



Fundación
Centro Nacional del Medio Ambiente
Av. Larraín N° 9975, La Reina, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 275 1455, <http://www.cenma.cl>



DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE

AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

INFORME FINAL

Informe Técnico LMA-04-2001

Preparado para

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Diciembre 2001
SANTIAGO, CHILE

© Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA)

Año 2001

**DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA
MACROZONA CENTRAL DE CHILE. AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR
INFORME FINAL**

Informe Técnico LMA-04-2001

Ninguna parte de este Informe puede ser reproducido, transmitido o almacenado, sea por procedimientos mecánicos, ópticos o químicos, sin permiso expreso de CENMA.

No obstante lo anterior, CENMA autoriza la reproducción parcial o total del presente informe a las Instituciones Públicas del Estado, con la sola citación de su fuente.

Fundación CENMA
Prof. Luis A. Riveros, Presidente
Dr. Raúl G.E. Morales, Director Ejecutivo
Ing. Regina Massai, Jefe Unidad de Proyectos

Informe preparado por el Laboratorio de Modelación y Análisis Atmosférico:

Ing. Pablo Ulriksen, Jefe de Laboratorio
Andrés Cabello Blanco, Modelación Atmosférica
Gerardo Alvarado Zúñiga, Análisis de Información de Calidad de Aire
Marcelo Araya Mendoza, Análisis y Procesamiento de Información Meteorológica
Manuel Merino Thayer, Meteorología Aplicada a Contaminación Atmosférica
Rodrigo Romero, Medición de Calidad de Aire
Gustavo Olivares, Modelación Atmosférica
Jaime Escobar, Inventario de Emisiones

Fundación Cenma
Av. Larrain 9975, La Reina, Santiago, Chile
Teléfono: 275 1455, Fax: 275 1688

La Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) es una institución creada por la Universidad de Chile, con el objetivo principal de entregar apoyo científico-técnico al Estado, para la formulación e implementación de políticas de protección ambiental en el país, en conformidad con la constitución política de Chile

Su creación ha sido posible gracias a un visionario proyecto de cooperación técnica suscrito en 1995 a través de las Agencias de Cooperación Internacional de los gobiernos de Japón (JICA) y Chile (AGCI). La contraparte chilena del convenio está conformada por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entidad ministerial del gobierno, que tiene la responsabilidad global de implementar el proyecto, y por la Universidad de Chile, la cual, junto con brindar el soporte académico, contribuye con los terrenos y edificios de la Fundación Nacional del Medio Ambiente y es responsable de la ejecución misma del proyecto. En tanto que la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), durante estos últimos cinco años, ha contribuido con provisión de equipos, maquinarias, entrenamiento de personal chileno en Japón y con misiones de expertos japoneses en Chile

En las instalaciones de la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente se interrelacionan, por primera vez en nuestro país, laboratorios químicos para estudios de calidad de aire y combustibles, de residuos sólidos, de residuos líquidos y de calidad microbiológica de aguas, además de un completo laboratorio analítico central. Se cuenta también con sistemas de monitoreo automático de información ambiental, tanto de calidad de aire como de estaciones meteorológicas, equipamientos para recolección de muestras y un sistema de información orientado a problemas ambientales.

La Fundación CENMA es administrada sin fines de lucro y está ubicada en la comuna de La Reina, en la ciudad de Santiago de Chile, en un terreno de 2.5 hectáreas, donde dispone de 3000 M² de edificaciones en uno y dos pisos. La función principal de la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente es fortalecer las capacidades técnicas requeridas para contribuir a la formulación de la política ambiental chilena y ser un elemento gravitante en el Sistema de Gestión Ambiental del país. Por ello, también esta llamada a cumplir un rol significativo en la capacitación del personal de las entidades del sector público con competencia ambiental y con las Direcciones Regionales de la CONAMA. A través de estas entidades se relaciona también con los municipios y otros servicios regionales involucrados en temas ambientales.

La Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente es el canal ejecutor del proyecto de cooperación técnica con Japón y, asimismo, asesora a la CONAMA en una serie de campos de alto contenido técnico, tales como campañas de medición y actualización de inventarios, entre otros temas.

