación SO<sub>2</sub> percentil 99 promedio diario en las distintas estaciones de monitoreo.

Para el percentil 99 de los promedios diarios el modelo sobreestima en La Greda y subestima en Sur, en las otras estaciones el valor simulado es muy similar al observado

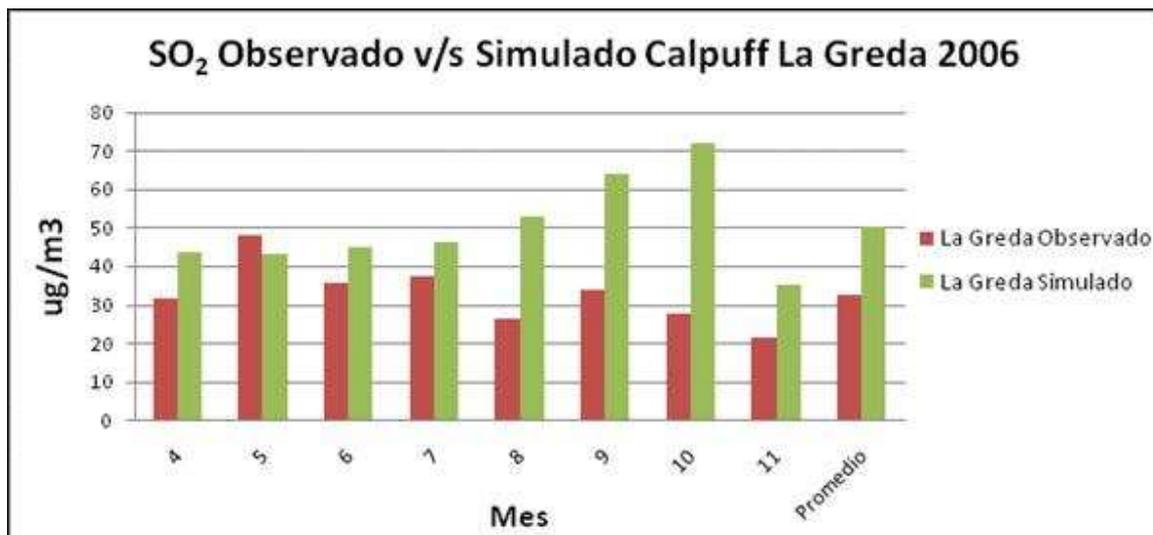


Figura 95: Evaluación promedio mensual SO<sub>2</sub> en la Greda.

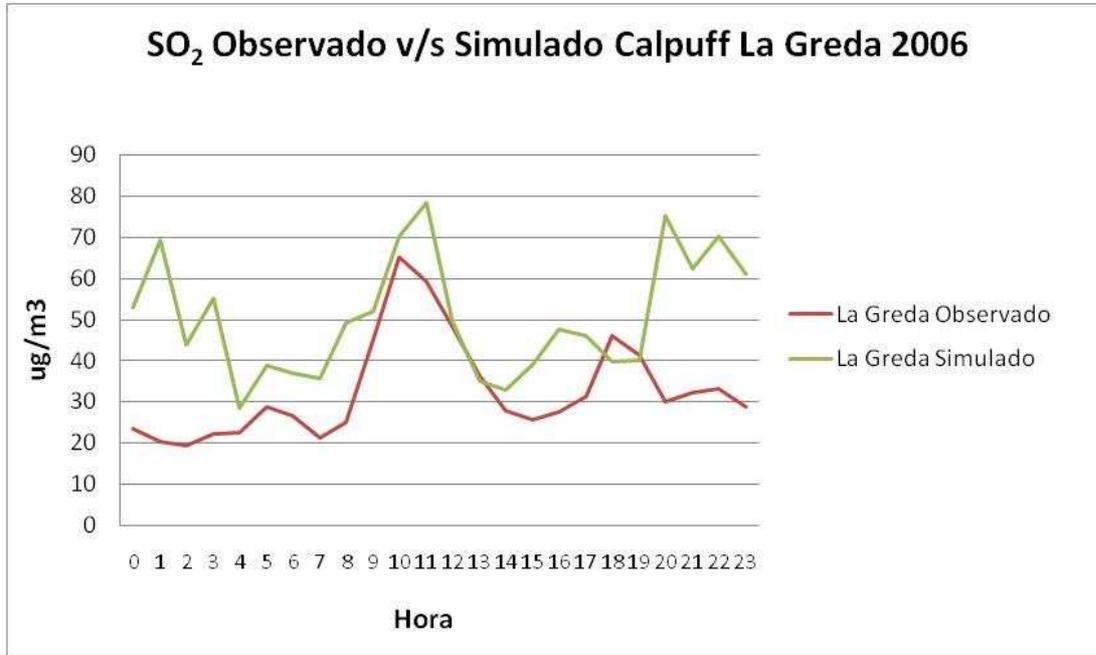


Figura 96: Evaluación perfil diario promedio SO<sub>2</sub> en la Greda.

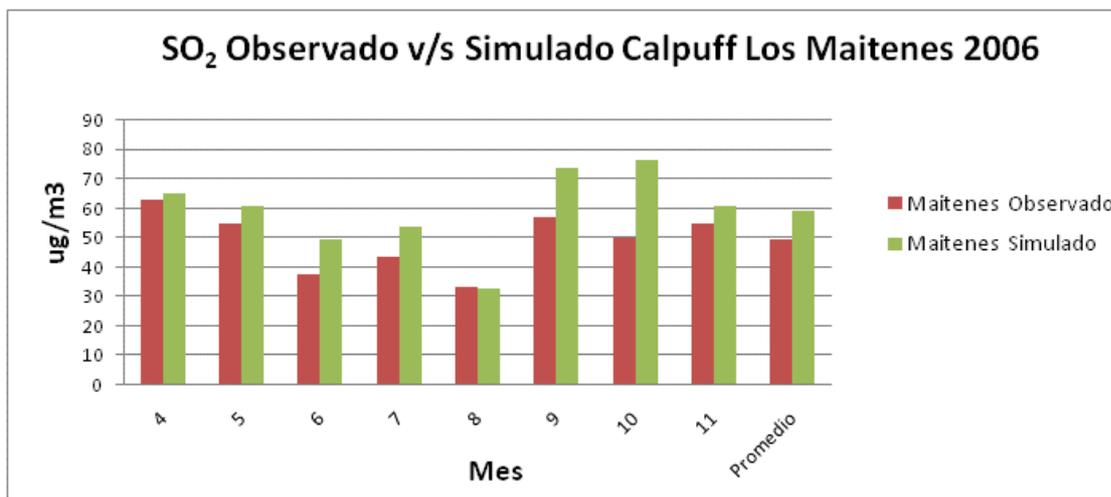
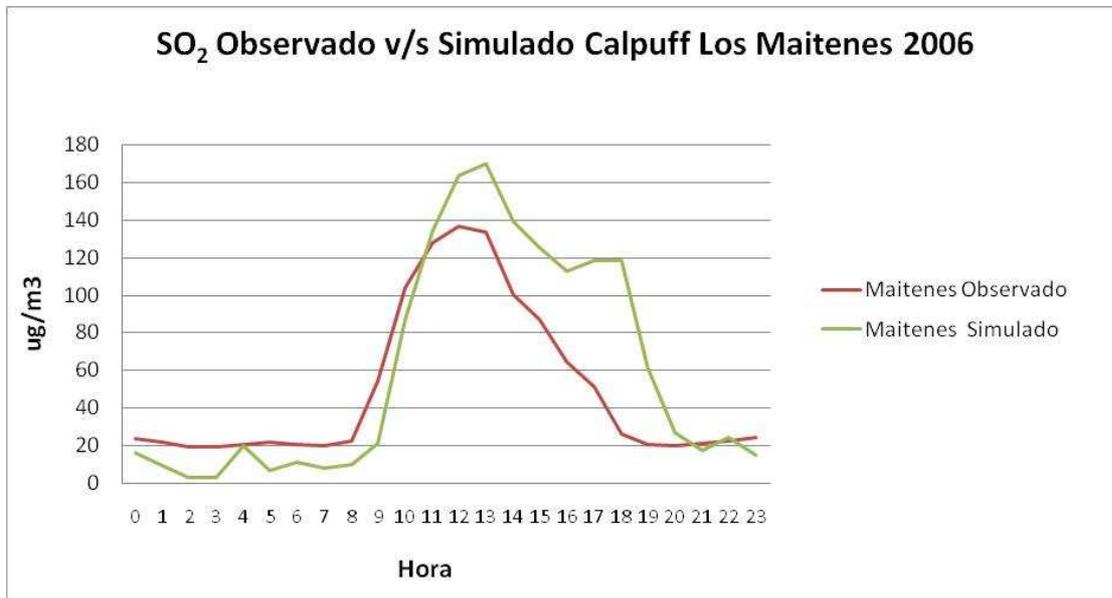
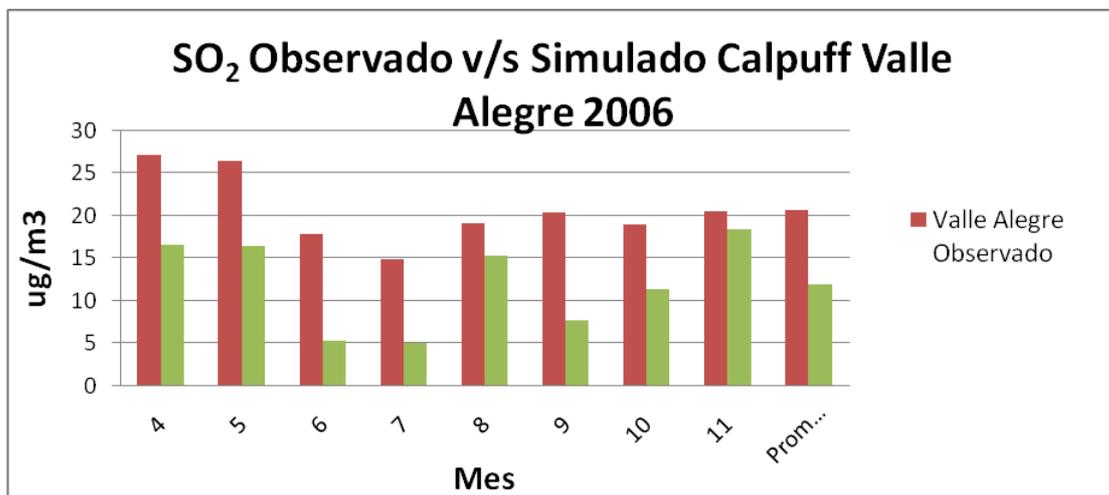


Figura 97: Evaluación promedio mensual SO<sub>2</sub> en Los Maitenes.



**Figura 98: Evaluación perfil diario promedio SO<sub>2</sub> en Los Maitenes.**

En la estación Los Maitenes es donde se ve una mejor correlación entre los valores observados y los simulados, tanto para los promedios mensuales como para el perfil diario promedio. También se puede ver que las magnitudes entre observaciones y valores simulados son bastante similares en esta estación.



**Figura 99: Evaluación promedio mensual SO<sub>2</sub> en Valle Alegre.**

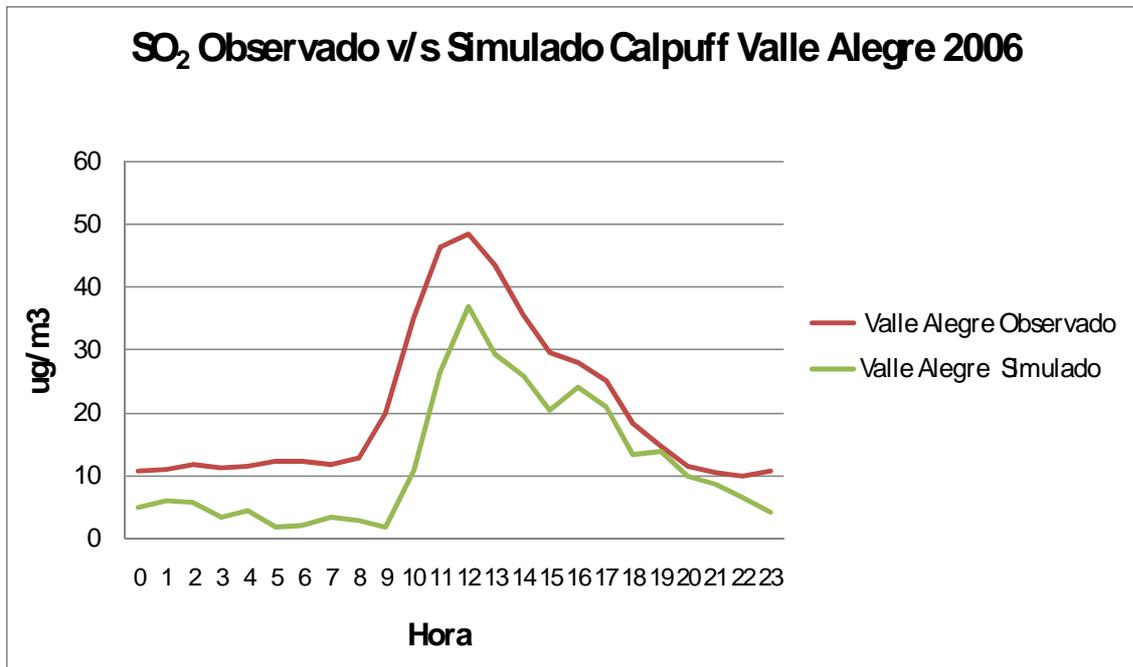


Figura 100: Evaluación perfil diario promedio SO<sub>2</sub> en Valle Alegre.

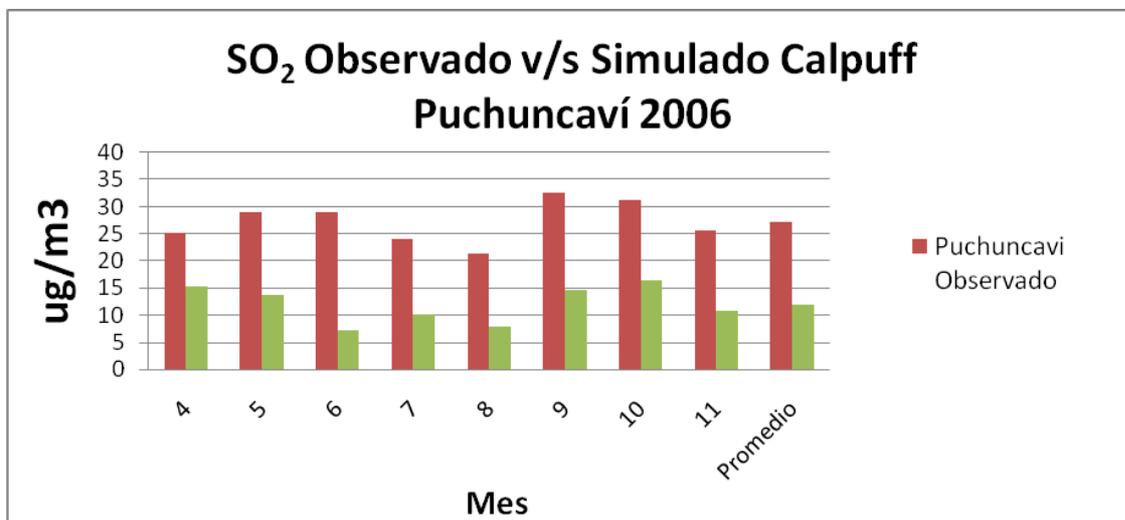


Figura 101: Evaluación promedio mensual SO<sub>2</sub> en Puchuncaví.

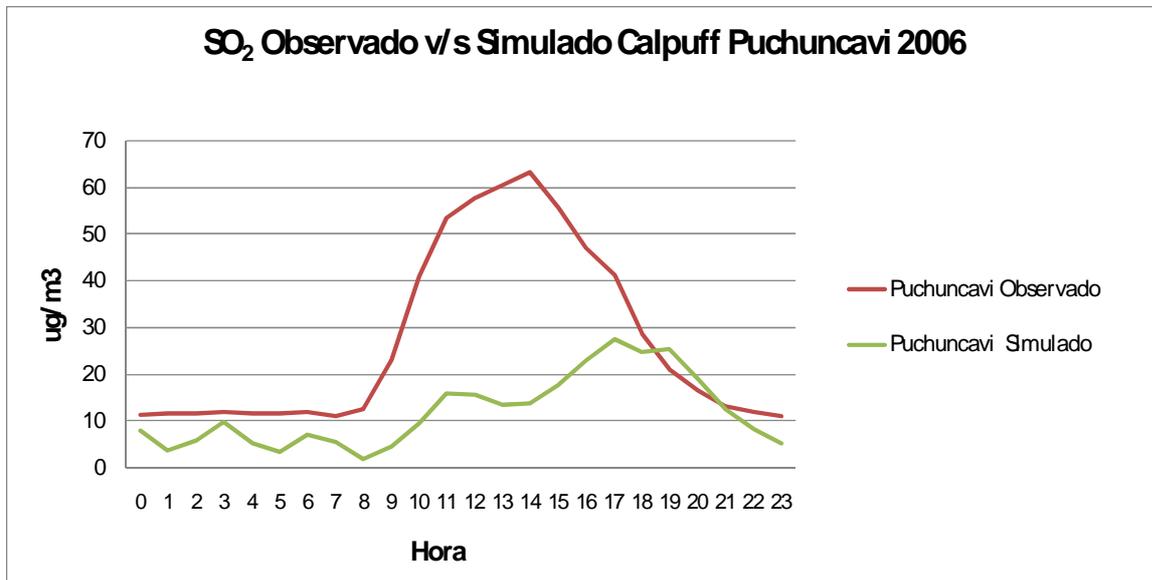


Figura 102: Evaluación perfil diario promedio SO<sub>2</sub> en Puchuncavi.

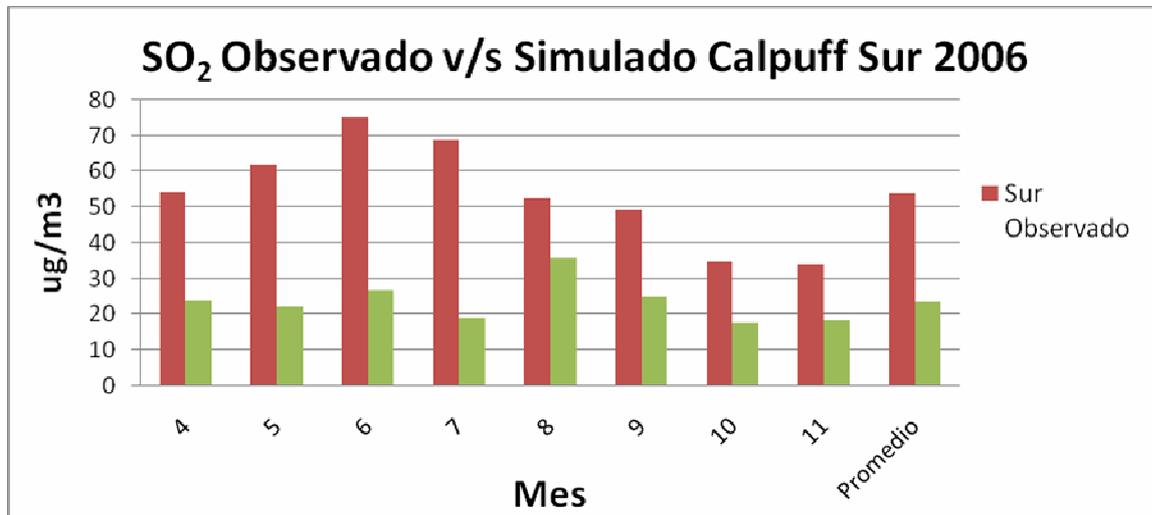
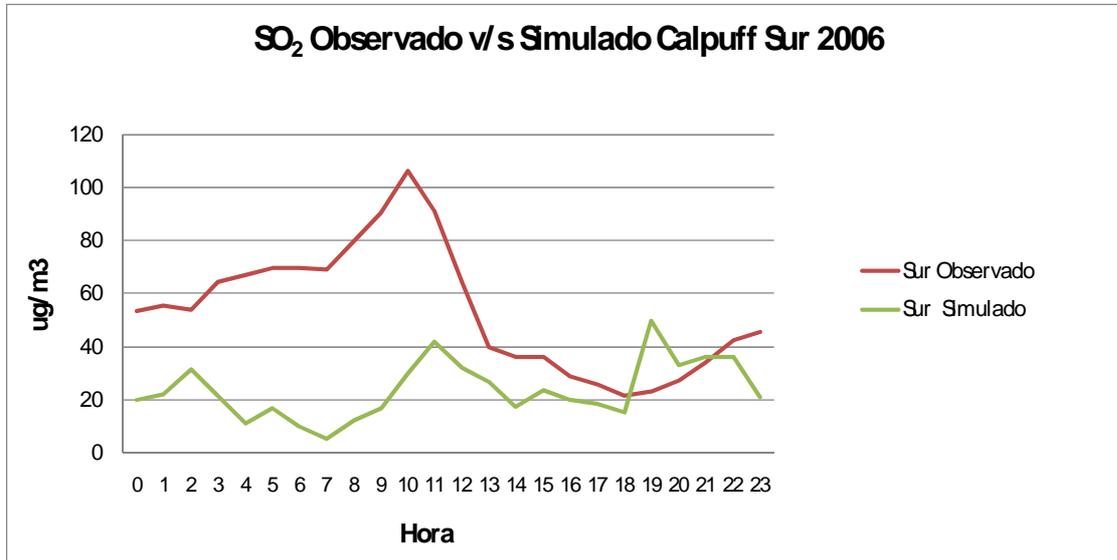


Figura 103: Evaluación promedio mensual SO<sub>2</sub> en Sur.