La existencia y funcionamiento de la Fundación CENMA constituyen una pieza fundamental para que el gobierno y el país encaren, sobre la base de la información ambiental y su análisis científico, las definiciones de política ambiental que aseguren el desarrollo sustentable de Chile. En este contexto, la fundación aspira a "*constituirse en una institución nacional con nivel de referencia, orientada a servir de apoyo científico-técnico a los organismos públicos con atribuciones en las áreas de monitoreo ambiental, elaboración e implementación de regulaciones y estándares ambientales, control y fiscalización ambiental*".

Los programas prioritarios desarrollados por la Fundación Nacional del Medio Ambiente desde su creación se han centrado en cuatro áreas:

- Pronóstico de episodios de contaminación atmosférica, que incluye el desarrollo de una metodología para pronosticar episodios críticos, la operación de una red meteorológica aplicada a contaminación atmosférica de la Región Metropolitana, y campañas de monitoreo de la calidad del aire.
- Análisis de factores de emisión de fuentes fijas y móviles. La determinación de grupos prioritarios de fuentes fijas (por su impacto en emisiones), la caracterización de flujos viales para distintas categorías de vehículos y la medición de la influencia del deterioro de los vehículos en los factores de emisión forman parte del trabajo en esta área.
- Estimación de emisiones de quemas agrícolas, biogénicas y evaporativas. El desarrollo de metodologías para estimar las emisiones de quemas e incendios, así como de las emisiones evaporativas de procesos industriales y de las aportadas por la vegetación, se abordan en esta área de trabajo.
- Planes de acción para residuos industriales sólidos y líquidos. Se han elaborado informes sobre el uso de residuos peligrosos como combustible adicional; pautas de manejo de RISES; caracterización de residuos peligrosos; y determinación de rubros industriales más contaminantes, considerando el tipo de descargas.

Los programas anteriores han sido desarrollados por la Fundación desde el comienzo formal de sus operaciones, en junio de 1996. Los tres primeros, relacionados con calidad de aire, han servido de apoyo a la CONAMA de la Región Metropolitana en la generación e implementación del Plan de Prevención y Descontaminación del Aire de la ciudad de Santiago, entregado durante 1997.

De acuerdo a los términos del proyecto de cooperación Chile - Japón, los fondos requeridos para la operación de la Fundación provienen, en la actualidad, parcialmente del presupuesto de la Nación y, complementariamente, por contratos con instituciones públicas y privadas para el desarrollo de estudios específicos, que concuerden dentro de los delineamientos del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. El programa de cooperación técnica de Japón ha aportado más de US\$ 12.000.000 en equipos para laboratorios, en equipos de monitoreo (estaciones para medición de contaminación atmosférica, meteorología, calidad de agua), en el Sistema de Información y en otras maquinarias y equipos, además de expertos y becas de entrenamiento en Japón.

El equipamiento de los laboratorios de la Fundación le permite hoy obtener muestras ambientales en los medios aire, agua, suelo y residuos industriales, para medir la presencia de contaminantes en estado sólido, líquido o gaseoso, tales como

hidrocarburos aromáticos, metales pesados en material particulado, dioxinas, pesticidas, microorganismos patógenos y una gran variedad de otras sustancias tóxicas.

La Fundación está operando una red de estaciones meteorológicas que incluye 24 estaciones de superficie y un sondeador de perfiles atmosféricos (LAPRASS), además de dos equipos para sondeos atmosféricos de baja altura con globos. El área cubierta por las mediciones meteorológicas se extiende desde Pichidangui a Constitución (500 Km de distancia), e incluye la cuenca de Santiago, cerros del entorno, valles que aportan flujos de aire y algunas localidades costeras.

El sistema de información instalado en la Fundación, que cuenta con una avanzada tecnología en informática y telecomunicaciones, está capacitado para generar y administrar todo tipo de información ambiental, incluyendo administración de sistemas de bases de datos, modelos de simulación numérica, procesamiento de imágenes y otros. Para el apoyo de los procesos de monitoreo de meteorología y calidad de aire se dispone de un sistema que permite la recolección automática de datos desde las estaciones de monitoreo y su presentación gráfica.