**Figura 104: Evaluación perfil diario promedio SO<sub>2</sub> en Sur.**

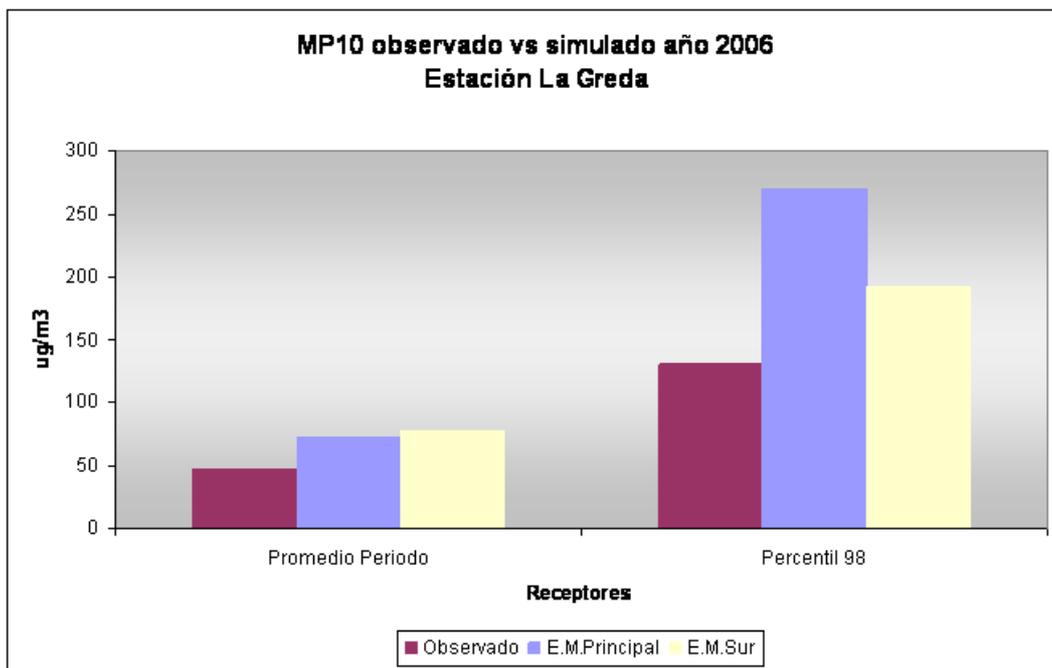
En cuanto a los perfiles diarios promedio, en Los Maitenes y Valle Alegre se ve una muy buena correlación. En los Maitenes el orden de magnitud de las concentraciones también andan similares, mientras que en Valle Alegre el modelo subestima, es de esperarse que existan aportes de SO<sub>2</sub> en Valle Alegre que provengan de otros sectores no correspondientes a la zona de estudio donde se levantaron las emisiones. En la estación La Greda el modelo sobreestima en las horas de la noche y de la madrugada lo que podría deberse a una mala estimación de los niveles de estabilidad atmosférica a estas horas o a una sobrestimación del impacto de la actividad naviera en el sector de la Greda.

En la estación sur el modelo subestima considerablemente, se espera que existan aportes de emisiones de SO<sub>2</sub> provenientes de la refinería CON CON de Enap y de la industria química BASF.

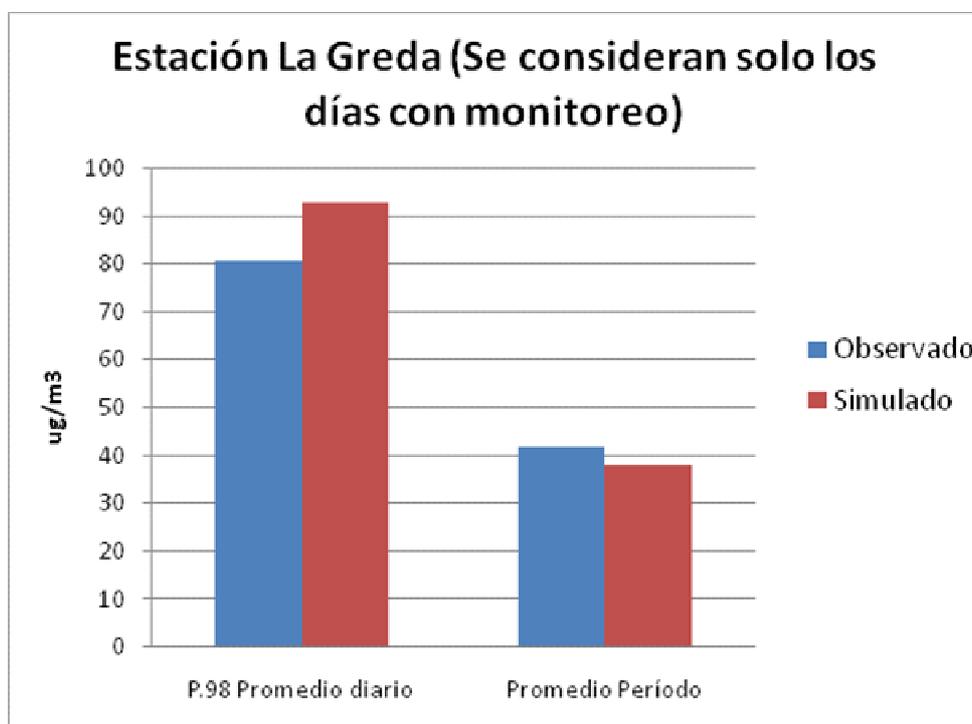
Los perfiles diarios muestran en su mayoría bajas concentraciones durante la noche y madrugada y mayores concentraciones durante horas del día, especialmente durante el medio día, al verificar la simulación se puede ver que esto se debe a la dirección del viento. Durante horas de la noche y madrugada el viento suele ser viento este por lo que las plumas del SO<sub>2</sub> a esas horas impactan sobre el océano.

## 12.2 Comparación de ambos modelos

Según las comparaciones anteriores se puede ver que en general el modelo CALPUFF tiene mejor desempeño, lo que es lo esperado. Esto se puede corroborar en el siguiente punto, donde se puede ver que AERMOD estima concentraciones muy grandes para puntos muy cercanos a las megafuentes de la zona industrial.



**Figura 105: Evaluación promedio período MP-10 en La Greda utilizando meteorología de estación Principal y Estación Sur en AERMOD.**



**Figura 106: Evaluación promedio período MP-10 en La Greda con CALPUFF.**

En el caso del MP-10 el desempeño de CALPUFF en la estimación del promedio del período y del percentil 98 es claramente mas acertado que en AERMOD para el receptor de la estación La Greda.

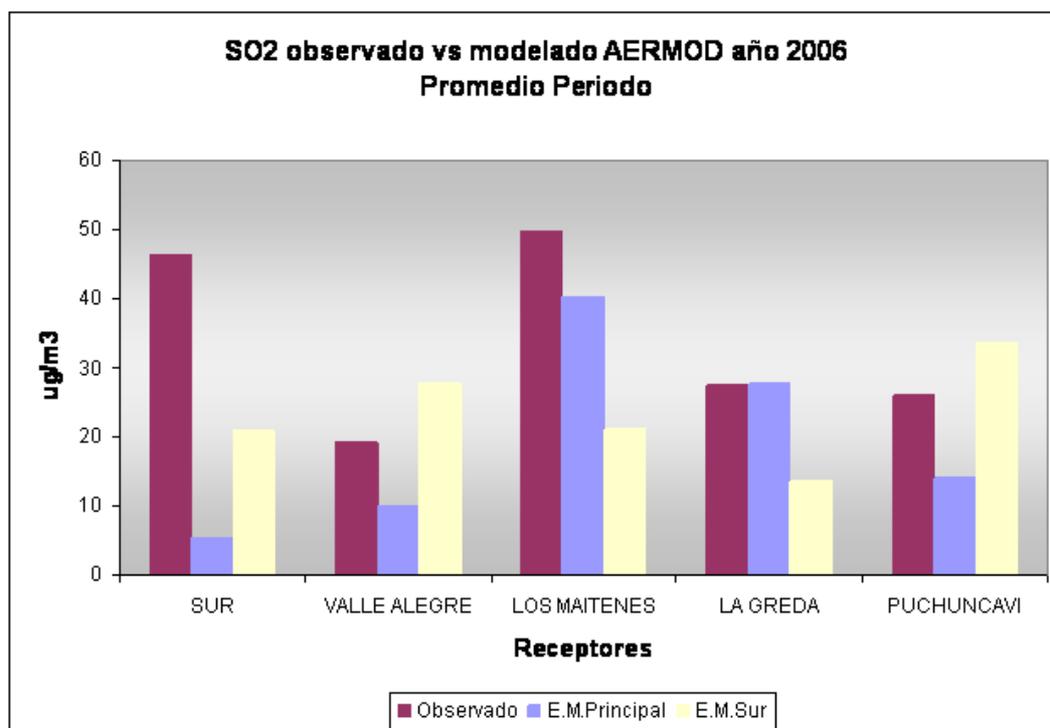


Figura 107: Evaluación promedio período SO<sub>2</sub> en estaciones de monitoreo utilizando meteorología de estación Principal y Estación Sur en AERMOD.

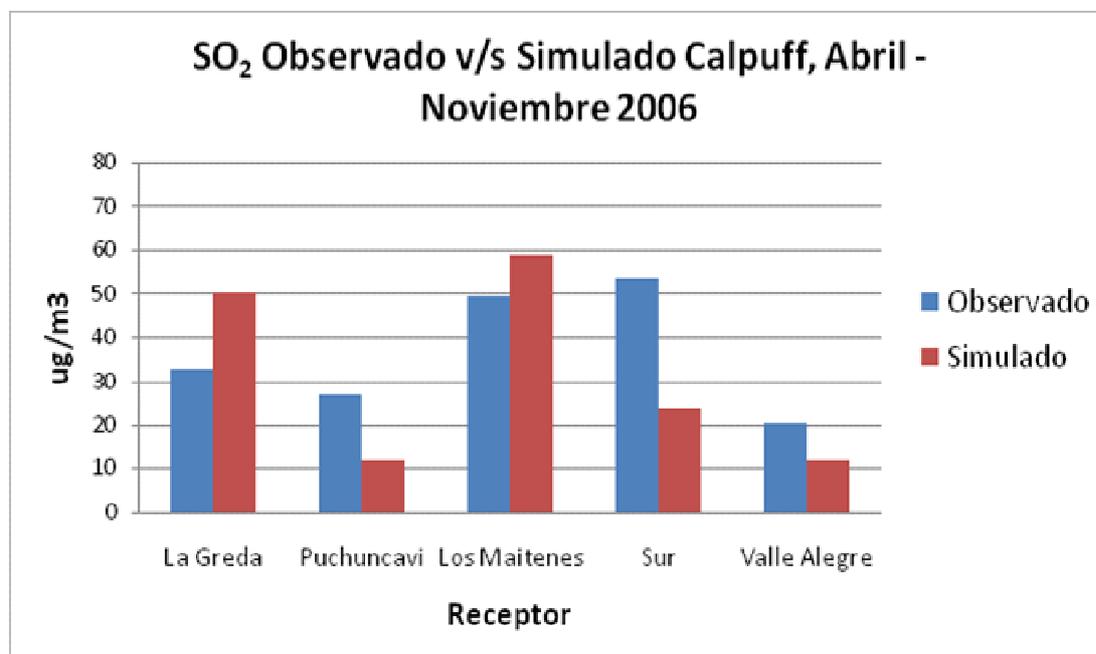
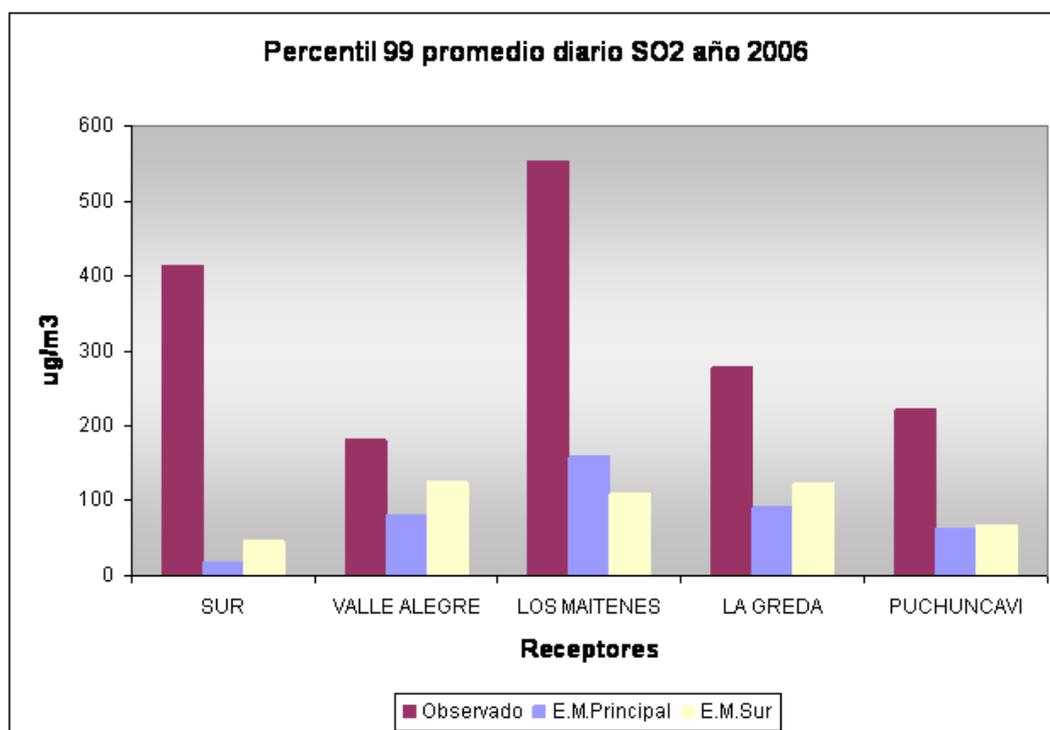


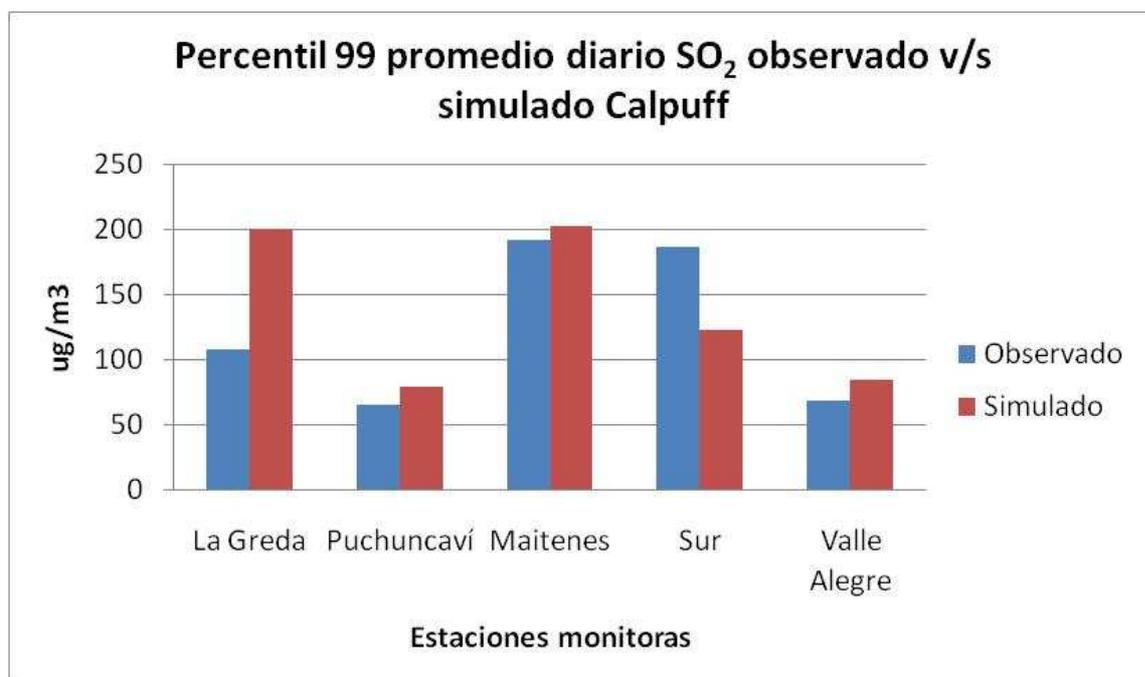
Figura 108: Evaluación promedio período SO<sub>2</sub> en estaciones de monitoreo con CALPUFF.

En el caso del SO<sub>2</sub> la situación es menos clara, se ven grandes diferencias al utilizar la estación Sur o la estación Principal en el caso de AERMOD. Al ser la estación Principal la más cercana a las emisiones de CODELCO, GENER y a gran parte de las emisiones de la actividad naviera, se podría considerar esta estación como la más indicada en utilizarse en el caso de AERMOD (recordar que AERMOD solo utiliza un punto con información meteorológica). Además se puede corroborar que los resultados al utilizar la estación Principal se ven más razonables que los resultados con la estación Sur.

Al comparar los resultados de AERMOD con estación Principal versus los resultados de CALPUFF es difícil ver qué modelo anda mejor. Ambos tienen resultados bastante similares para los receptores en Valle Alegre y Puchuncavi. En el resto de los receptores los resultados son mejores para AERMOD en algunos casos y para CALPUFF en otros.



**Figura 109: Evaluación percentil 99 promedio diario SO<sub>2</sub> en estaciones de monitoreo utilizando meteorología de estación Principal y Estación Sur en AERMOD.**



**Figura 110: Evaluación percentil 99 promedio diario SO<sub>2</sub> en estaciones de monitoreo, CALPUFF.**

Al ver un resultado más fino como es el percentil 99 del promedio diario se puede ver que los resultados de CALPUFF son bastante mejores que los resultados obtenidos con el modelo AERMOD.

### 12.3 Análisis en receptores puntuales

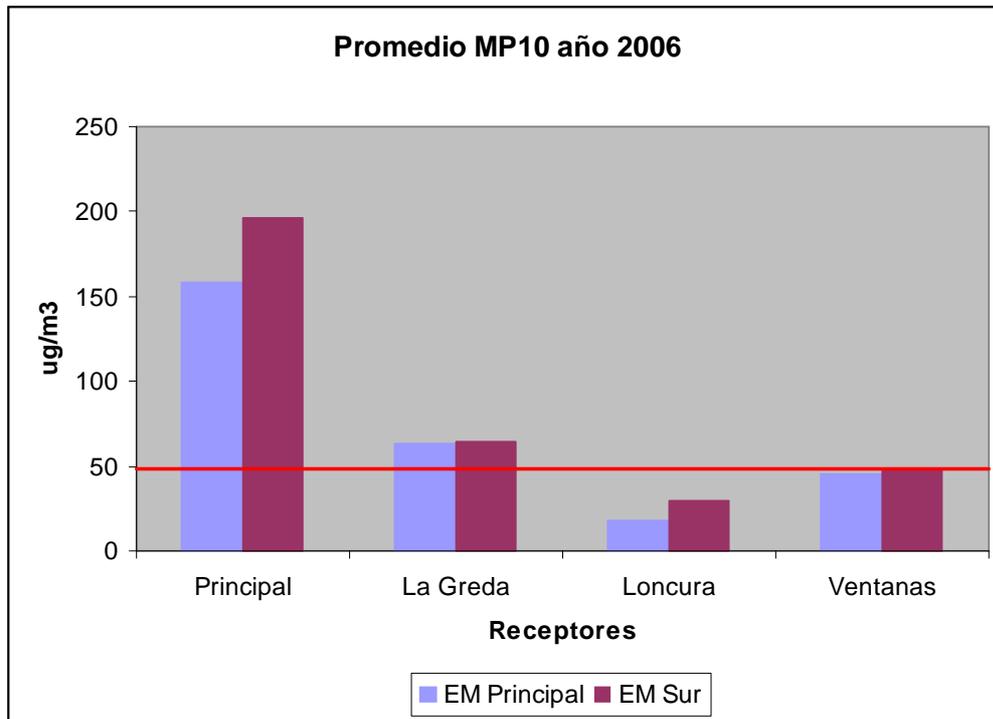
Se escogieron 10 receptores puntuales de interés correspondientes a zonas con monitoreo (La Greda, Los Maitenes, Valle Alegre, Sur y Puchuncavi), a zonas pobladas (Ventanas, Horcon, Quintero y Loncura) y a la zona industrial (Principal)

**Tabla 232: Coordenadas receptores en metros UTM, WGS84 huso 19.**

Receptor	X	Y
Principal	267.400	6372.000
Los Maitenes	270.241	6372.458
La Greda	268.178	6374.248
Valle Alegre	271.982	6367.000
Puchuncavi	274.226	6377.500
Sur	267.700	6368.500
Horcon	265.735	6377.618
Loncura	265.425	6369.283
Quintero	262.855	6369.688
Ventanas	267.414	6374.717

AERMOD

**MP10**



**Figura 111: Análisis promedio período MP-10 en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma anual.**

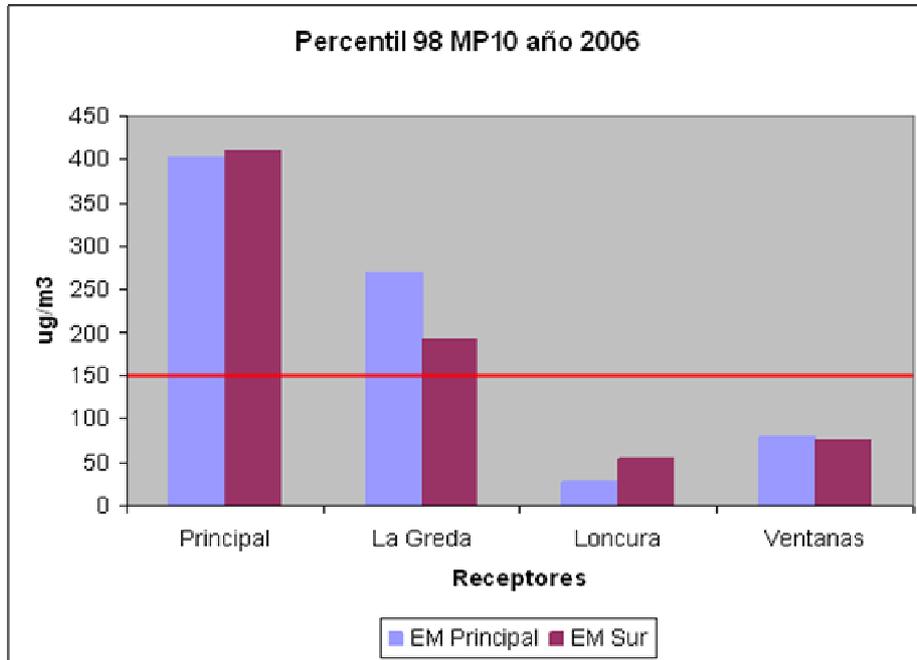


Figura 112: Análisis percentil 98 promedio diario MP-10 en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma anual.

## SO2

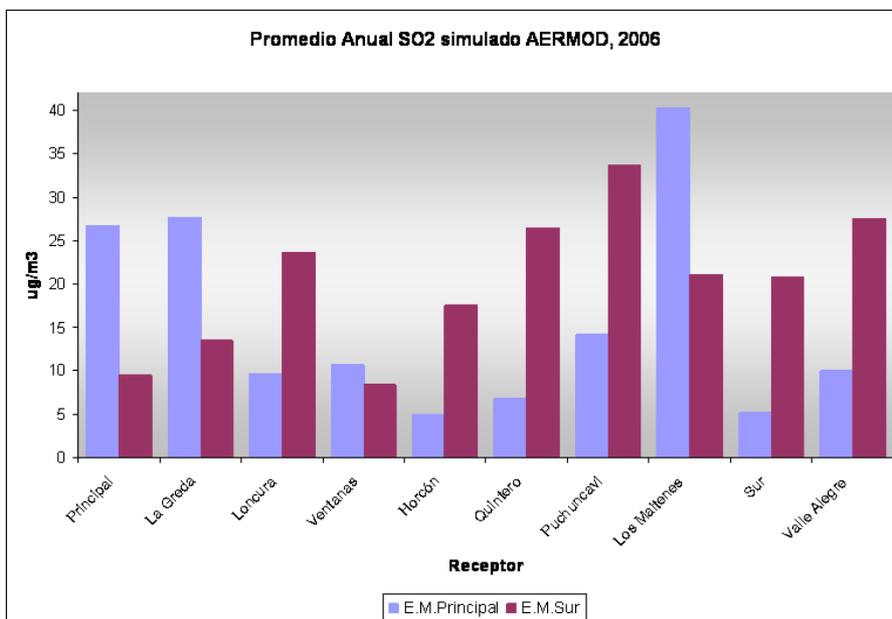
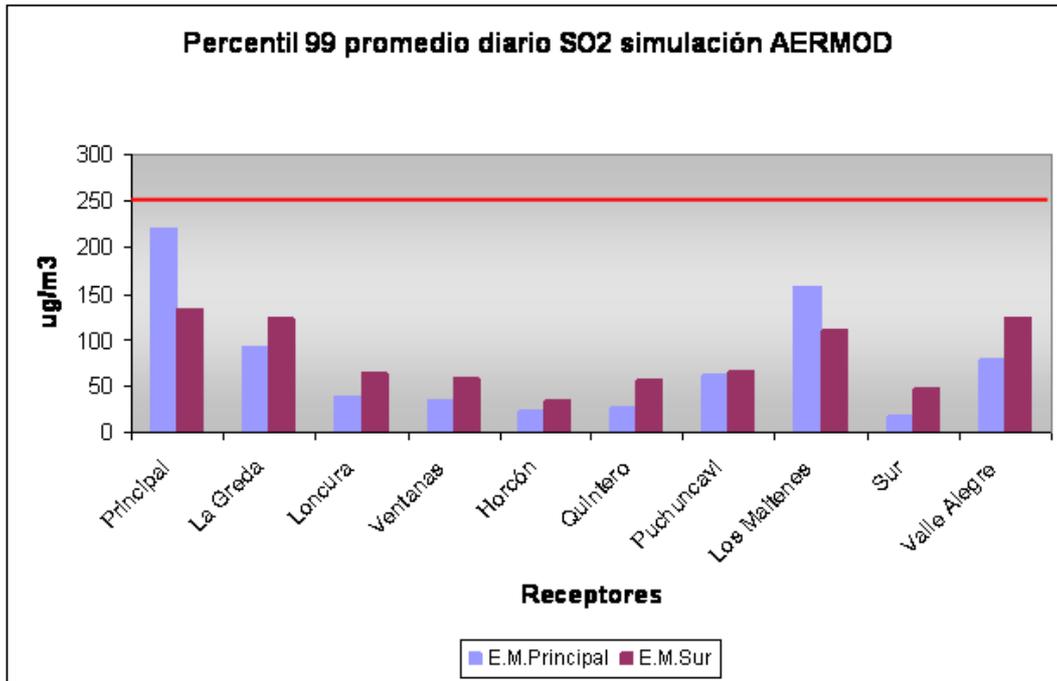


Figura 113: Análisis promedio período SO<sub>2</sub> en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma anual.



**Figura 114: Análisis percentil 99 promedio diario SO<sub>2</sub> en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma anual.**

## NOx

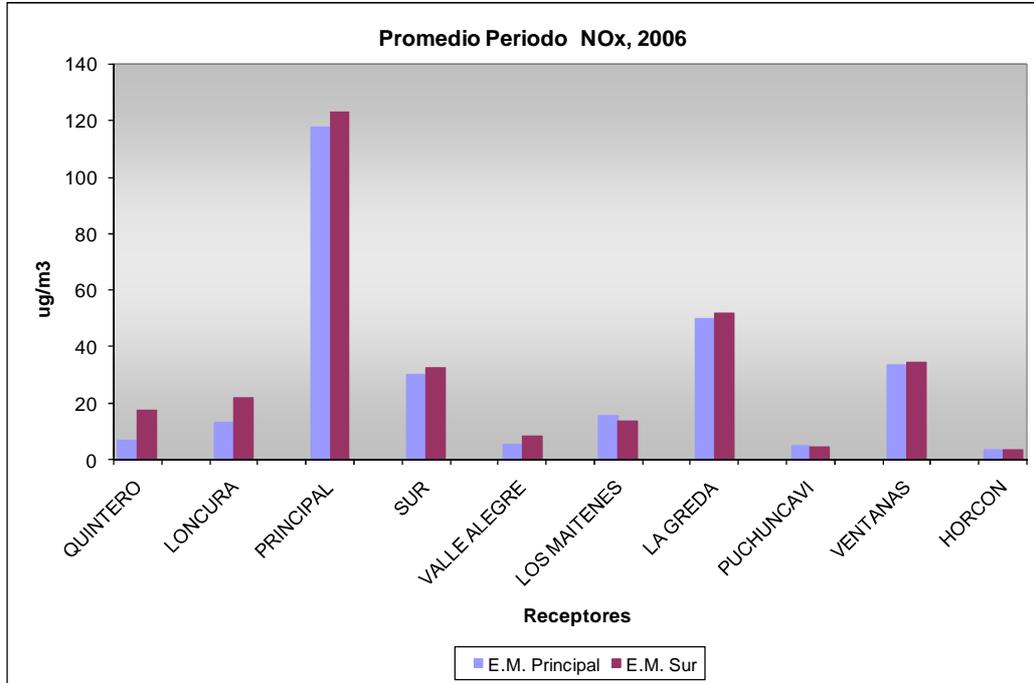


Figura 115: Análisis promedio período NOx en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto.

## CALPUFF

### MP-10

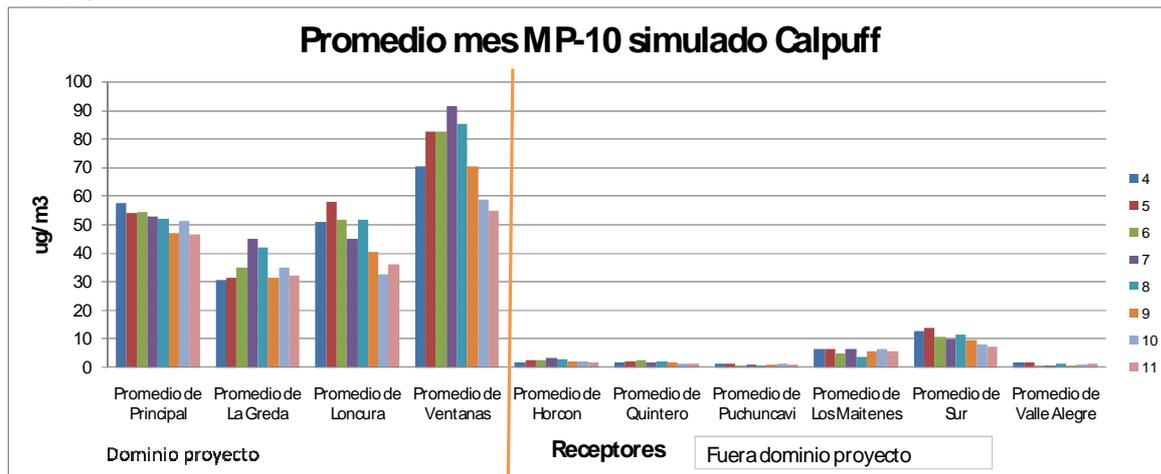
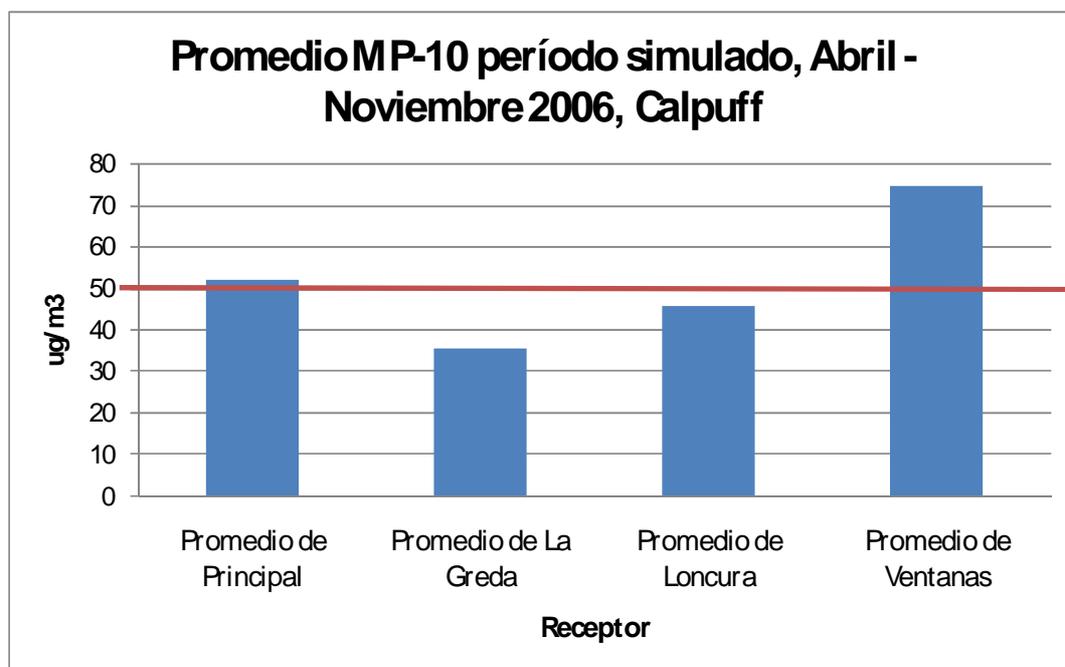


Figura 116: Análisis promedio mensual MP-10 en receptores puntuales de interés dentro y fuera del dominio del proyecto.

En la figura anterior es posible ver que las fuentes de mayor impacto son las fuentes emisoras locales en el caso del MP-10.



**Figura 117: Análisis promedio período MP-10 en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma anual.**

Es posible notar que según el modelo se estaría superando la norma anual en los receptores de Ventanas y Principal. No obstante la simulación no incluye los meses de Enero, Febrero, Marzo y Diciembre y en caso de seguirse la tendencia que se puede ver en la Figura 117 se esperaría que el promedio anual del MP-10 en Ventanas fuera menor que el promedio estimado para el período simulado. Para el caso de la estación Principal no se ve una tendencia mensual clara.

Loncura se encontraría sobre el nivel de Latencia.

Se puede notar la gran diferencia en los resultados del MP-10 en el receptor ubicado en “Principal” entre la simulación de AERMOD y CALPUFF.

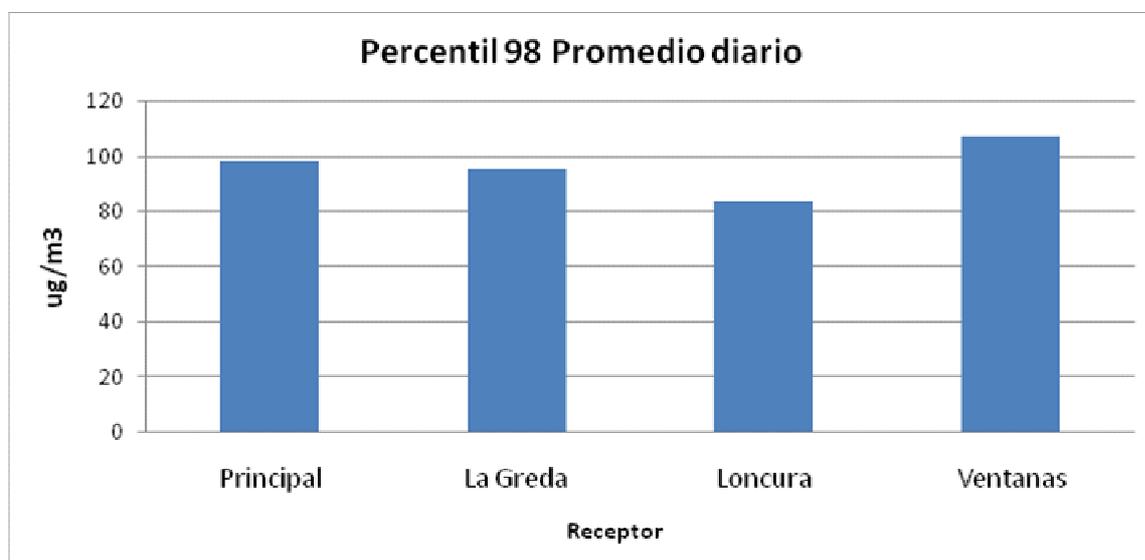


Figura 118: Análisis percentil 98 promedio diarios de MP-10 en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma diaria.

Según los valores simulados no existirían condiciones de superación de la norma ni de latencia para ninguna de los receptores.

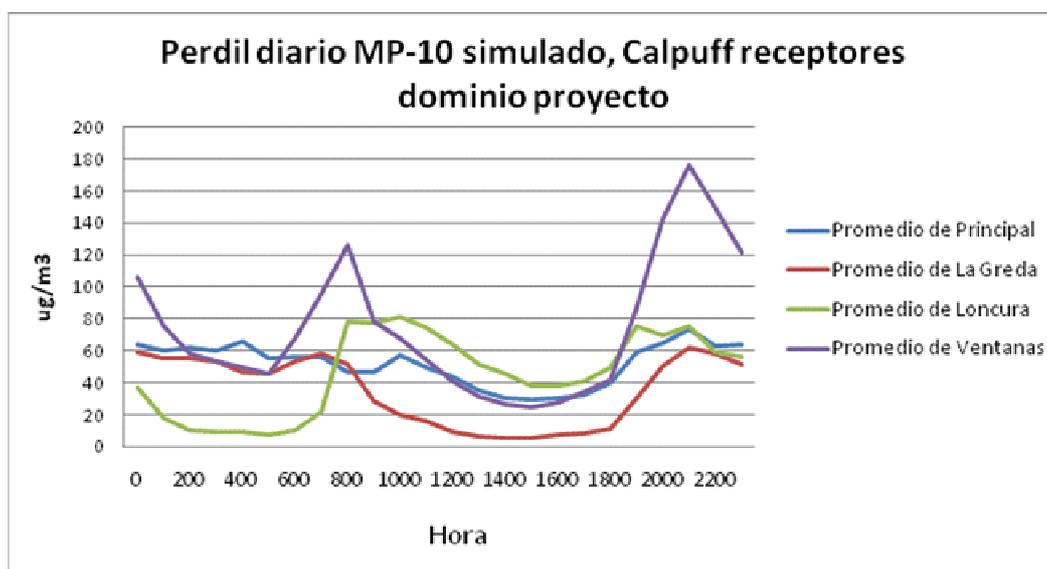
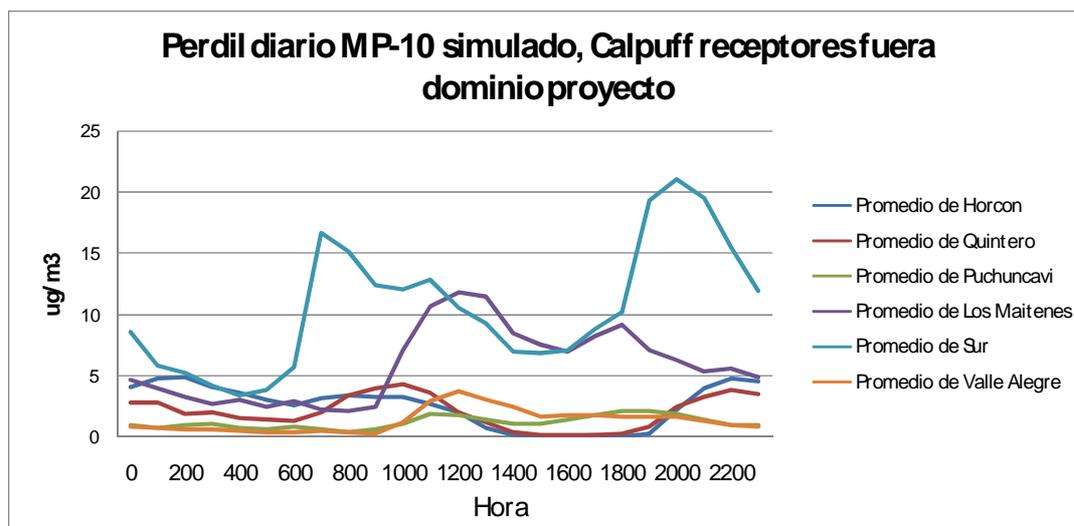


Figura 119: Análisis percentil 98 promedio diarios de MP-10 en receptores puntuales de interés dentro del dominio del proyecto y comparación con la norma diaria.