Tras cinco años de montaje y preparación de recursos humanos, con la implementación de técnicas diversas, sus laboratorios de química ambiental han desarrollado un riguroso programa de aseguramiento de la calidad, y con una auditoría conducida a través del Ministerio del Ambiente del Gobierno Canadiense, se ha obtenido su acreditación internacional en las normas ISO 17025.

Al iniciarse este año 2001, la fundación ha orientado todos sus esfuerzos a cuatro grandes áreas de acción:

1. **Investigación en Ciencias Ambientales.** Con el objeto de potenciar al máximo su capacidad instalada y recursos humanos, se ha iniciado un vigoroso programa de desarrollo en líneas de investigación de problemas ambientales del país. En este contexto se ha comenzado a trabajar en problemas de contaminación por arsénico, debido a la naturaleza propia de los suelos del Norte del país y debido a la gran actividad minera y sus problema de contaminación por este elemento. También hemos iniciado un amplio programa en Ciencias Atmosféricas, conducente a caracterizar la calidad del aire de la zona central de Chile, a objeto de prever los diferentes impactos que tienen las grandes ciudades, la actividad industrial y minera en vistas a aminorar los efectos sobre la población y los recursos de flora y fauna. Y una tercera área emergente lo constituye el estudio de los ecosistemas acuáticos, dado el nivel de vulnerabilidad frente a un creciente desarrollo productivo de los sectores mineros, agrícolas, agroindustriales, pesqueros y recreativos, tanto en aguas continentales como marinas.
2. **Formación de recursos humanos calificados.** En este ámbito, se han iniciado dos grandes rumbos. El primero es la puesta en marcha de una Escuela de Estudios Ambientales, destinada a capacitar funcionarios públicos y de empresas privadas en los temas de (a) Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), Gestión de Calidad Ambiental en la Empresa (ISO 14.000) y Análisis de Evaluación de Riesgos Ambientales en sistemas complejos (puertos, transportes, industrias químicas, ciudad, etc.). Y hemos iniciado un programa de trabajo conjunto con la Universidad de Chile para la formación de postgrado en Ciencias Ambientales, con la implementación de Magister y Doctorados en áreas específicas.
3. **Implementación y desarrollo de servicios ambientales de alta tecnología.** Atendiendo a la alta calidad de nuestros laboratorios y personal entrenado, estamos en condiciones de continuar ofreciendo estudios analíticos específicos de alta tecnología, mientras no se constituya aún una infraestructura nacional que de cobertura a este tipo de estudios, requeridos particularmente por instituciones públicas y del Estado. Por otra parte, continuaremos desarrollando actividades de intercomparación y de puesta en marcha de nuevas metodologías para diversos laboratorios nacionales y de países que así lo requieran, conjuntamente con desarrollar servicios de certificación y auditorías ambientales.
4. **Centro internacional de entrenamiento en técnicas analíticas y de investigación ambientales.** Atendiendo al desarrollo alcanzado en este marco de cooperación internacional con Japón, es de nuestro interés poder integrar a otros países de la región en esta tarea de alcanzar metas de estándares internacionales en estudios ambientales, y con la cooperación internacional, actualmente estamos buscando los mecanismos apropiados de financiamiento para hacer de nuestro Centro un lugar apropiado para la formación de recursos humanos de países de América Central, Sur y del Caribe.

Finalmente, en el interés de servir a nuestros objetivos misionales, CENMA abre sus puertas a todas las instituciones estatales, públicas y privadas del país, a fin de responder a requerimientos de apoyo científico-tecnológico en su gestión ambiental, tanto a nivel de servicios de alta tecnología, como al desarrollo de proyectos de investigación y formación de recursos humanos.

Dr. Raúl G.E. Morales
Director Ejecutivo

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

Equipo de Trabajo de CENMA

Pablo Ulriksen Ugarte	Jefe de Proyecto
Andrés Cabello Blanco	Modelación Atmosférica
Gerardo Alvarado Zúñiga	Análisis de Información de Calidad de Aire
Marcelo Araya Mendoza	Análisis y Procesamiento de Información Meteorológica
Manuel Merino Thayer	Meteorología Aplicada a Contaminación Atmosférica
Rodrigo Romero	Medición de Calidad de Aire
Gustavo Olivares	Modelación Atmosférica
Jaime Escobar	Inventario de Emisiones

Contraparte Técnica del Proyecto

Laura Gallardo K.	CONAMA
Christian Santana O.	CONAMA
Rodrigo Lucero	CONAMA
Myrna Araneda	Dirección Meteorológica de Chile
Olga Espinoza	Servicio Agrícola y Ganadero
Walter Folch	Ministerio de Salud
René Garreaud	Universidad de Chile, Departamento de Geofísica

CONTENIDO

1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	1
1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	1
1.1.1 <i>Objetivo General (para el año 2001)</i>	1
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	1
1.1.3 <i>Resultados esperados</i>	2
1.2 ESTRUCTURA DEL INFORME	2
2 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DE AIRE	5
2.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RELACIONADA CON MONITOREO ATMOSFÉRICO	5
2.1.1 <i>Antecedentes de monitoreo de calidad de aire y meteorología recopilados</i>	5
2.1.2 <i>Resultados V Región (Valle del Aconcagua)</i>	10
2.1.3 <i>Resultados V Región (Valparaíso y Viña del Mar)</i>	25
2.1.4 <i>Resultados VIII Región (Gran Concepción)</i>	28
2.2 RÉGIMEN DE VIENTOS TÍPICOS EN LA ZONA CENTRAL	34
2.2.1 <i>Disponibilidad de información</i>	34
2.2.2 <i>Patrones de flujos de aire típicos de condiciones diurnas y nocturnas</i>	35
2.3 ESTIMACIONES DE EMISIONES	39
2.3.1 <i>Emisiones Regionales</i>	39
2.3.2 <i>Grandes Fuentes</i>	39
2.3.3 <i>Estimaciones de emisiones para la V Región</i>	40
2.3.4 <i>Estimaciones de emisiones para la Región Metropolitana</i>	40
2.3.5 <i>Estimaciones de emisiones para la VI Región</i>	41
2.3.6 <i>Referencias</i>	42
2.4 MODELACIÓN ATMOSFÉRICA	43
2.4.1 <i>Campos de viento V Región</i>	43
2.4.2 <i>Trayectorias Valle del Aconcagua</i>	45
2.4.3 <i>Campos de viento VII Región</i>	47
2.4.4 <i>Trayectorias VIII Región</i>	49
3 ANTECEDENTES PARA DECLARACIÓN DE ZONAS SATURADAS	51
3.1 VALLE DEL ACONCAGUA	51
3.1.1 <i>Material Particulado Respirable (MP10)</i>	51
3.1.2 <i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	51
3.1.3 <i>Ozono</i>	52
3.2 AREA GRAN CONCEPCIÓN	52
3.2.1 <i>Material Particulado Respirable (MP10)</i>	53
3.2.2 <i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	53
4 PROPOSICIÓN DE UNA RED DE MONITOREO REGIONAL DE CALIDAD DE AIRE PARA LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE Y MEDICIONES COMPLEMENTARIAS	54
4.1 ANTECEDENTES	54
4.2 OBJETIVOS DE LA RED REGIONAL DE CALIDAD DE AIRE	54
4.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES	55
4.4 RED DE TUBOS PASIVOS INSTALADA POR EL PROYECTO	55
4.4.1 <i>Resultados</i>	56
4.5 NIVELES CRÍTICOS DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS QUE PUEDEN PRODUCIR EFECTOS EN LA VEGETACIÓN	58
4.6 PRINCIPALES ÁREAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	60
4.7 MEDICIONES DE CALIDAD DE AIRE EN LA MACROZONA CENTRAL	60
4.8 PROPOSICIÓN DE RED REGIONAL DE CALIDAD DE AIRE.....	62