En la figura anterior se puede ver que el perfil diario promedio para los cuatro receptores ubicados dentro del proyecto presentan una forma que pareciera estar bastante influenciada por el

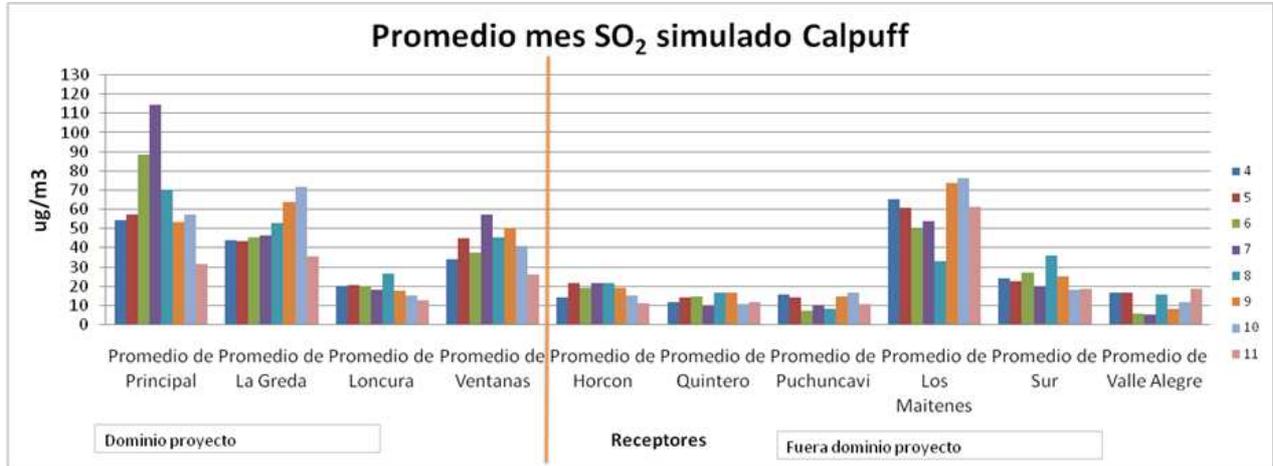
perfiles diarios de flujos de las fuentes móviles. La excepción es el receptor en Principal, donde no se espera que exista un perfil de fuentes móviles particulares típico como en el caso de las otras tres localidades. Las concentraciones puntas de la mañana y de la tarde se intensifican debido a las condiciones atmosféricas más estables existentes a estas horas conjuntamente con el mayor flujo vehicular.



**Figura 120: Análisis percentil 98 promedio diarios de MP-10 en receptores puntuales de interés fuera del dominio del proyecto y comparación con la norma diaria.**

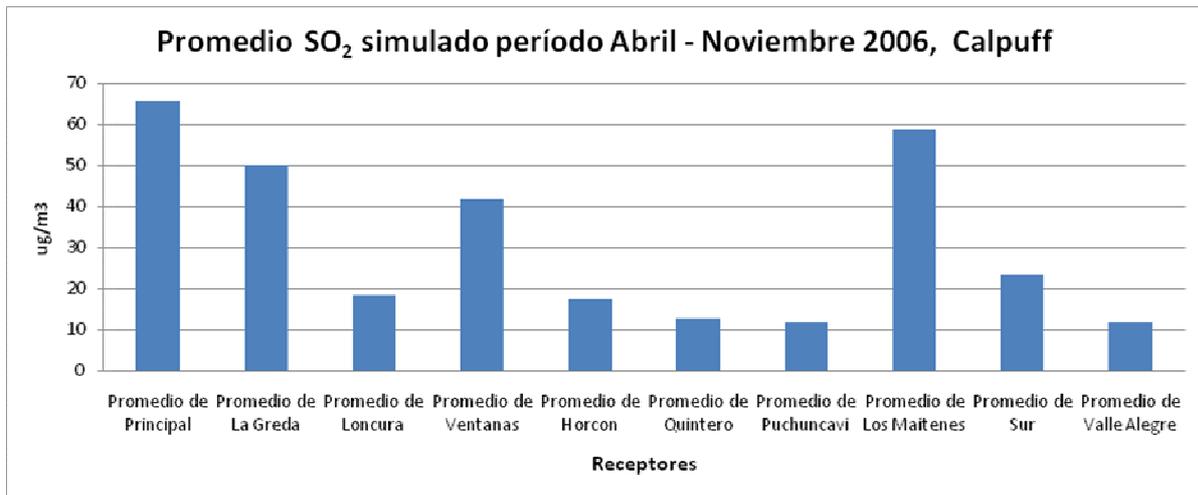
De los receptores que están fuera del dominio de emisiones el único que presenta un perfil diario influenciado por emisiones de fuentes móviles directas es Horcon, esto se debe a que el receptor ubicado en Horcón está a solo 800 metros de la red de fuentes móviles considerada en el proyecto.

## SO<sub>2</sub>



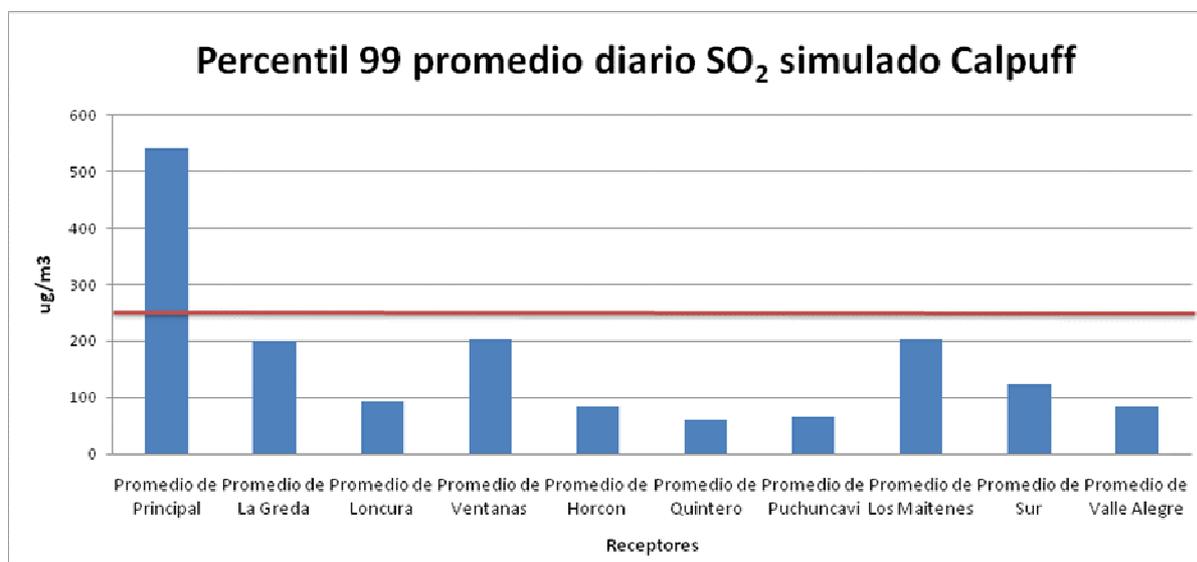
**Figura 121: Análisis promedio mensual SO<sub>2</sub> en receptores puntuales de interés dentro y fuera del dominio del proyecto.**

En la figura anterior es posible ver que el impacto del SO<sub>2</sub> emitido en la zona del proyecto es de mucho mayor alcance espacial que el impacto de las emisiones de MP-10.



**Figura 122: Análisis promedio período simulado SO<sub>2</sub> en receptores puntuales de interés dentro y fuera del dominio del proyecto.**

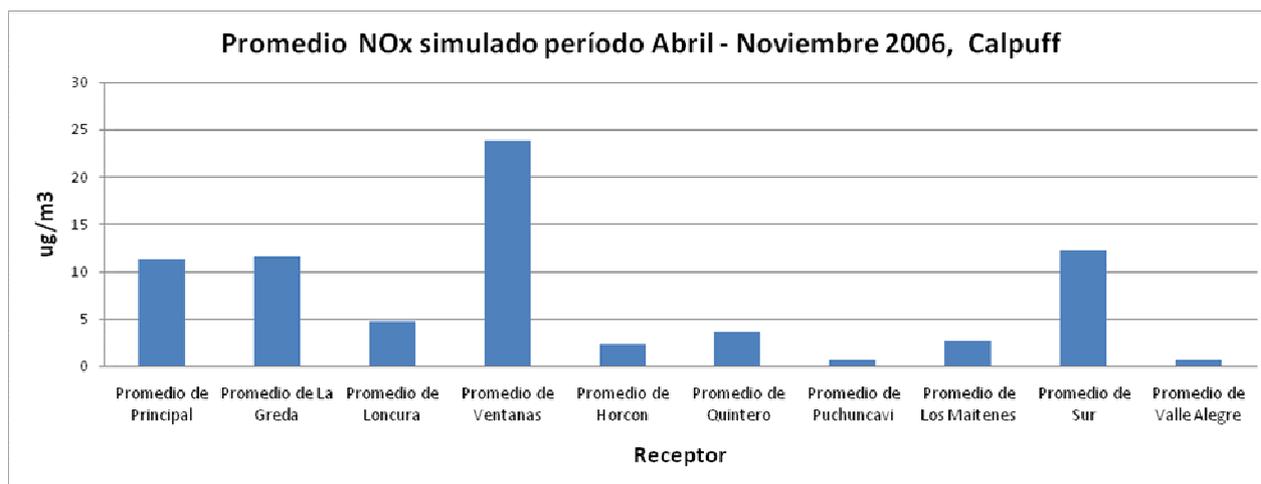
No se supera el valor de la norma anual para SO<sub>2</sub> en ninguno de los receptores simulado, la estación Principal estaría sobre valores de latencia.



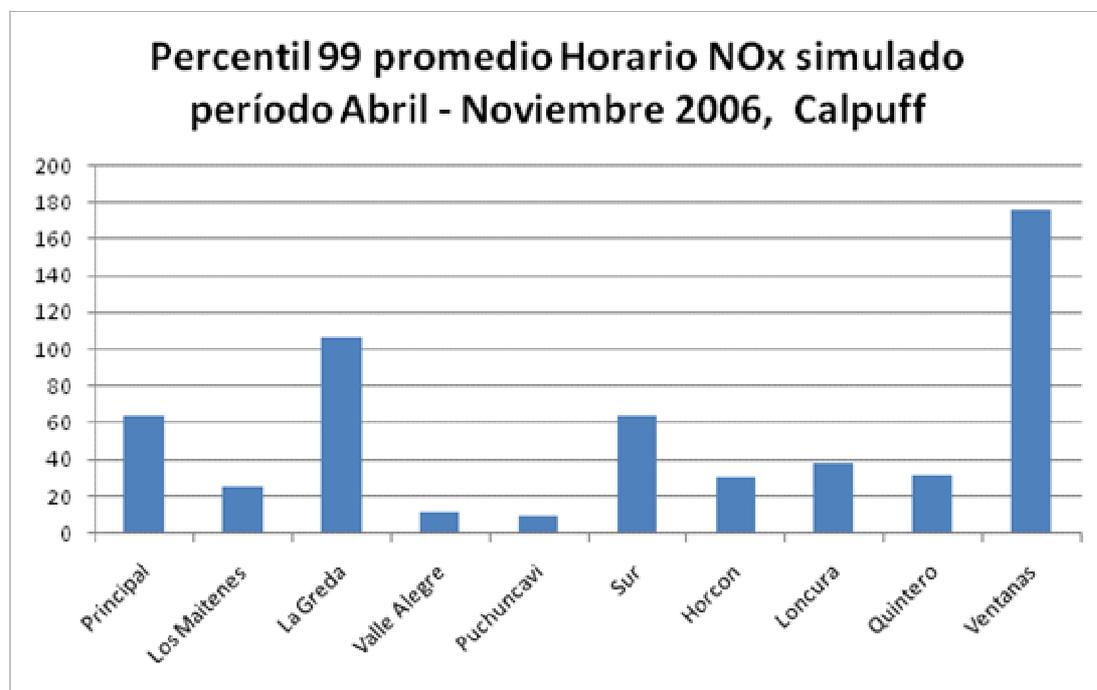
**Figura 123: Análisis percentil 99 promedio diario de SO<sub>2</sub> en receptores puntuales de interés dentro y fuera del dominio del proyecto.**

Según la simulación con CALPUFF, el receptor Principal presentaría niveles de concentración correspondientes a condiciones de saturación por norma diaria de SO<sub>2</sub>, los receptores de La Greda (esta se encuentra considerablemente sobrestimada respecto al monitoreo según la norma diaria), Ventanas (posible sobreestimación) y Los Maitenes están al borde de la Latencia. Maitenes no presenta problemas de sobreestimación por el modelo.

## NO<sub>x</sub>



**Figura 124: Análisis promedio período simulado de NO<sub>x</sub> en receptores puntuales de interés dentro y fuera del dominio del proyecto.**



**Figura 125: Análisis percentil 99 promedio horario de NOx en receptores puntuales de interés dentro y fuera del dominio del proyecto.**

Tanto los promedios del período simulado como el percentil 99 de los valores horarios de NOx están bastante por debajo de sus respectivas normas referenciales de NO<sub>2</sub> (norma anual y norma horaria), por lo que no se ratificarían niveles de saturación o latencia a lo menos en los receptores ubicados dentro del dominio donde se estimaron emisiones, esto según la simulación hecha con Calpuff.

#### **12.4 Aportes de las distintas fuentes a los impactos, AERMOD**

A continuación se presentan la descripción de las series que se presentan en los gráficos de torta. Se utilizó el modelo AERMOD ya que este modelo permite crear grupos de fuentes de contaminantes en una misma simulación. Es decir no es necesario simular cada grupo de fuentes por separado, plazo de estudio no permitió realizar esto con Calpuff.



**Tabla 233: Descripción de las series.**

<b>AESGENER</b>	Corresponden a las emisiones producidas por AESGENER.
<b>BARCO COPEC</b>	Corresponde a las emisiones producidas por la actividad portuaria de la empresa COPEC.
<b>BARCO GASMAR</b>	Corresponde a las emisiones producidas por la actividad portuaria de la empresa GASMAR.
<b>BARCO OXIQUM</b>	Corresponde a las emisiones producidas por la actividad portuaria de la empresa OXIQUM.
<b>BARCO VENTANAS</b>	Corresponde a las emisiones producidas por la actividad portuaria del Puerto de Ventanas
<b>CATUMUTUN</b>	Corresponden a las emisiones producidas por CATUMUTUN.
<b>CODELCO</b>	Corresponden a las emisiones producidas por CODELCO.
<b>COPEC</b>	Corresponden a las emisiones producidas por COPEC.
<b>BARCO ENAP</b>	Corresponde a las emisiones producidas por la actividad portuaria de la empresa ENAP.
<b>GASMAR</b>	Corresponden a las emisiones producidas por GASMAR.
<b>MELON</b>	Corresponden a las emisiones producidas por MELON.
<b>OXIQUM</b>	Corresponden a las emisiones producidas por OXIQUM.
<b>RESTO</b>	Corresponde a las emisiones producidas por incendios (forestales y urbanos), sitios eriazos, construcción de edificios, leña, kerosene, etc.
<b>VENTANAS</b>	Corresponden a las emisiones producidas por el Puerto de Ventanas.
<b>MOVILES</b>	Corresponde a las emisiones producidas por caminos pavimentados.
<b>POLVO RESUSPENDIDO</b>	Corresponde a las emisiones producidas por caminos no pavimentados.

Simulaciones utilizando la meteorología de estación Principal y de la estación Sur. A continuación se presentan las participaciones por fuentes utilizando AERMOD.

## MP10

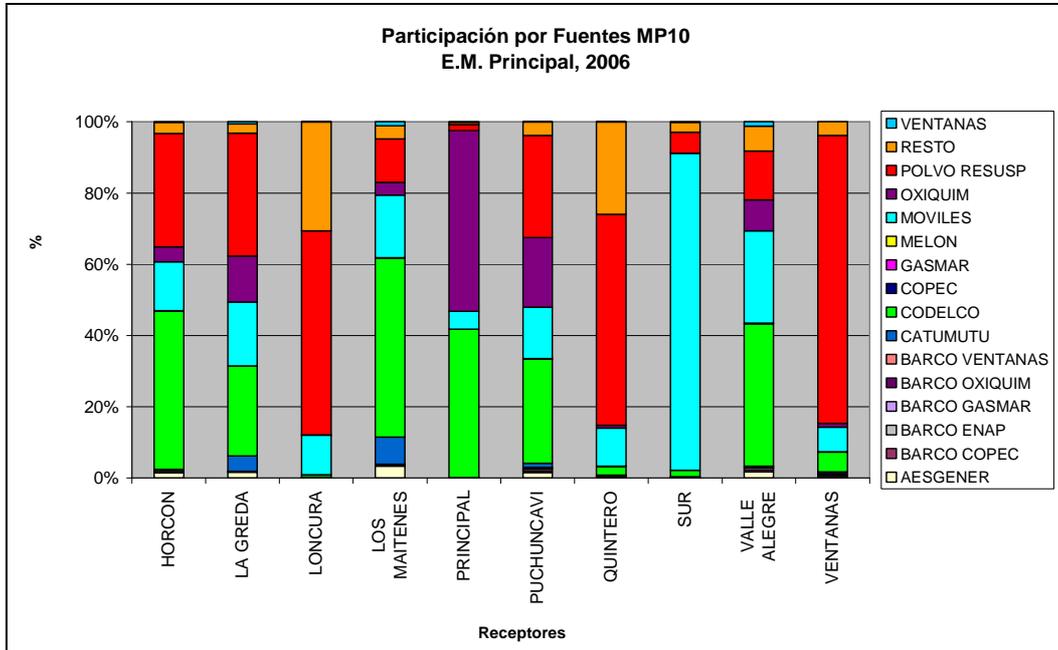


Figura 126: Participación de las fuentes de MP10 utilizando E.M. Principal<sup>37</sup>

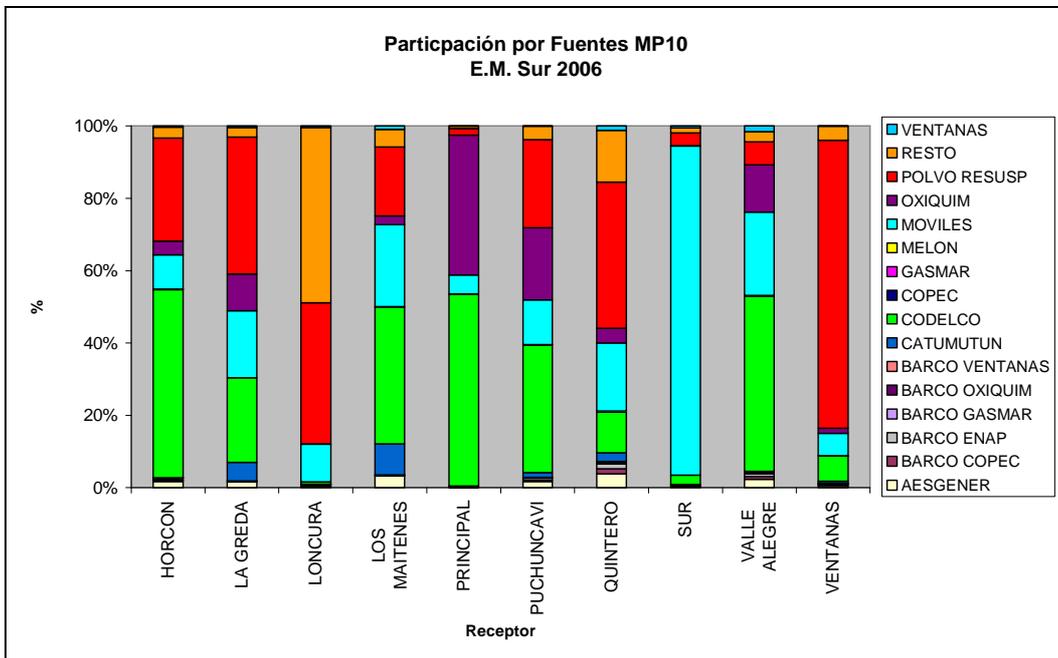


Figura 127: Participación de las fuentes de MP-10 utilizando E.M. Sur

<sup>37</sup> La estación Principal es solo meteorológica por lo que no se miden parámetros de calidad del aire que se puedan contrastar con los resultados del modelo.



Al utilizar la estación Principal, se puede ver la predominancia de los impactos de Codelco en Horcon, Los Maitenes y Valle Alegre. La participación en Principal es mayoritaria de Oxiquim, en otros receptores como Loncura, Ventanas, La Greda e incluso Quintero (en esta última no se considera la red vial local), la mayor participación corresponde al polvo resuspendido de calles sin pavimentar. Si se considera el aporte de fuentes móviles (el cual incluye emisiones por tubo de escape y polvo resuspendido en calles pavimentadas) más el polvo resuspendido de calles sin pavimentar se puede ver que el impacto total por fuentes móviles es predominante para el MP-10 en casi todos los receptores a excepción de Los Maitenes y Principal.

Al utilizar la estación Sur las distribuciones de impactos son muy similares, salvo excepciones:

- En Quintero aumenta la participación de Codelco y el levantamiento de polvo de calles pavimentadas y disminuye la importancia relativa de los impactos por levantamiento de polvo de calles sin pavimentar.
- En Loncura aumenta la participación del resto de fuentes y disminuye la participación del impacto por levantamiento de polvo de calles.
- En Los Maitenes disminuye la participación de Codelco.

## SO2

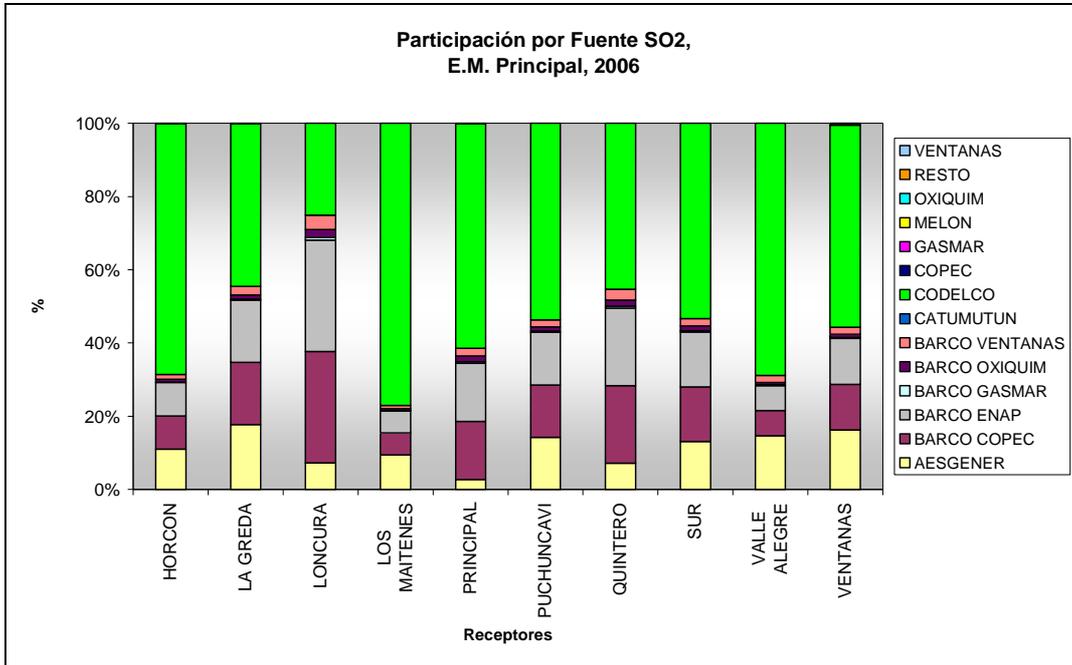


Figura 128: Participación de las fuentes de SO2 utilizando E.M. Principal<sup>38</sup>

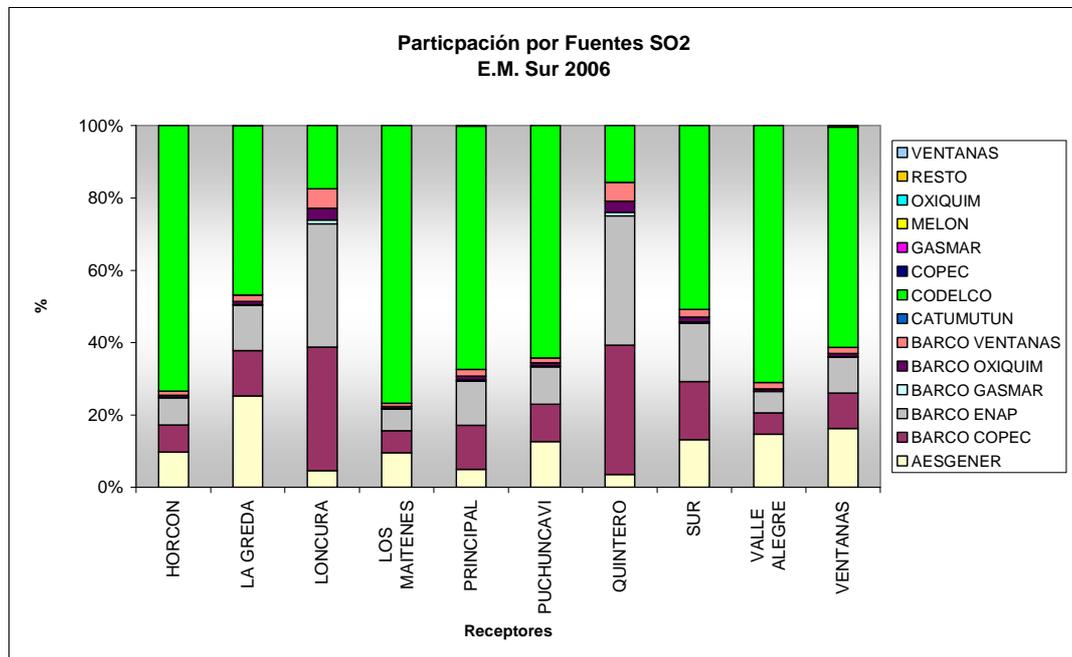
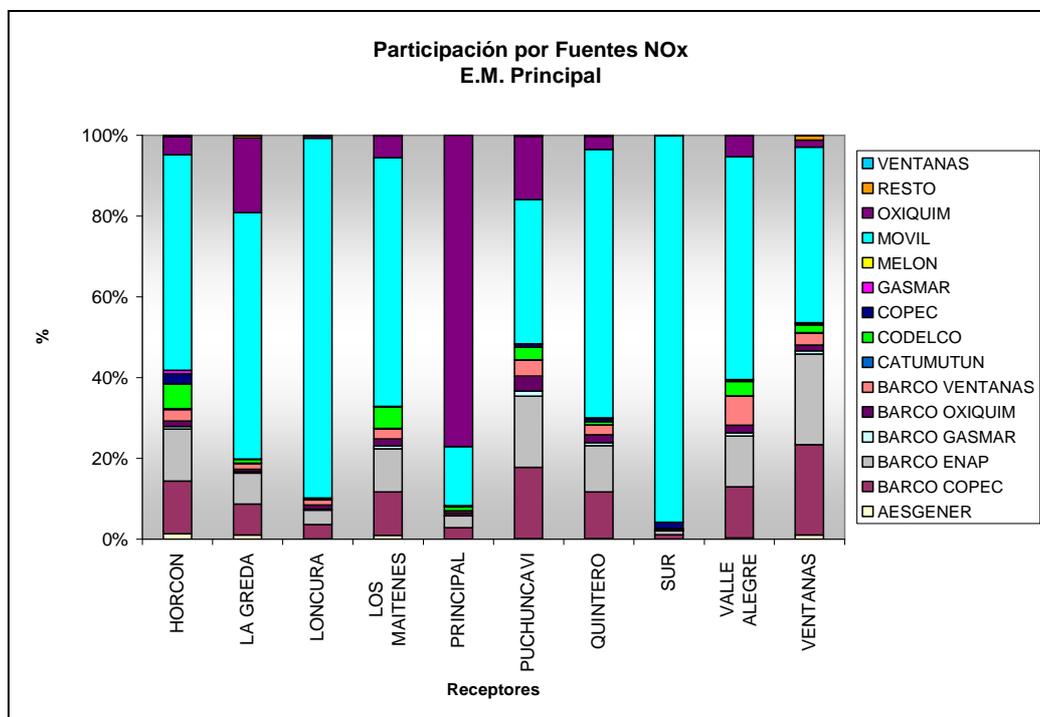


Figura 129: Participación de las fuentes de SO2 utilizando E.M. Sur

<sup>38</sup> La estación Principal es solo meteorológica por lo que no se miden parámetros de calidad del aire que se puedan contrastar con los resultados del modelo.

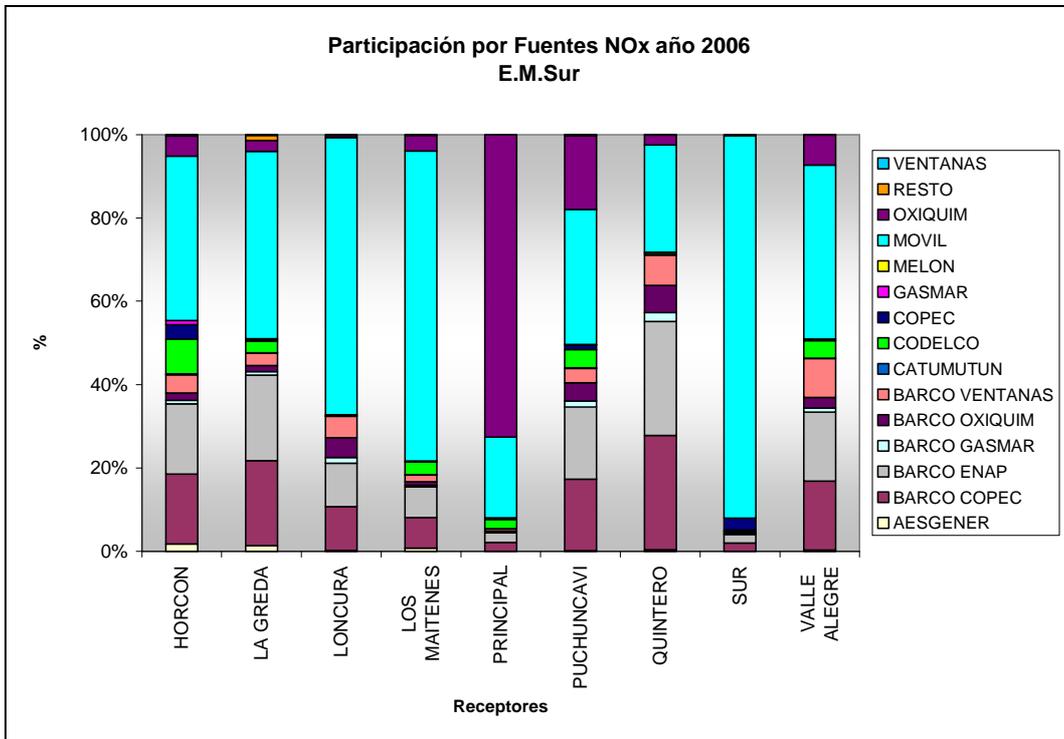
## NO<sub>x</sub>



**Figura 130: Participación de las fuentes de NO<sub>x</sub> utilizando E.M. Principal<sup>39</sup>**

A excepción del receptor en Principal se ve una clara predominancia de las emisiones por tubo de escape de las fuentes móviles. En Principal predominan las emisiones de Oxiquim. Existe cierta participación importante de las emisiones por actividad Naviera en varios receptores.

<sup>39</sup> La estación Principal es solo meteorológica por lo que no se miden parámetros de calidad del aire que se puedan contrastar con los resultados del modelo.



**Figura 131: Participación de las fuentes de NOx utilizando E.M. Sur**

## 12.5 Mapas de concentraciones Calpuff

### MP-10

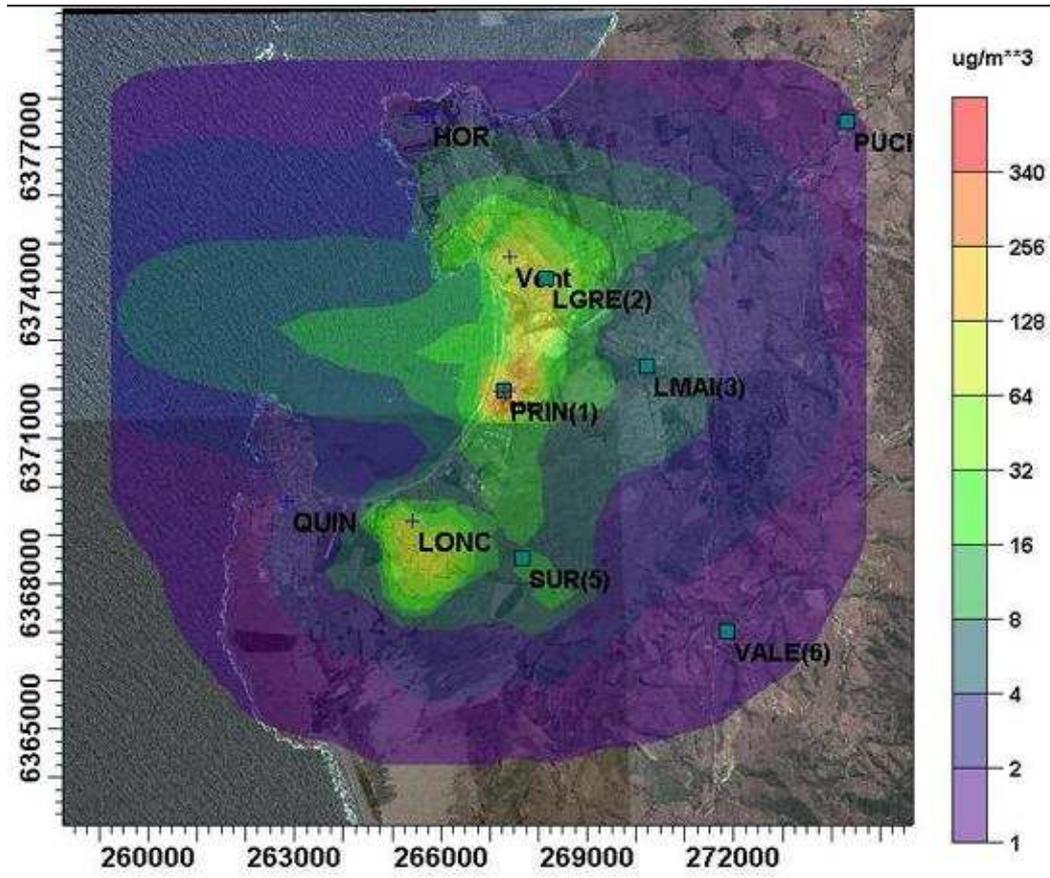


Figura 132: Mapa de concentraciones de MP-10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) promedio período simulado

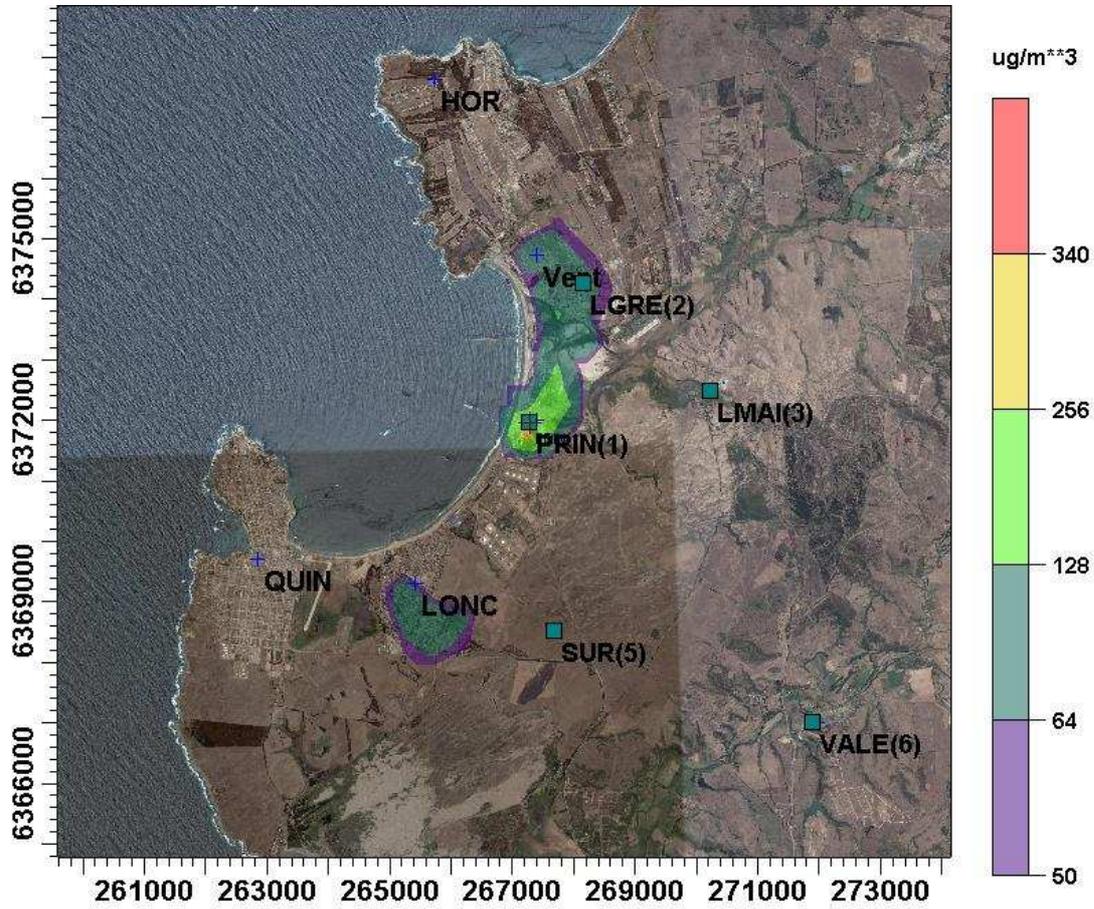


Figura 133 Zona de superación de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de MP-10 promedio período simulado

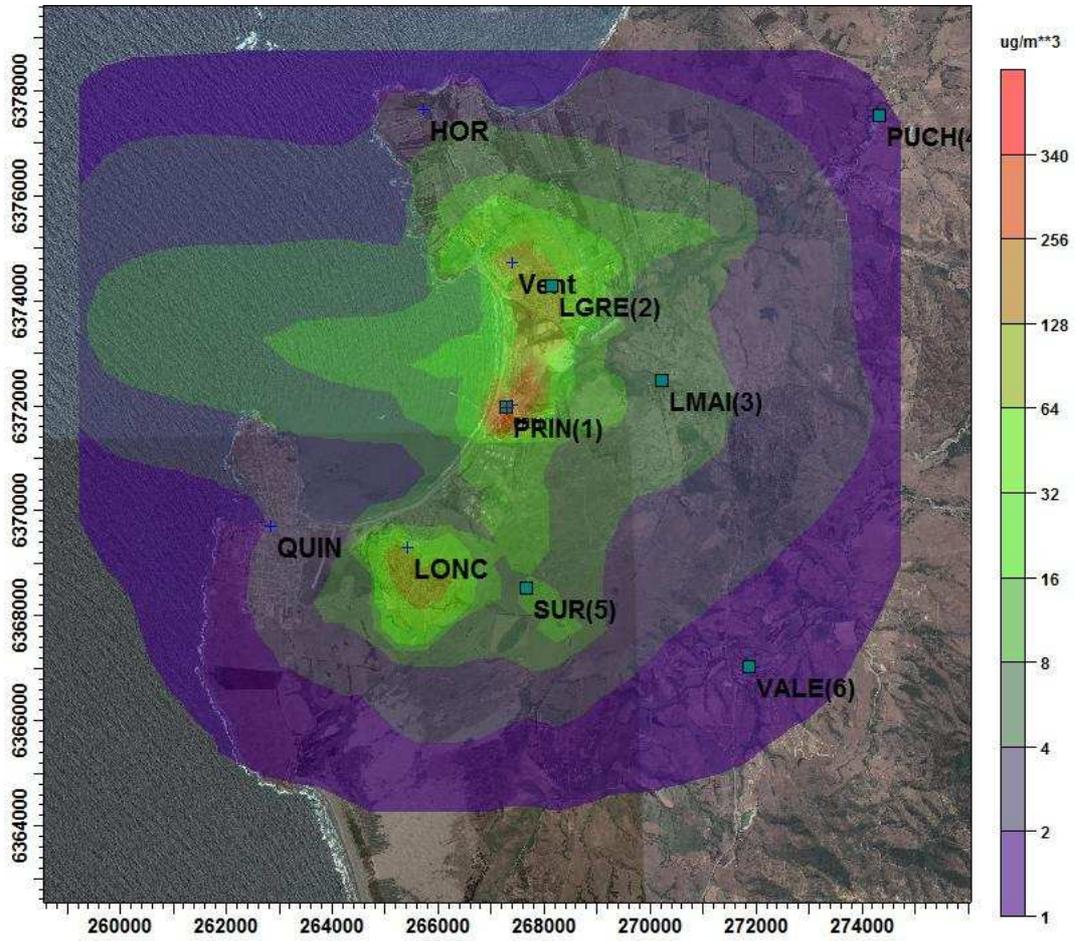


Figura 134: Mapa de concentraciones del percentil 98 del promedio diario de MP-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simulado