4.9	ESTUDIOS ESPECIALES COMPLEMENTARIOS A LA RED REGIONAL	63
4.10	DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE DEPOSICIÓN SECA Y HÚMEDA.....	64
4.11	REFERENCIAS.....	65
5	PROPOSICIONES PARA MEJORAR LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AIRE	66
5.1	PROPOSICIÓN PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN REPORTADA POR REDES DE MONITOREO PRIVADAS	66
5.2	PROPOSICIÓN PARA ESTANDARIZAR LOS PROCEDIMIENTOS DE GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AIRE	66
5.3	PROPOSICIÓN PARA OPTIMIZAR LAS REDES DE MONITOREO DE OZONO Y PRECURSORES EN EL VALLE DEL ACONCAGUA.....	67
5.4	MONITOREO DE SO ₂ EN EL ENTORNO DE RPC	67
5.5	MONITOREO DE SO ₂ EN EL ENTORNO DE VENTANAS	67
5.6	MONITOREO DE SO ₂ EN EL ENTORNO DE CHAGRES	68
5.7	MEJORAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA EN EL VALLE DEL ACONCAGUA	68
5.8	CAMPAÑA DE MEDICIONES METEOROLÓGICAS EN ALTURA EN LA V REGIÓN	68
5.9	MEDICIONES METEOROLÓGICAS EN LA VIII REGIÓN	69
5.10	MODELAMIENTO METEOROLÓGICO DE CAMPOS DE VIENTO	69
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
6.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	70
6.1.1	<i>Calidad de aire, Resultados V Región:</i>	70
6.1.2	<i>Calidad de aire, Resultados VIII Región:</i>	71
6.2	ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	71
6.3	MODELACIÓN ATMOSFÉRICA	71
6.3.1	<i>Campos de vientos Valle del Aconcagua</i>	71
6.3.2	<i>Trayectorias Valle del Aconcagua</i>	72
6.3.3	<i>Campos de viento VIII Región</i>	72
6.3.4	<i>Trayectorias VIII Región</i>	73
6.4	ANTECEDENTES PARA DECLARACIÓN DE ZONA SATURADA.....	73
6.4.1	<i>Valle del Aconcagua</i>	73
6.4.2	<i>Area Gran Concepción</i>	74
6.5	PROPOSICIÓN DE UNA RED REGIONAL DE MONITOREO.....	74
6.5.1	<i>Mediciones con Tubos pasivos</i>	74
6.5.2	<i>Proposición de una red regional de monitoreo de calidad de aire</i>	75
6.5.3	<i>Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda</i>	75
6.6	PROPOSICIONES PARA MEJORAR LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AIRE	75
6.6.1	<i>Proposición para mejoramiento de la calidad de la información</i>	75
6.6.2	<i>Proposición para estandarizar los procedimientos de generación de información de calidad de aire</i>	76
6.6.3	<i>Proposición para optimizar las redes de monitoreo de ozono y precursores en el Valle del Aconcagua</i>	76
6.6.4	<i>Monitoreo de SO₂ en el entorno de RPC</i>	76
6.6.5	<i>Monitoreo de SO₂ en el entorno de Ventanas</i>	76
6.6.6	<i>Monitoreo de SO₂ en el entorno de Chagres</i>	77
6.6.7	<i>Mejoramiento de la información meteorológica en el Valle del Aconcagua</i>	77
6.6.8	<i>Campaña de mediciones meteorológicas en altura en la V Región</i>	77
6.6.9	<i>Mediciones meteorológicas en la VIII Región</i>	77
6.6.10	<i>Modelamiento meteorológico de campos de viento</i>	77

ANEXOS

- A. Recopilación y análisis de información de calidad de aire y meteorología
- B. Mediciones meteorológicas realizadas durante el proyecto
- C. Campaña exploratoria de contaminantes gaseosos mediante tubos pasivos
- D. Campaña exploratoria de contaminantes inorgánicos en aguas lluvia en Santiago
- E. Modelaciones atmosféricas
- F. Estimación de emisiones a la atmósfera

DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE

AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

INFORME FINAL

1 Antecedentes del estudio

El Centro Nacional del Medio Ambiente está desarrollando el estudio "Diagnóstico integral de la contaminación atmosférica en la Macrozona Central de Chile, Año 2001: Diagnóstico Preliminar", para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, cuyo objetivo general es aportar antecedentes técnicos para la gestión integral del recurso aire en la zona central de Chile. El proyecto es la primera parte de un programa que se extiende por cinco años.

Este Informe Final da cuenta del trabajo realizado en esta primera fase, correspondiente a un diagnóstico preliminar de calidad de aire para la zona central de Chile.

En el informe se presentan los resultados de las diferentes actividades desarrolladas en el proyecto durante este período, que corresponden a:

- Recopilación y análisis de información relacionada con monitoreo atmosférico.
- Mediciones meteorológicas, de calidad de aire y de composición química de aguas lluvia.
- Modelaciones atmosféricas.
- Antecedentes para declaración de zonas saturadas.

Se incluyen además propuestas para mejorar la información que entregan las redes de monitoreo privadas instaladas en la región.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo General (para el año 2001)

Realizar un diagnóstico preliminar de la contaminación atmosférica en la macrozona central de Chile.

1.1.2 Objetivos específicos

- Recopilar, analizar y evaluar información relevante sobre monitoreo atmosférico disponible en los organismos públicos y en la literatura especializada.
- Implementar un programa de monitoreo exploratorio para evaluar posibles sitios de una red regional de monitoreo atmosférico (meteorológico y de calidad del aire) y proponer un pre-diseño conceptual de red regional de monitoreo.

- Evaluar e interpretar con ayuda de modelos de dispersión, análisis estadísticos, etc., los datos recolectados, en particular, para las zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua y el Gran Concepción.
- Estimar la extensión de las zonas saturadas por dióxido de azufre (SO₂) y material particulado respirable (PM10) en el Valle del Aconcagua (V Región) y por SO₂ en la zona del Gran Concepción (VIII Región).

1.1.3 Resultados esperados

- Evaluación y catastro preliminar de los datos atmosféricos, incluyendo estimaciones de emisiones disponibles en Chile central, con énfasis en aspectos de representatividad y calidad.
- Diagnóstico preliminar de la calidad del aire en el área de estudio, incluyendo su variabilidad interanual, estacional y diurna.
- Evaluación a partir de técnicas exploratorias (tubos pasivos) de al menos cuatro puntos de monitoreo representativos de niveles regionales (suburbanos o rurales).
- Diseño conceptual de una red regional de monitoreo, que incluirá los objetivos del monitoreo, los contaminantes a monitorear, la ubicación de puntos de monitoreo, las metodologías de medición, alternativas de instrumental, consideraciones logísticas, etc.
- Estimación de la extensión de zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua (por SO₂ y PM10) y el Gran Concepción (por SO₂).
- Presentaciones de resultados del proyecto, a través de seminarios, documentos y publicaciones.

1.2 Estructura del informe

El Informe incluye los principales resultados obtenidos en el estudio. Está organizado en los siguientes Capítulos:

1. Antecedentes y objetivos del estudio
2. Diagnóstico preliminar de la calidad del aire en la macro zona central de Chile, donde se incluye análisis de información de calidad de aire recolectada, análisis meteorológico, estimaciones de emisiones y modelación atmosférica, con énfasis en las regiones V y VIII.
3. Antecedentes resumidos para la declaración de zonas saturadas en las regiones V y VIII.
4. Proposición de una red regional de monitoreo de calidad de aire y mediciones complementarias.
5. Proposiciones para mejorar la información de calidad de aire en la zona.
6. Resumen de conclusiones y recomendaciones

En Anexos se presentan detalles de la metodología usada en cada parte y resultados específicos:

- G. Recopilación y análisis de información de calidad de aire y meteorología.
- H. Mediciones meteorológicas realizadas durante el proyecto.
- I. Campaña exploratoria de contaminantes gaseosos mediante tubos pasivos
- J. Campaña exploratoria de contaminantes inorgánicos en aguas lluvia en Santiago

- K. Modelaciones atmosféricas
- L. Estimación de emisiones a la atmósfera

2 Diagnóstico preliminar de la calidad de aire

El diagnóstico preliminar del estado de la calidad de aire en la Macrozona Central incluye los siguientes aspectos:

- Análisis de información relevante de calidad de aire disponible en organismos públicos y en literatura especializada
- Análisis de patrones de viento en la zona, con las observaciones meteorológicas disponibles.
- Aplicación de modelos meteorológicos para construcción de campos de viento y trayectorias de masas de aire.
- Recopilación de información de emisiones disponible para la zona.

El énfasis de este diagnóstico preliminar está centrado en las regiones V y VIII.