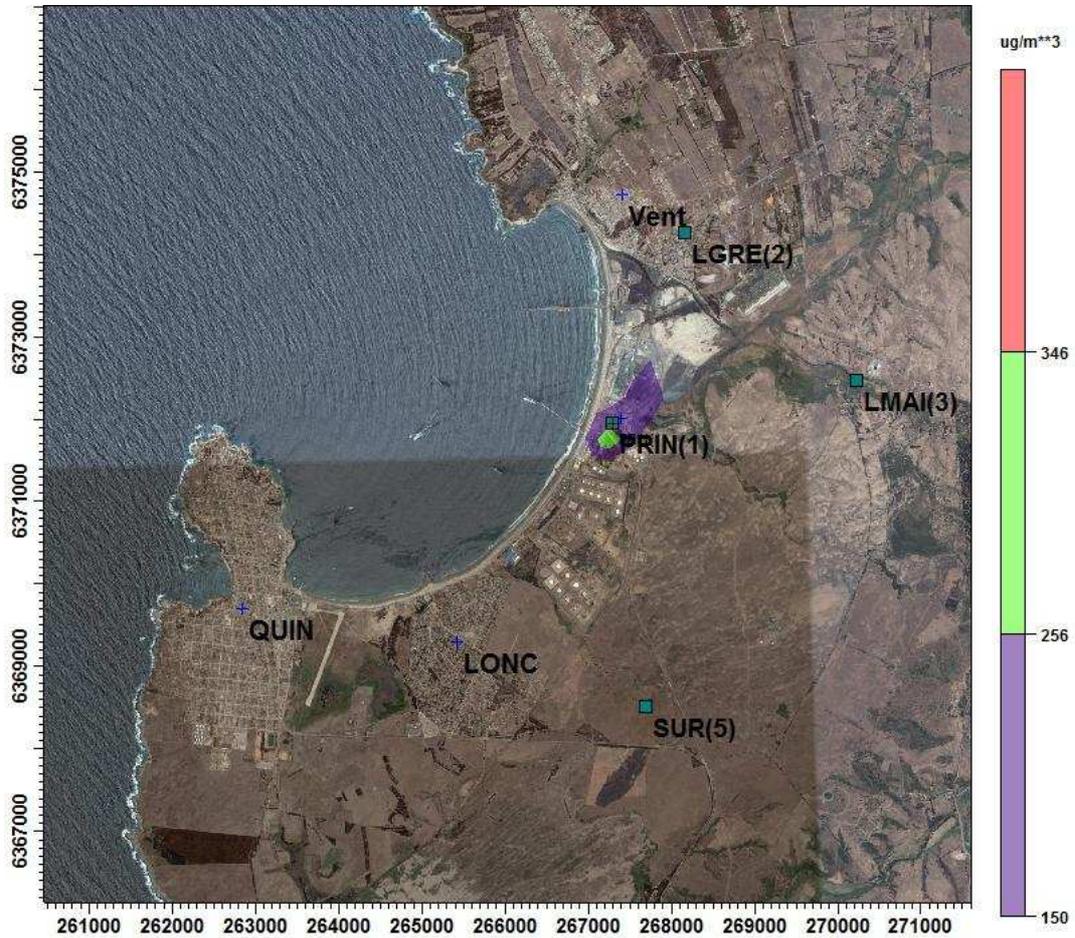


Figura 135 Zona de superación de 150 ug/m<sup>3</sup> de MP-10 percentil 98 promedio diario.

La zona de superación de los 150 ug/m<sup>3</sup> del percentil 98 del promedio diario esta muy reducida a un área del sector industrial.

SO<sub>2</sub>

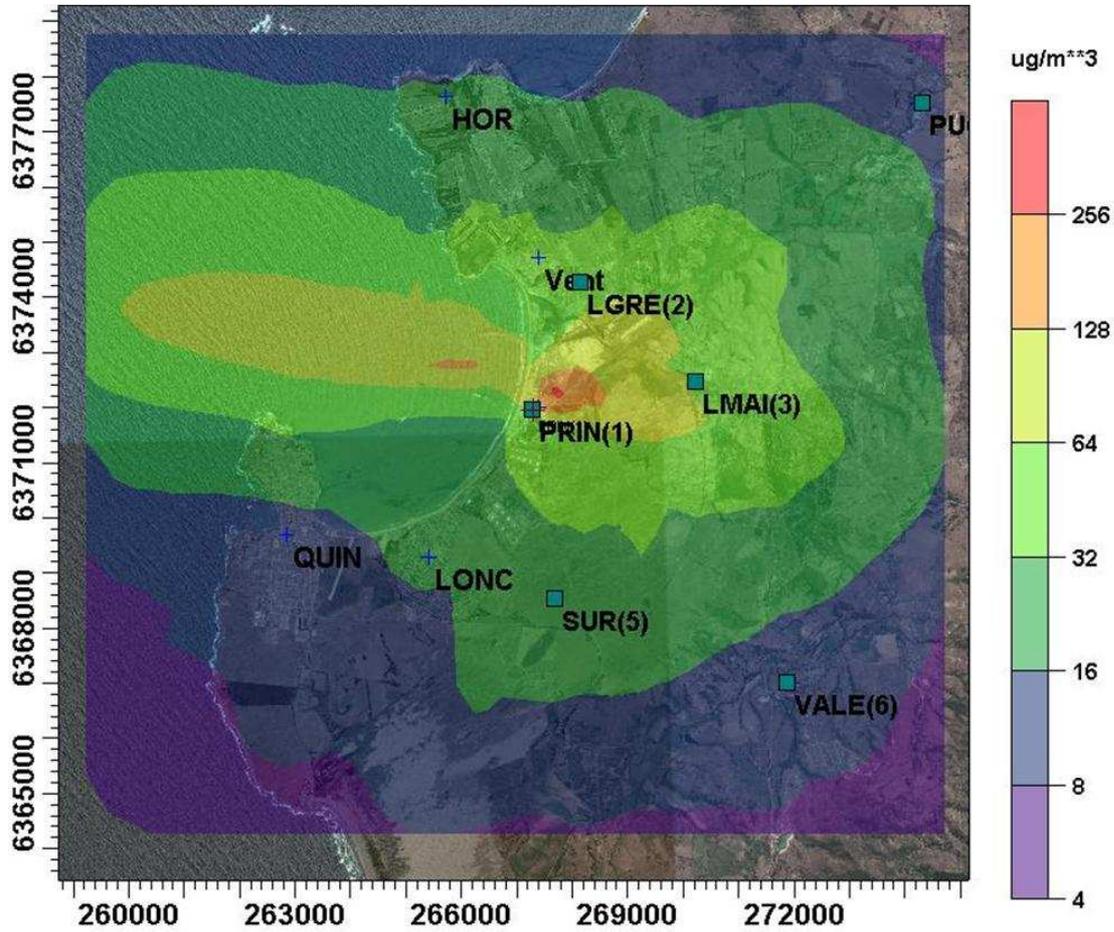


Figura 136: Mapa de concentraciones de SO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) promedio período simulado

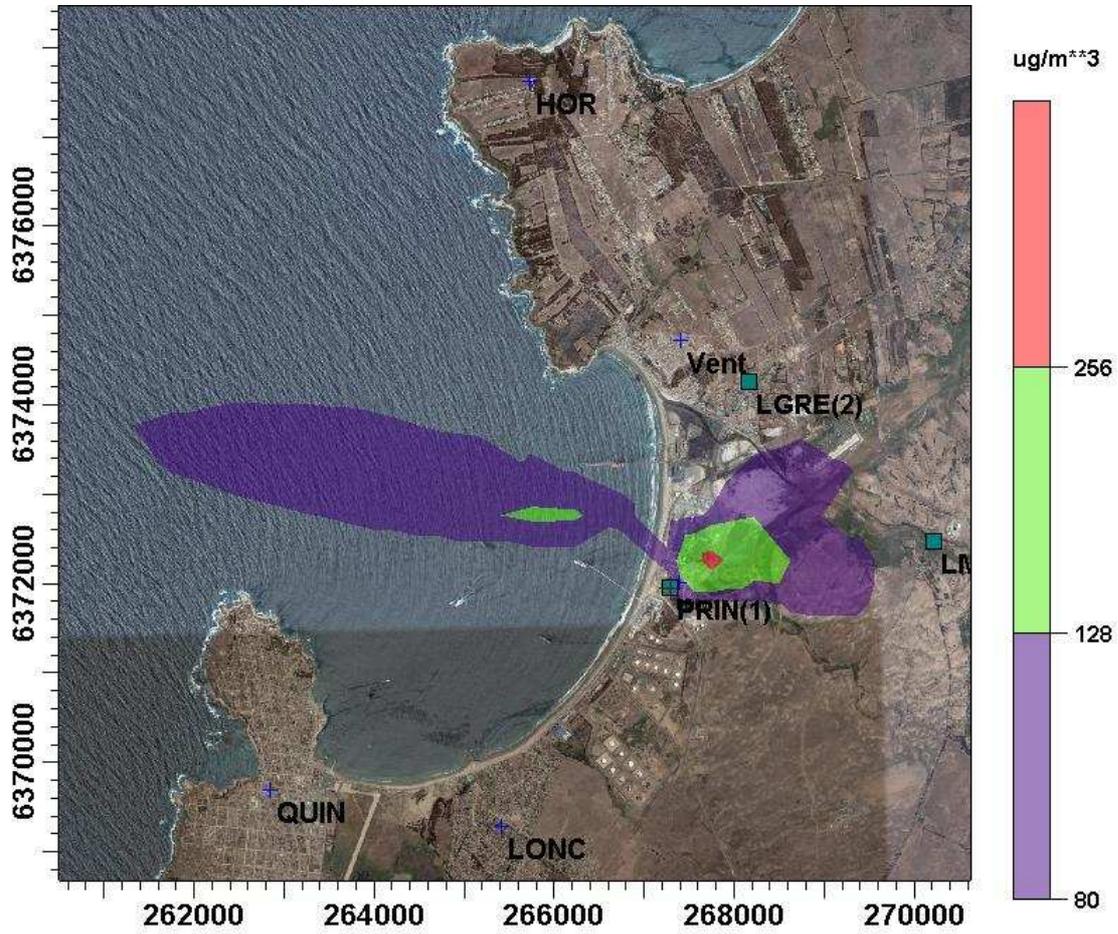


Figura 137: Zona de superación de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  concentraciones de  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) promedio período simulado

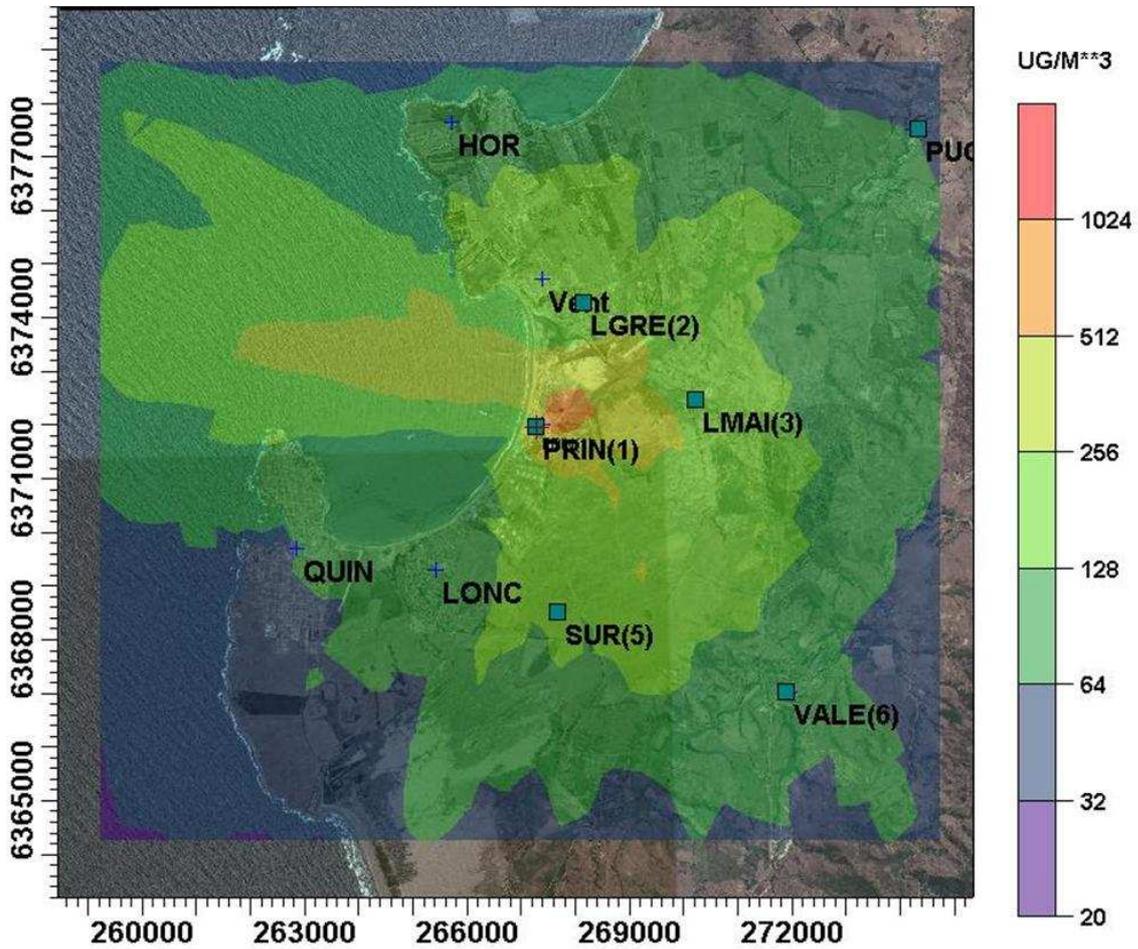


Figura 138: Mapa de concentraciones percentil 99 promedio diario de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

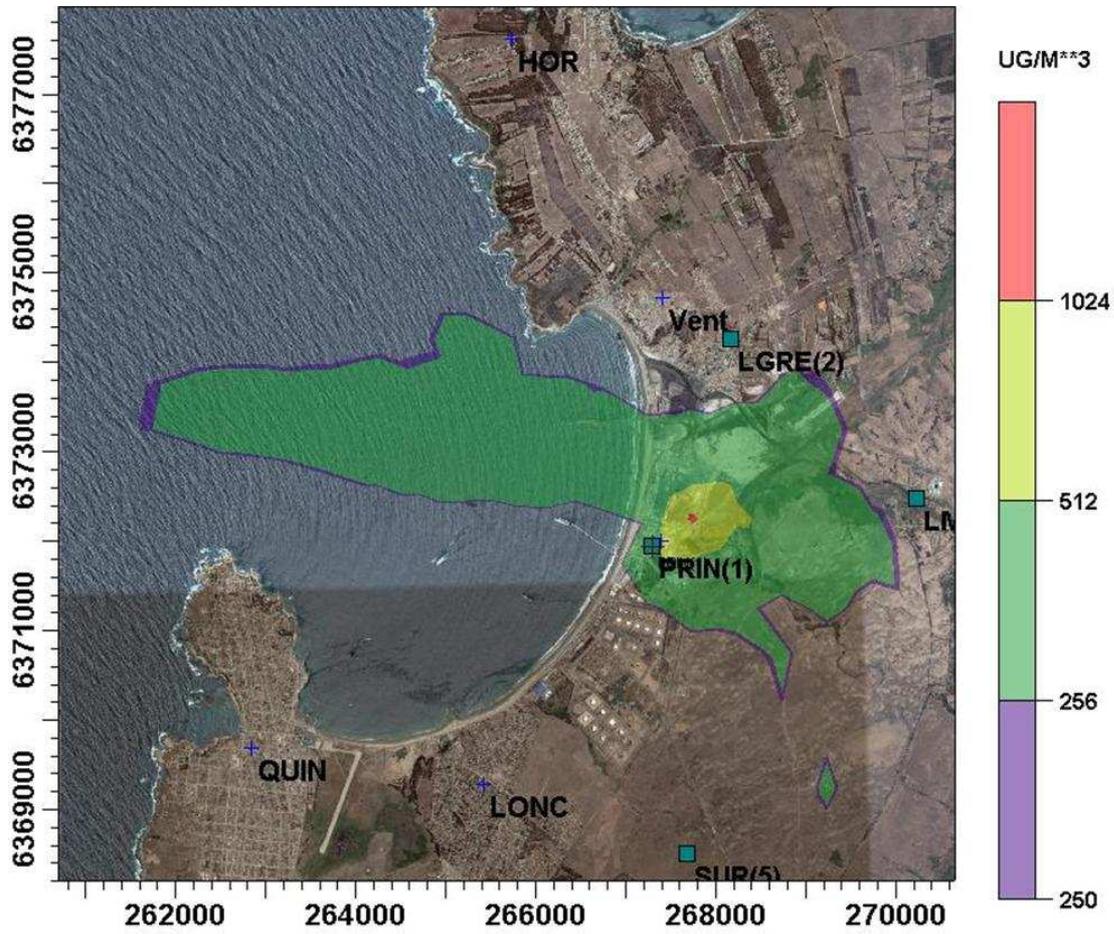


Figura 139: Zona superación de 250 ug/m3 percentil 99 promedio diario de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

## NO<sub>x</sub>

Para calcular NO<sub>x</sub> se escogió la opción de utilizar el esquema Mesopuff II disponible dentro del modelo calpuff. Para obtener más información referirse al manual del modelo CALPUFF<sup>40</sup>

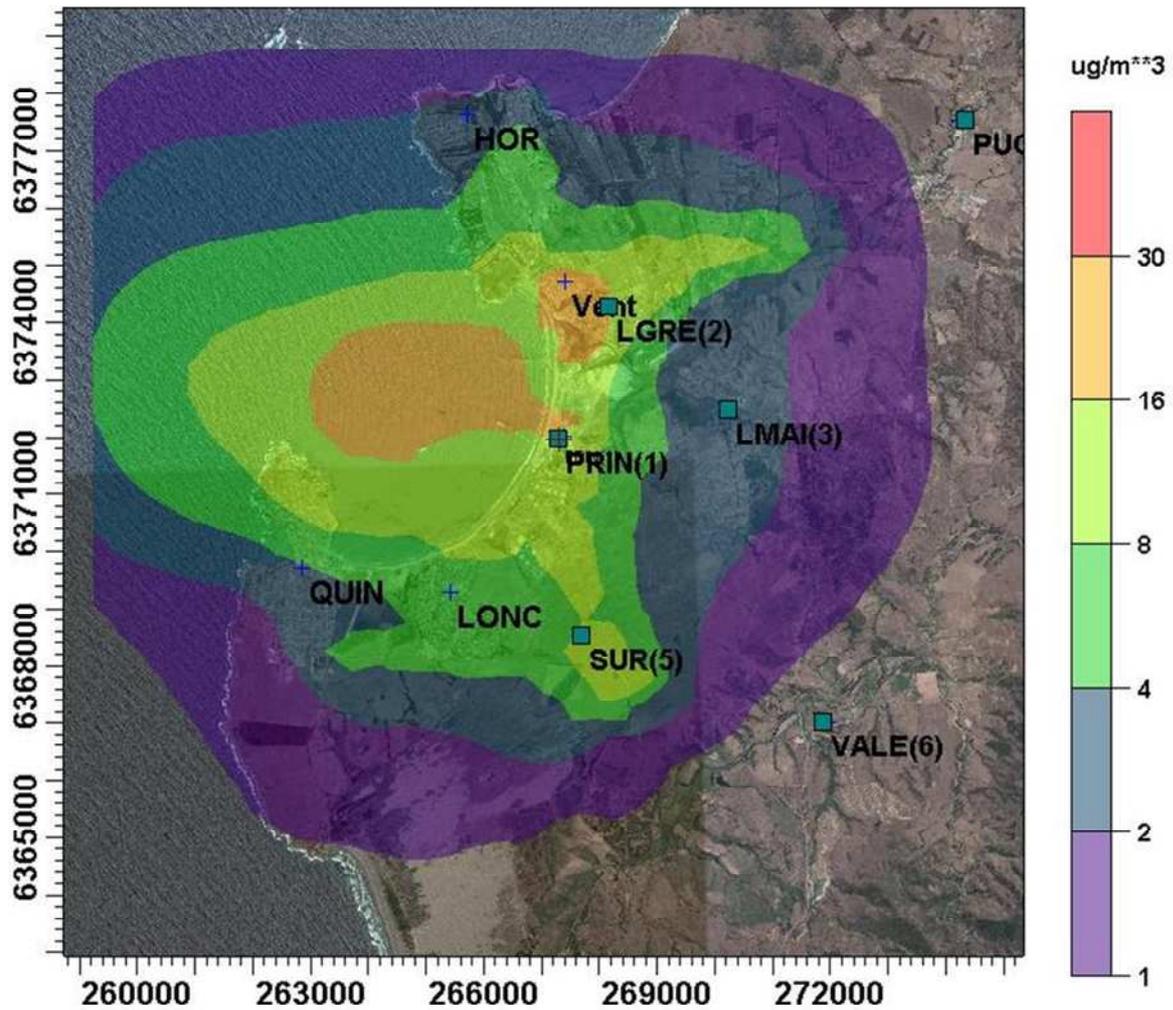


Figura 140 Mapa promedio período de NO<sub>x</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

<sup>40</sup> [www.src.com](http://www.src.com)

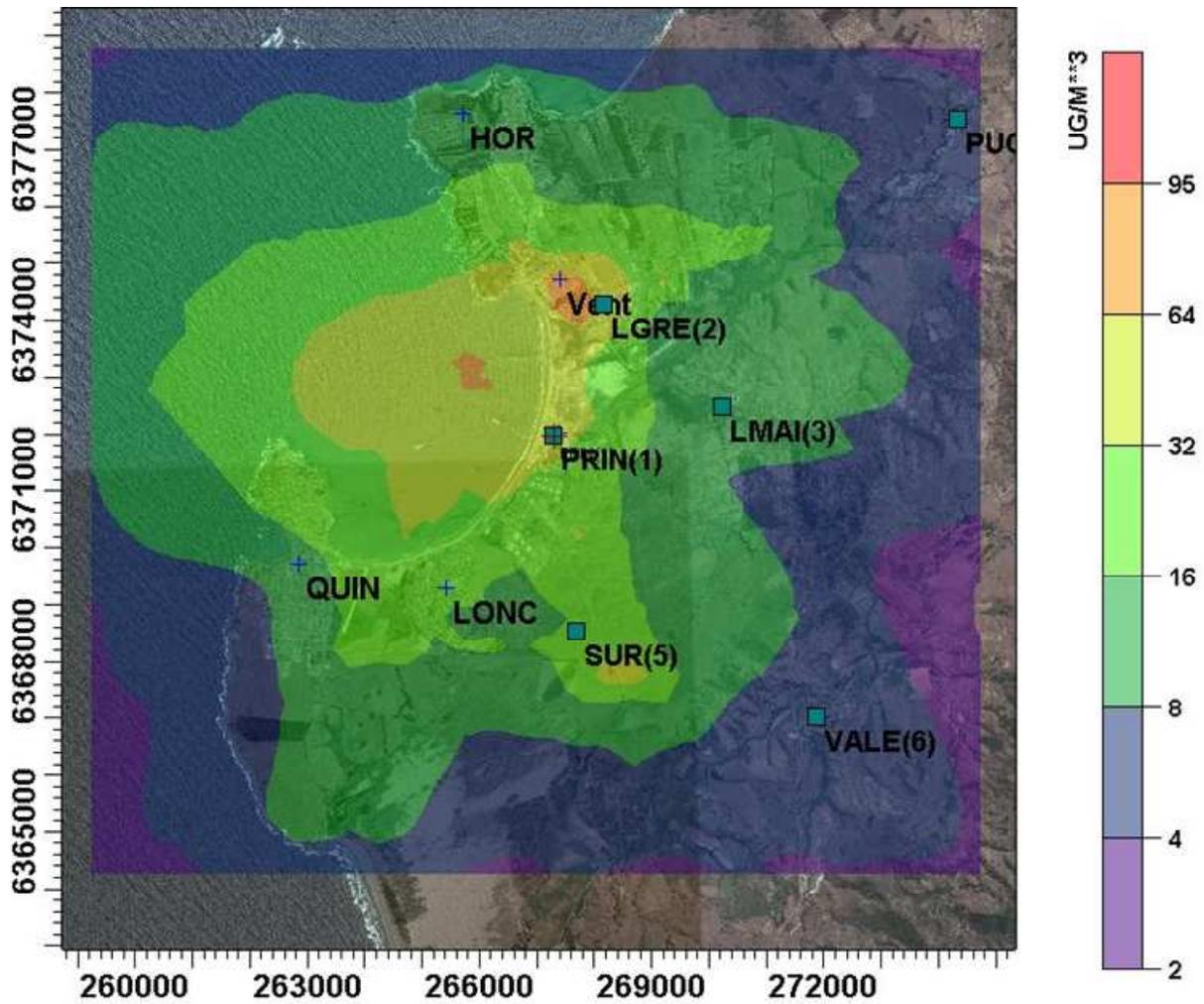


Figura 141 Mapa máximo horario de NOx ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### 13 Componentes primarios y secundarios del material particulado simulado

**Tabla 234: Componentes material particulado en receptores.**

Receptor	MP <sub>10</sub> Primario (□g/m <sup>3</sup> )	NO <sub>3</sub> (□g/m <sup>3</sup> )	SO <sub>4</sub> (□g/m <sup>3</sup> )	MP <sub>10</sub> total (□g/m <sup>3</sup> )
Principal	53.02	0.05	0.32	53.40
Los Maitenes	5.23	0.04	0.62	5.89
La Greda	35.14	0.07	0.36	35.58
Valle Alegre	1.01	0.02	0.33	1.36
Puchuncavi	0.98	0.02	0.18	1.18
Sur	10.20	0.05	0.31	10.56
Horcon	2.29	0.05	0.23	2.57
Loncura	45.37	0.04	0.24	45.65
Quintero	1.77	0.04	0.21	2.02
Ventanas	73.96	0.10	0.35	74.41

Se puede ver que el mayor impacto concentración promedio del período para el Sulfato corresponde a Los Maitnes y en el caso del Nitrato al receptor de Ventanas.

**Tabla 235: Porcentaje relativo de componentes material particulado en receptores.**

Receptor	MP <sub>10</sub> Primario (%)	NO <sub>3</sub> (%)	SO <sub>4</sub> (%)	MP <sub>10</sub> total
Principal	99.30%	0.10%	0.60%	100%
Los Maitenes	88.80%	0.74%	10.45%	100%
La Greda	98.77%	0.21%	1.02%	100%
Valle Alegre	74.52%	1.60%	23.88%	100%
Puchuncavi	83.46%	1.45%	15.09%	100%
Sur	96.66%	0.44%	2.89%	100%
Horcon	88.99%	1.99%	9.02%	100%
Loncura	99.37%	0.09%	0.53%	100%
Quintero	87.68%	2.16%	10.16%	100%
Ventanas	99.39%	0.14%	0.47%	100%

La tabla anterior muestra que los mayores aportes porcentuales de material particulado secundario corresponden a receptores más alejados de las fuentes de emisión analizadas, esto se debe a que la formación de nitratos y sulfatos necesitan tiempo para que ocurran, y agregando el factor de que las mayores emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> provienen de chimneas en altura. Es así que los mayores impactos se generan a varios kilómetros de la fuente, no en las cercanías.

## 14 Conclusiones

- Como es esperado, Calpuff muestra en general mejor desempeño que AERMOD. Se ve gran similitud de perfiles diarios para el SO<sub>2</sub> en La Greda y Los Maitenes.
- Cabe destacar la gran diferencia en la estimación de concentraciones de MP-10, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> en el receptor ubicado en la estación Principal. AERMOD tiende a sobreestimar las concentraciones en los receptores que están muy cercanos a fuentes de emisiones de magnitud importante. En el caso del receptor ubicado en la estación Principal existen fuentes importantes de emisión que están a menos de 200 metros de distancia a este receptor.
- Máximos impactos se concentran en receptor Ventanas para MP<sub>10</sub> y NO<sub>x</sub> y en receptores Principal y Los Maitenes para SO<sub>2</sub> (según modelo CALPUFF principalmente)
- De las tortas de participación:
  - Existen solo diferencias marginales en la distribución porcentual de la participación de los grupos de fuentes de emisión en los receptores analizados al utilizar la meteorología de la estación Principal o de la estación Sur en AERMOD. En cambio las magnitudes totales de las concentraciones varían de manera sustancial.
  - Para el SO<sub>2</sub> el impacto de barcos predomina en Quintero y Loncura, en el resto de los receptores predominan los impactos de Codelco.
  - En MP<sub>10</sub> predominan los impactos por levantamiento de polvo de calles (i.e. fuentes móviles) en todos los receptores, a excepción del receptor en la estación meteorológica Principal, donde predominan los impactos de Codelco y Oxiquim. (Esta es el área industrial y no existe información de calidad del aire)
  - En NO<sub>x</sub> predominan los impactos de fuentes móviles (seguido por los barcos), a excepción del receptor en la estación meteorológica Principal donde predominan los impactos de Oxiquim.
- De los receptores analizados:
  - Mayor participación porcentual de CODELCO en impacto en SO<sub>2</sub> es en Los Maitenes
  - Mayor participación porcentual de AES-GENER en impacto en SO<sub>2</sub> es en La Greda
- De los mapas de concentración
  - Impacto local del MP<sub>10</sub> en zona industrial, además altos impactos asociados al levantamiento de polvo de fuentes móviles en parte de Ventanas y Loncura.
  - Existe un alto impacto local del SO<sub>2</sub> sobre la zona industrial, pero además los altos niveles se extienden hacia el Oeste sobre la bahía (por los aportes de los actividad



naviera) y hacia el Este, casi llegando a la zona de la estación de monitoreo de Los Maitenes.

- Impacto en NO<sub>x</sub> (por lo tanto en NO<sub>2</sub>) es de menor importancia que los impactos de MP<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>, no existe superación de normas para el NO<sub>2</sub>, ni se cae en latencia en ninguna parte del dominio modelado.
- La fracción de particulado secundario estimado por CALPUFF es bajo respecto el MP<sub>10</sub> total estimado. Las concentraciones relativas de material particulado secundario respecto a las concentraciones del MP<sub>10</sub> total son de mayor importancia en receptores más alejados de las fuentes de emisión. (Ej, Los Maitenes, Valle alegre y Puchuncavi.

Para entender mejor y complementar el análisis de los aportes de las distintas fuentes de emisiones al MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub> lo recomendable sería realizar un estudio de modelo receptor con análisis de filtros.

## 15 RESUMEN DE INVENTARIO DE EMISIONES

A continuación se entregan los resultados del Inventario de Emisiones 2006 para la zona de estudio. Las tablas presentadas en esta sección entregan los resultados agregados de las fuentes emisoras principales, mientras que en el capítulo 16 se entregan los resultados del inventario detallado por tipo de fuente.

Las figuras siguientes muestran la forma de agregación de las fuentes, agrupadas por categoría principal, con el fin de poder interpretar a qué fuentes específicas corresponden las agrupaciones de fuentes principales, entregadas en las tablas de resúmenes de inventarios que se entregan a continuación.

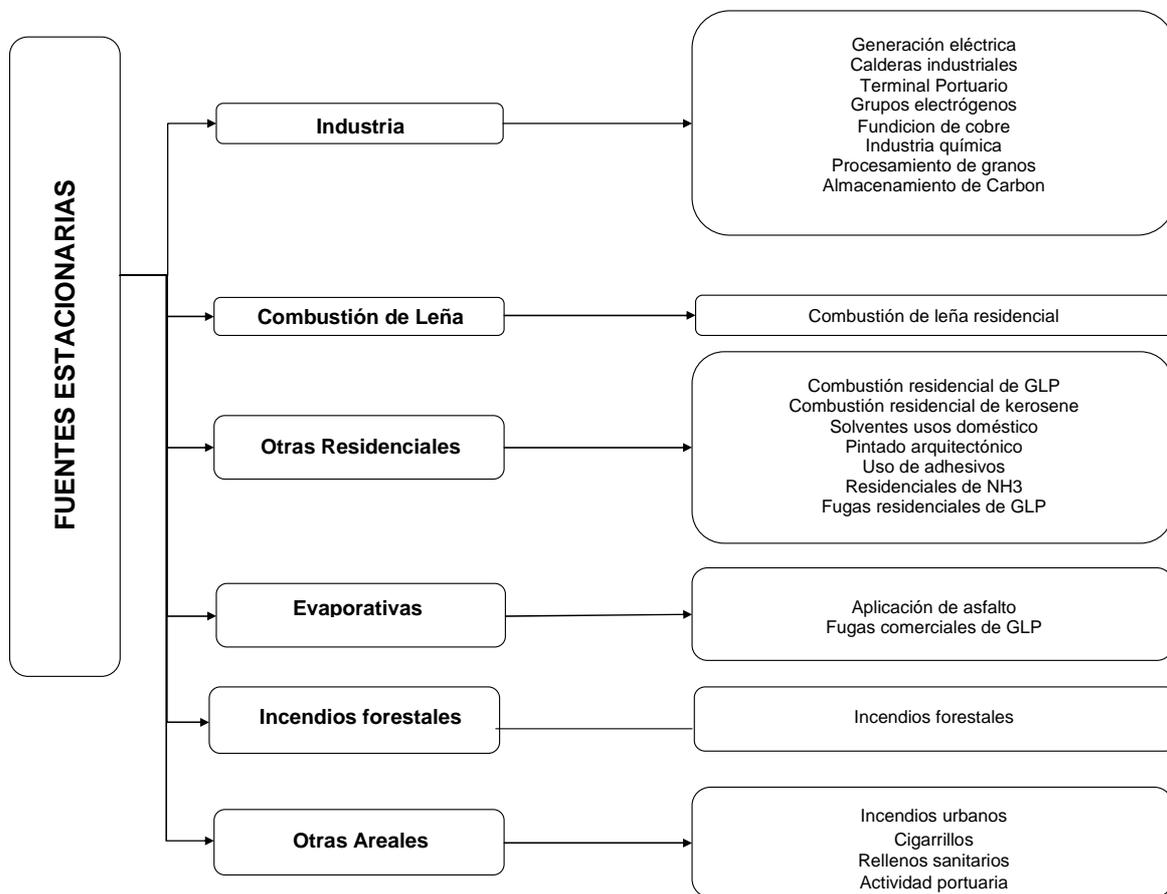


Figura 142. Estructura de agrupación de fuentes estacionarias.

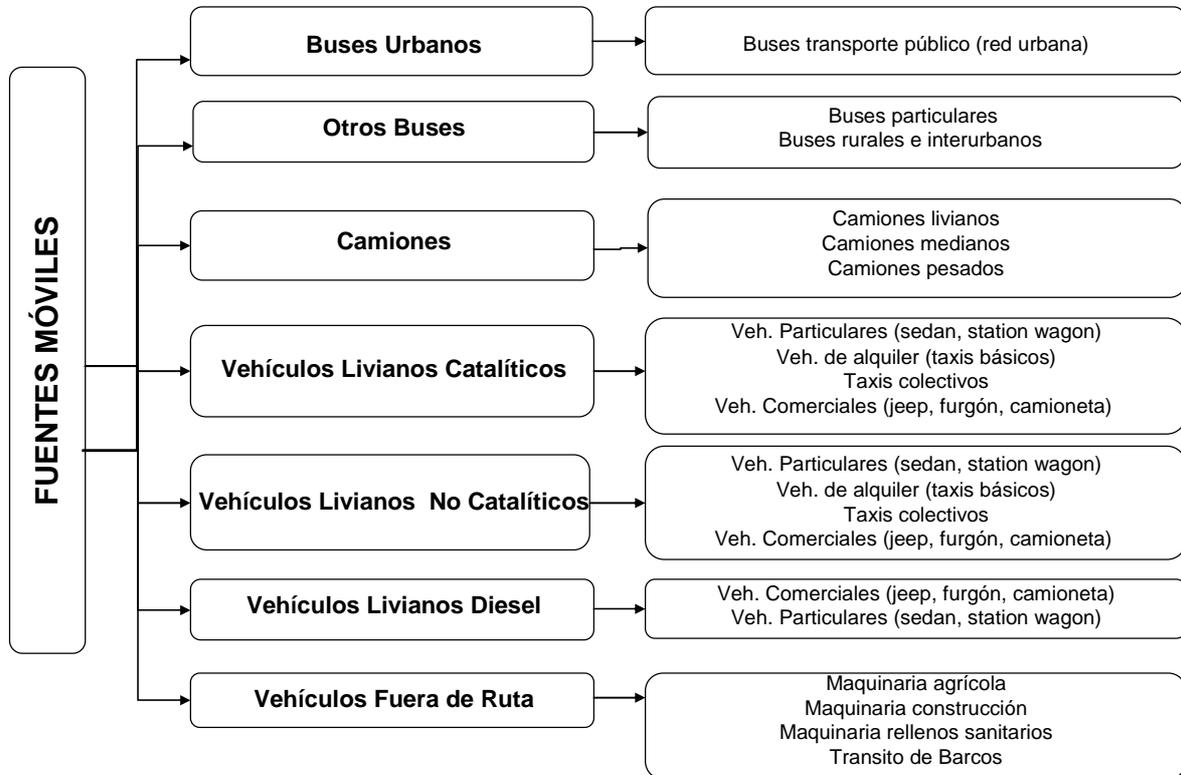


Figura 143. Estructura de agrupación de fuentes móviles.

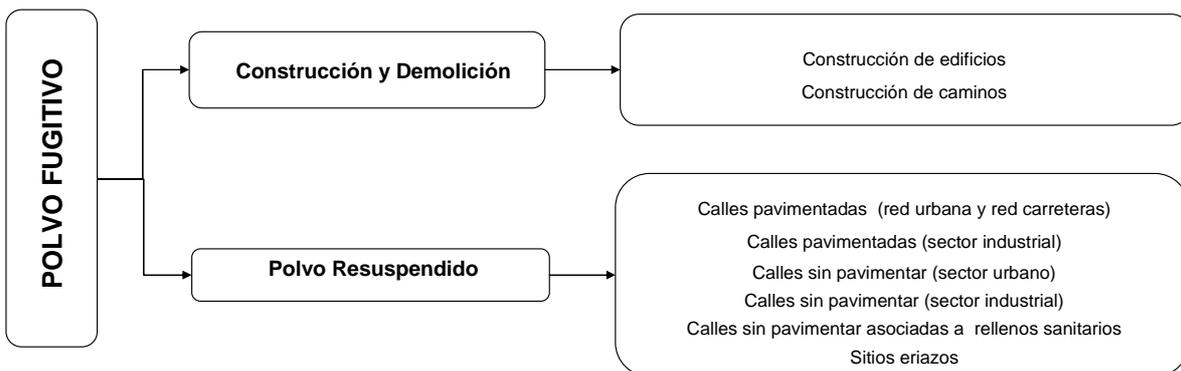


Figura 144. Estructura de agrupación de fuentes de polvo fugitivo.

## 15.1 Escenario 2006

Tabla 236: Resumen de inventario de emisiones escenario 2006.