2.1 Análisis de información relacionada con monitoreo atmosférico

Se recopiló información para el período 1997 a 2001 de calidad de aire y meteorología disponible en las oficinas regionales de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en las regiones V, VI y VIII.

La información corresponde principalmente a los datos de las redes de monitoreo existentes en las regiones V, VI y VIII y a la información de campañas exploratorias de calidad de aire realizadas por el Proyecto COSUDE (Cooperación Suiza para el Desarrollo).

Además, se recopiló otros estudios de calidad de aire que entregan información relevante para el diagnóstico preliminar de la calidad de aire. Estos estudios están disponibles en Internet, en las bibliotecas de universidades, en los centros de documentación de CONAMA y en las referencias bibliográficas de los estudios encontrados. Los estudios se pueden dividir en:

- Planes de descontaminación.
- Estudios de impacto ambiental, con componente aire.
- Estudios o campañas de medición realizados por y para CONAMA.
- Proyectos de investigación, realizados principalmente por las Universidades nacionales.
- Memorias de titulación o tesis de Grado.
- Publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

2.1.1 Antecedentes de monitoreo de calidad de aire y meteorología recopilados

Recopilación de antecedentes en el Valle del Aconcagua, V Región:

Información de las redes de monitoreo de la V Región y campañas de medición del proyecto COSUDE:

- Red de monitoreo permanente del Complejo Industrial de Ventanas, que abarca la zona circundante al complejo, en áreas jurisdiccionales de las comunas de Quintero y

Puchuncavi, de acuerdo a límites específicos. Esta zona fue declarada Saturada por Dióxido de Azufre (SO₂) y Material particulado respirable menor a 10 micrones (MP10) (D.S. 346/93 Min. de Agricultura). Medición de SO₂, MP10 y variables meteorológicas. Estaciones: La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y Villa Alegre.

- Red de monitoreo de Fundición Chagres, que comprende la localidad de Chagres (comuna de Catemu), Llayllay, Romeral y Lo Campo. La localidad de Chagres fue declarada latente de SO₂ (D.S.185/91 Min. de Minería). Medición de SO₂, MP10 y variables meteorológicas.

Estaciones: Lo Campo, Romeral, Santa Margarita y Chagres

- Red de monitoreo de las Centrales termoeléctricas San Isidro y Nehuenco, en la zona de Quillota, Limache y San Pedro. Medición de SO₂, Ozono (O₃), óxidos de Nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x), MP10 y variables meteorológicas (resolución exentas N° 02 y 03, mayo 1997).

Estaciones: Bomberos, Limache, San Pedro, UCV, Cajón San Pedro y Nehuenco

- Red de monitoreo de Cemento Melón, que comprende la zona de La Calera e Hijuelas. Medición de SO₂, O₃, óxidos de nitrógeno, MP10 y variables meteorológicas.