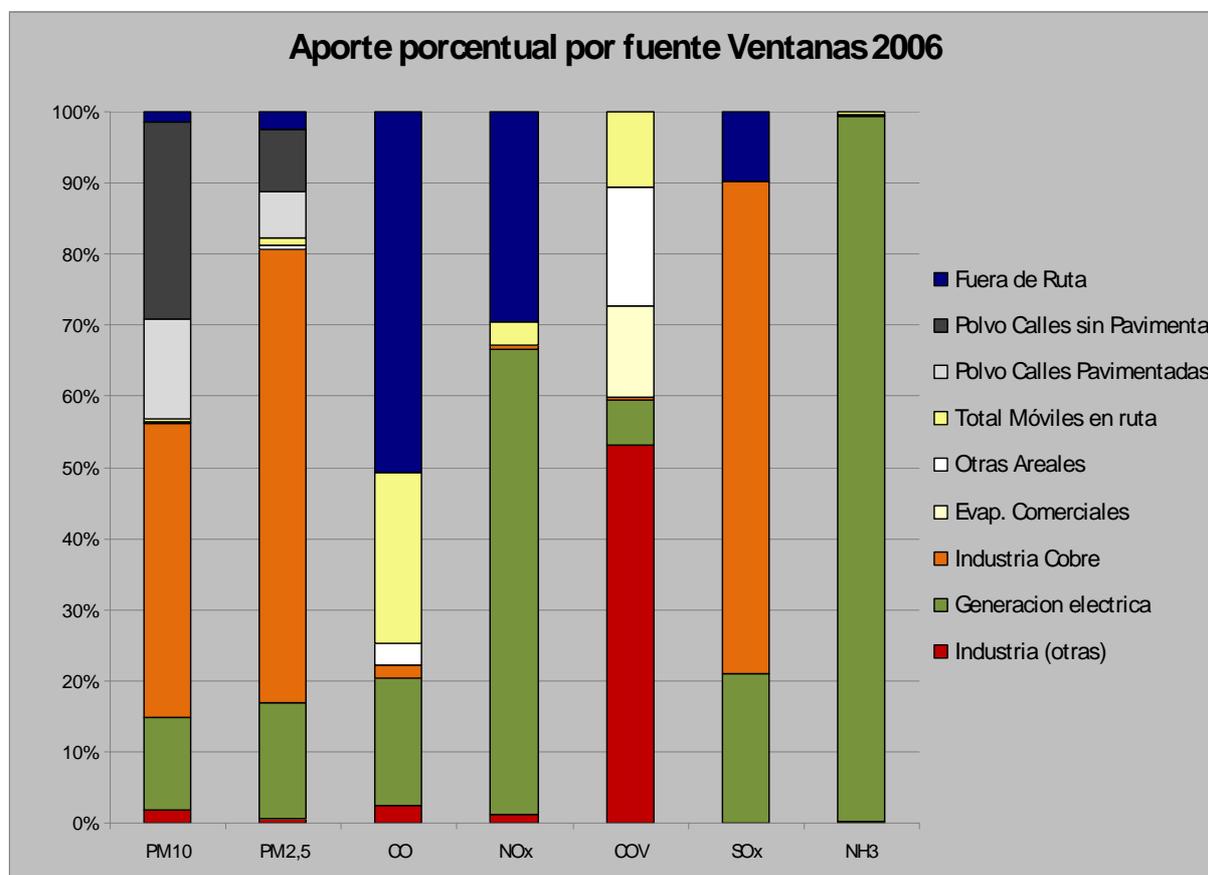
FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES ESCENARIO 2006							
Categoría de Fuente	PM10 ton/año	PM2,5 ton/año	CO ton/año	NOx ton/año	COV ton/año	SOx ton/año	NH3 ton/año
Industria (otras)	33,01	3,56	24,39	50,27	145,45	11,78	0,58
Generación eléctrica	233,24	91,47	176,05	2.535,08	17,60	8.309,38	397,87
Industria Cobre	740,48	360,10	18,41	28,39	1,22	27.469,20	0,55
Evap. Comerciales	-	-	-	-	35,03	-	-
Otras Areales	4,14	4,09	30,46	0,94	45,74	0,10	0,28
<b>Total Estacionarias</b>	<b>1.010,88</b>	<b>459,22</b>	<b>249,31</b>	<b>2.614,68</b>	<b>245,04</b>	<b>35.790,46</b>	<b>399,28</b>
Buses	2,43	2,18	13,25	37,20	4,59	2,67	0,04
Otros buses	0,54	0,49	2,50	9,10	0,63	0,31	0,00
Camiones	1,34	1,15	9,96	15,15	4,52	1,55	0,19
Vehículos Livianos	2,60	1,95	209,52	60,47	19,19	2,58	1,42
<b>Total Móviles en ruta</b>	<b>6,91</b>	<b>5,76</b>	<b>235,23</b>	<b>121,91</b>	<b>28,93</b>	<b>7,11</b>	<b>1,65</b>
<b>Fuera de Ruta</b>	<b>25,91</b>	<b>14,03</b>	<b>498,87</b>	<b>1.150,54</b>	<b>0,07</b>	<b>3.834,51</b>	<b>-</b>
<b>Polvo Calles Pavimentadas</b>	<b>254,24</b>	<b>36,37</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Polvo Calles sin Pavimentar</b>	<b>494,60</b>	<b>49,22</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Otras fuentes de polvo</b>	<b>43,54</b>	<b>1,94</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Total Polvo resuspendido</b>	<b>792,38</b>	<b>87,53</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL MÓVILES Y ESTACIONARIAS</b>	<b>1.836,08</b>	<b>566,55</b>	<b>983,41</b>	<b>3.887,13</b>	<b>274,03</b>	<b>39.632,08</b>	<b>400,93</b>

Fuente: Elaboración propia en base a Inventario de emisiones 2006

Notas:

Las emisiones de PM10 de fuentes móviles reportadas en la tabla anterior, corresponden a la suma de las emisiones provenientes de la combustión y del desgaste de frenos y neumáticos.

La categoría "Otros buses" corresponde a buses particulares.



**Figura 145: Participación de emisiones por categoría de fuentes, fuentes móviles agrupadas, año 2006 anual.**

Los resultados muestran un importante aporte de las principales fuentes industriales presentes en el área de estudio: CODELCO DIVISION VENTANAS y AES GENER.

Las emisiones de MP10 muestran un aporte cercano al 40% del polvo resuspendido por el tráfico desde calles pavimentadas y sin pavimentar. Por otra parte CODELCO y AES GENER aportan en conjunto con cerca de un 53% en las emisiones totales de MP10.

Para el MP2,5 CODELCO aporta con el 63,6% del total de las emisiones. El polvo resuspendido por tráfico se compone mayoritariamente de polvo mas grueso, por tanto su aporte en particulado mas fino (MP2,5) disminuye considerablemente en comparación con su aporte en MP10.

En las emisiones NOx se observan importantes aportes de la generación eléctrica (65%) y de fuentes móviles fuera de ruta, principalmente embarcaciones (29%).



En las emisiones de CO cerca del 18% correspondería a emisiones producto de la generación eléctrica, existiendo aportes de cerca de un 24% de fuentes móviles en ruta y un 50% de fuentes móviles fuera de ruta, principalmente barcos.

En las emisiones de COV existe un importante aporte de la industria química (almacenamiento de combustibles), aportando con más del 50%. Destacan además, con valores menores, fuentes residenciales, comerciales y las emisiones provenientes de fuentes móviles en ruta.

Las emisiones de SOx muestran un gran aporte de la Industria del cobre, con un aporte de casi un 70%, seguido de la generación eléctrica con un 21% y en menor medida las fuentes fuera de ruta con cerca del 10%, principalmente barcos.

Finalmente, las emisiones de NH3 aparecen completamente dominadas por la industria de generación eléctrica, aportando con el 99,2% del total de emisiones en la zona de estudio.



## **16 INVENTARIO POR TIPO DE FUENTE**

A continuación se entregan los resultados del inventario de emisiones detallado por tipo de fuente.



Tabla 237. Emisiones fuentes puntuales, año 2006 (ton/año).

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	RUBRO	MP10	MP 2,5	CO	NOx	VOC	SOx	NH3
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión externa puntual	Generación eléctrica	233,24	91,47	176,05	2.535,08	17,60	8.309,38	397,87
			Calderas industriales	4,38	0,72	21,15	43,79	1,50	11,34	0,57
			<b>Sub-Total Comb. Externa Puntual</b>	<b>237,62</b>	<b>92,19</b>	<b>197,20</b>	<b>2.578,87</b>	<b>19,10</b>	<b>8.320,72</b>	<b>398,44</b>
		Combustión interna	Grupos electrógenos	0,22	0,05	1,32	6,13	0,49	0,44	0,01
			<b>Sub-Total Comb. Interna</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>1,32</b>	<b>6,13</b>	<b>0,49</b>	<b>0,44</b>	<b>0,01</b>
		Ind. de productos minerales	Ind. de productos minerales	Produccion primaria de Cobre	740,48	360,10	18,41	28,39	1,22	27.469,20
	<b>Sub-Total Ind. Prod. Min.</b>			<b>740,48</b>	<b>360,10</b>	<b>18,41</b>	<b>28,39</b>	<b>1,22</b>	<b>27.469,20</b>	<b>0,55</b>
	Ind. aliment. y agropecuaria		Procesamiento de granos	13,84	2,35	-	-	-	-	-
			<b>Sub-Total Ind. Alim. y Agropec.</b>	<b>13,84</b>	<b>2,35</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	Evaporativas	Evaporativas puntuales	Almacenamiento de Combustible	-	-	-	-	142,74	-	-
			<b>Sub-Total Evaporativas Puntuales</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>142,74</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	Miscelaneas	Miscelaneas	Almacenamiento clinker	0,96	0,05	-	-	-	-	-
			Almacenamiento de combustibles	-	-	1,92	0,35	0,72	-	-
			Terminal portuario	4,20	0,38	-	-	-	-	-
			Almacenamiento de carbon	9,41	0,00	-	-	-	-	-
			<b>Sub-Total miscelaneas</b>	<b>14,57</b>	<b>0,44</b>	<b>1,92</b>	<b>0,35</b>	<b>0,72</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>TOTAL PUNTUALES</b>			<b>1.006,73</b>	<b>455,13</b>	<b>218,85</b>	<b>2.613,74</b>	<b>164,26</b>	<b>35.790,36</b>	<b>399,00</b>



Tabla 238. Emisiones fuentes de Area, año 2006 (ton/año).

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	RUBRO	MP10	MP2,5	CO	NOx	VOC	SOx	NH3
AREALES	Residencial	Comb. ext. residencial	Gas Licuado	0,0163	0,0163	0,1075	0,5291	0,0424	0,0004	0,0010
			Kerosene	0,0048	0,0048	0,0095	0,0343	0,0048	0,0568	0,0012
			Leña	4,0388	4,0388	29,4853	0,3035	26,7305	0,0420	0,2540
			<b>Sub-Total Com. Ext. Residencial</b>	<b>4,0598</b>	<b>4,0598</b>	<b>29,6023</b>	<b>0,8669</b>	<b>26,7777</b>	<b>0,0992</b>	<b>0,2562</b>
		Evaporativas residencial	Solventes de uso doméstico					1,69		
			Pintado arquitectónico					4,38		
			Uso de Adhesivos					10,58		
			Residencial de NH3					1,91		
				<b>Sub-Total Evap. Residencial</b>				<b>18,56</b>		<b>0,00</b>
		Comercial	Evaporativas comercial	Aplicación de asfalto					<b>35,03</b>	
	<b>Sub-Total Evap. Comercial</b>							<b>35,03</b>		
	Otras	Quemas	Incendios forestales			0,0552	0,0508	0,4444		0,0031
			Incendios urbanos	0,06		0,806	0,02	0,071		
			Cigarrillos	0,03	0,03					0,02
			<b>Sub-Total Quemas</b>	<b>0,09</b>	<b>0,03</b>	<b>0,86</b>	<b>0,07</b>	<b>0,52</b>	<b>-</b>	<b>0,02</b>
		<b>TOTAL AREALES</b>		<b>4,14</b>	<b>4,09</b>	<b>30,46</b>	<b>0,94</b>	<b>80,77</b>	<b>0,10</b>	<b>0,28</b>



Tabla 239. Emisiones de fuentes móviles en ruta, año 2006. (ton/año)

Categoría	Sub categoría	PM10 TE	PM10 DF	PM10 DN	PM2,5	CO	NOx	COV
						CO Total	NOx Total	COV Total
<b>Vehículos Particulares</b> (sedan y SW)	Vehículos Particulares Cat. Tipo 1	0,05	0,09	0,06	0,05	11,98	3,53	1,42
	Vehículos Particulares Cat. Tipo 2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,73	0,07	0,03
	Vehículos Particulares No Catalíticos	0,10	0,04	0,03	0,09	122,92	10,24	7,62
	Vehículos Particulares Otros	0,08	0,00	0,00	0,07	0,26	0,23	0,06
<b>Vehículos Comerciales</b>	Vehículos Comerciales Cat. Tipo 1	0,03	0,06	0,04	0,03	19,59	3,20	1,25
	Vehículos Comerciales Cat. Tipo 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,02	0,01
	Vehículos Comerciales No Catalíticos	0,07	0,03	0,02	0,07	45,39	12,37	5,48
	Vehículos Comerciales Diesel	0,29	0,03	0,02	0,27	1,48	3,86	0,41
	Buses particulares	0,53	0,01	0,00	0,49	2,50	9,10	0,63
<b>Camiones Livianos</b>	Camiones Livianos Diesel Convencional	0,29	0,01	0,01	0,26	2,46	2,91	1,28
	Camiones Livianos Diesel Tipo 1	0,18	0,01	0,01	0,16	1,17	1,94	0,91
<b>Camiones Medianos</b>	Camiones Medianos Diesel Convencional	0,42	0,01	0,01	0,39	1,85	4,01	0,99
	Camiones Medianos Diesel Tipo 1	0,26	0,01	0,01	0,24	0,88	2,67	0,71
<b>Taxis Colectivos</b>	Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1	0,41	0,01	0,00	0,38	1,93	7,61	1,12
	Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2	0,36	0,01	0,00	0,33	1,44	5,66	0,76
	Taxis Colectivos No Catalíticos	0,57	0,01	0,00	0,53	2,71	9,56	0,71
	Taxis Colectivos otros	0,15	0,00	0,00	0,14	0,84	4,13	0,33
<b>Camiones Pesados</b>	Camiones Pesados Diesel Convencional	0,09	0,00	0,00	0,08	0,63	2,77	0,29
	Camiones Pesados Diesel Tipo 1	0,01	0,02	0,01	0,01	2,97	0,86	0,34
<b>Buses Rurales e Interurbanos</b>	Buses Interurbanos Diesel Convencional	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,03	0,02
	Buses Interurbanos Diesel Tipo 1	0,00	0,00	0,00	0,00	4,93	0,47	0,36
	Buses Rurales Diesel Convencional	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07	0,06	0,02
	Buses Rurales Diesel Tipo 1	1,54	0,02	0,01	1,41	5,45	25,40	2,99
	Buses Rurales Diesel Tipo 2	0,80	0,01	0,01	0,74	2,42	11,24	1,20
<b>Total Fuentes Móviles en Ruta</b>		<b>6,27</b>	<b>0,39</b>	<b>0,26</b>	<b>5,76</b>	<b>235,23</b>	<b>121,91</b>	<b>28,93</b>



**Tabla 240. Emisiones fuentes móviles fuera de ruta, año 2006 (ton/año).**

FUERA DE RUTA	Categoría	Sub categoría	MP10	MP2,5	CO	NOx	VOC	SOx	NH3	
	Maquinaria vehicular		Operación de Buques	24,24	13,58	476,79	1.105,26		3.834,47	
			Operación Maquinaria Industria	1,59	0,38	21,80	44,28	-	0,04	-
			Maquinaria dentro de rellenos sanitarios (*)	0,08	0,07	0,28	1,00	0,07		
		<b>TOTAL MÓVILES FUERA DE RUTA</b>	<b>25,91</b>	<b>14,03</b>	<b>498,87</b>	<b>1.150,54</b>	<b>0,07</b>	<b>3.834,51</b>	<b>0,00</b>	

(\*) Corresponde al vertedero manejado por la Municipalidad de Quintero

**Tabla 241. Emisiones de polvo fugitivo, año 2006 (ton/año).**

SUB-GRUPO	Categoría	Sub categoría	MP10	MP2,5
POLVO FUGITIVO	Construcción y Demolición	Construcción de edificios	40,10	1,63
		Construcción de caminos	1,68	0,03
		<b>Sub-Total Construcción y Demolición</b>	<b>41,78</b>	<b>1,66</b>
	Polvo Resuspendido	Calles pavimentadas	225,99	32,42
		Calles sin pavimentar	414,92	41,25
		Tránsito Sitios Industriales Pavimentados	28,25	3,95
		Tránsito Sitios Industriales Sin Pavimentar	79,08	7,91
		Calles sin pavimentar asociadas a rellenos sanitarios (*)	0,60	0,06
		<b>Sub-Total Polvo Resuspendido</b>	<b>748,84</b>	<b>85,59</b>
	Erosión	Erosión Eólica	1,76	0,28
		<b>Sub-Total Erosión Eólica</b>	<b>1,76</b>	<b>0,28</b>
		<b>TOTAL POLVO FUGITIVO</b>	<b>792,38</b>	<b>87,53</b>

(\*) Corresponde al vertedero manejado por la Municipalidad de Quintero

## 17 ANEXO 1. Analisis de muestras de polvo

Las siguientes tablas resumen los resultados de los ensayos granulométrico por tamizado realizados a las muestras tomadas en los distintos tipos de calles, sitios eriazos y pilas de acopio.

**Tabla 242. Resultado de ensayos granulométricos a muestras de polvo.**

Muestra		2	3	4	5	6	7	8	10	11	12
<b>Granulometría por tamizado Fecha</b>		<b>Porcentaje que pasa %</b>									
mall	diametro (mm)						100				
#1"	25.0						89				
#3/4	19.0				100	100	86	100			
#3/8	9.50		100		98	96	64	51		100	
#4	4.75	100	98	100	94	81	39	8	100	96	100
#8	2.36	87	78	99	87	46	22	3	98	85	96
#16	1.18	55	51	96	76	26	13	2	95	61	92
#30	0.600	36	35	92	68	18	8	2	90	35	87
#50	0.300	29	26	80	61	13	6	2	80	24	81
#100	0.150	14	11	29	53	8	4	2	61	10	68
#200	0.75	9	6	17	46	6	3	0	39	5	57

**Tabla 242 (continuación) Resultado de ensayos granulométricos a muestras de polvo.**

Muestra		14	15	16	17	19	20	21	23	24	25
<b>Granulometría por tamizado Fecha</b>		<b>Porcentaje que pasa %</b>									
mall	diametro (mm)										
#1"	25.0		100								
#3/4	19.0		98		100		100			100	
#3/8	9.50		83	100	98	100	93	100	100	99	100
#4	4.75	100	65	98	88	99	68	98	98	95	100
#8	2.36	98	42	93	62	96	49	92	91	74	96
#16	1.18	95	25	79	32	86	37	64	82	31	81
#30	0.600	89	16	61	18	61	30	46	74	10	62
#50	0.300	73	12	54	13	39	25	37	54	5	45
#100	0.150	42	8	47	5	21	18	19	17	3	17
#200	0.75	25	7	42	3	13	12	10	12	3	10



**Tabla 242 (continuación) Resultado de ensayos granulometricos a muestras de polvo.**

Muestra		27	28	29	30	31	33	34	35	36	37
<b>Granulometría por tamizado Fecha</b>		<b>Porcentaje que pasa %</b>									
mall	diametro (mm)										
#1"	25.0										
#3/4	19.0	100									100
#3/8	9.50	99	100	100			100		100		94
#4	4.75	95	99	98			99	100	98		58
#8	2.36	89	94	93			98	99	86		24
#16	1.18	68	77	82	100		88	89	70	100	16
#30	0.600	51	56	69	93	100	58	45	57	92	13
#50	0.300	41	35	56	45	93	45	21	46	81	11
#100	0.150	17	11	26	20	17	23	11	28	45	9
#200	0.75	7	4	11	7	7	6	5	15	27	8

**Tabla 242 (continuación) Resultado de ensayos granulometricos a muestras de polvo.**

Muestra		38	39	40	42	43	44	45	46	47
<b>Granulometría por tamizado Fecha</b>		<b>Porcentaje que pasa %</b>								
mall	diametro (mm)									
#1"	25.0									
#3/4	19.0							100		100
#3/8	9.50	100	100	100	100	100	100	99	100	99
#4	4.75	97	99	99	99	95	97	99	99	98
#8	2.36	91	90	94	96	79	88	94	97	93
#16	1.18	72	78	88	84	59	78	81	94	79
#30	0.600	53	69	82	72	44	68	69	90	63
#50	0.300	41	59	73	58	32	58	59	82	47
#100	0.150	18	29	39	21	9	30	16	23	13
#200	0.75	9	14	23	12	4	14	8	9	6

**Tabla 242 (continuación) Resultado de ensayos granulometricos a muestras de polvo.**

Muestra		48	50	1,9,13,18,19,22,26, 32,41,49
Granulometría por tamizado Fecha		Porcentaje que pasa %		
mall	diametro (mm)			
#1"	25.0			
#3/4	19.0			
#3/8	9.50			100
#4	4.75	100	100	98
#8	2.36	99	99	94
#16	1.18	86	85	81
#30	0.600	67	53	68
#50	0.300	52	38	57
#100	0.150	24	23	21
#200	0.75	10	10	11