Estaciones: La Calera, Hijuelas y Planta Melón

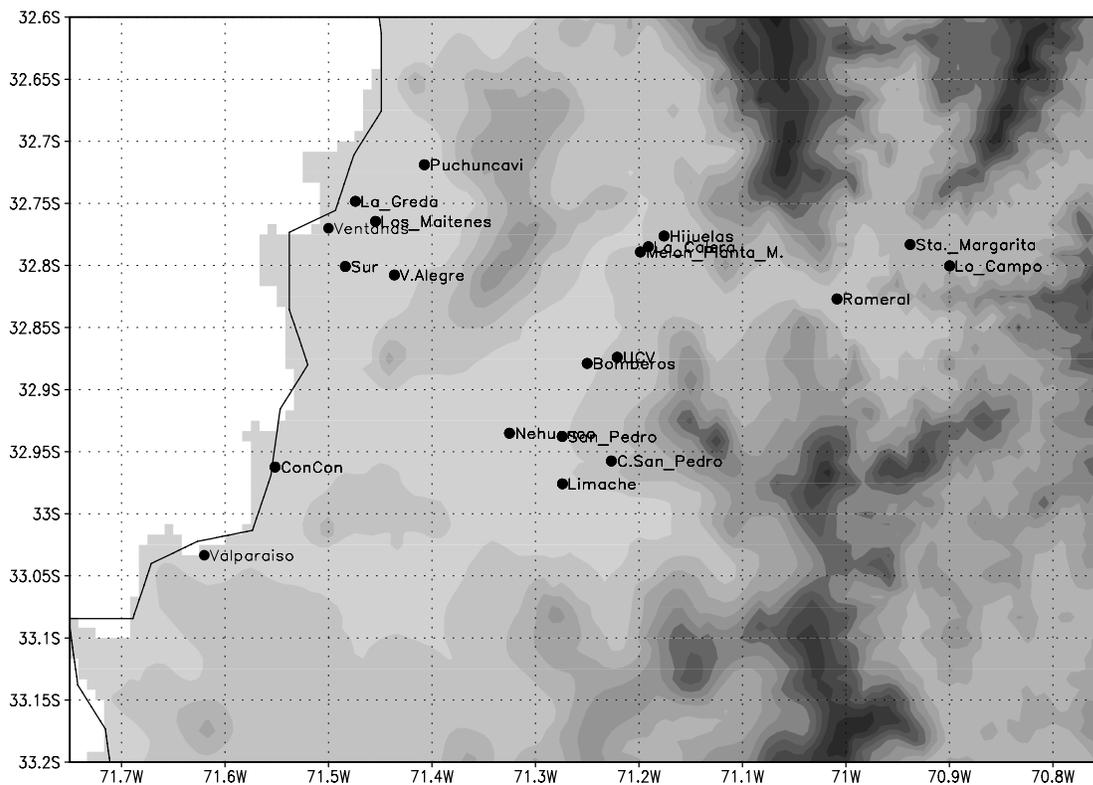
- Estación Campiche de PACSA (Ex Cordex), en Ventanas. Medición de SO₂, O₃, óxidos de nitrógeno, MP10 y variables meteorológicas.
- Estación de Refinería de Petroleos de Concón, en Concón. Medición de SO₂, MP10 y variables meteorológicas.
- Mediciones con tubos pasivos, que corresponden a muestreos mensuales o semanales para SO₂, NO₂ y O₃ realizadas principalmente a través del proyecto COSUDE en Valparaíso y Viña del Mar.

Recopilación de antecedentes en el Gran Concepción

Esta información principalmente corresponde a las mediciones en Talcahuano, Complejo industrial Petrox y Coronel:

- Mediciones continuas de meteorología y calidad de aire (SO₂ y MP10) del Complejo Industrial Petrox.
- Mediciones continuas de SO₂ en red CONAMA
- Mediciones con tubos pasivos de SO₂, NO₂ y BTX en red Petrox.
- Mediciones continuas de variables meteorológicas y muestreos de SO₂ y MP10 en Coronel
- Muestreos con tubos pasivos de SO₂ y NO₂ en Talcahuano.
- Muestreos de MP10 y MP2.5 en Talcahuano
- Campañas con tubos pasivos de SO₂ en Lirquén (Comuna de Penco)

Las figura siguiente presentan la ubicación de las estaciones de las diferentes redes de monitoreo en el Valle del Aconcagua:



GrADS: COLA/IGES

2001-08-30-21:44

Estaciones monitoras de calidad de aire y meteorología en el Valle del Aconcagua

En el anexo A se entrega un mayor detalle de la información recopilada

2.1.1.1 Análisis de antecedentes de calidad de aire y meteorología

Los datos de las redes de monitoreo recopilados corresponden a información validada que entregaron las redes respectivas a los organismos fiscalizadores (Servicio Agrícola Ganadero, Servicio de Salud, CONAMA).

Originalmente, se consideró realizar una validación de los datos recopilados. Para esta actividad se requería contar con los datos crudos de los monitoreos e información adicional relativa a las calibraciones, mantención de equipos y auditorías. Sin embargo, solamente fue posible recopilar información ya validada por los operadores de las redes de monitoreo y entregada en forma oficial a los organismos fiscalizadores. Por lo tanto, la etapa de validación de datos solo consideró una revisión de los datos a fin de detectar errores e inconsistencias de información.

El despliegue de los datos en series de tiempo permitió, además, detectar:

- Corrimiento de Cero.
- Saturación de monitores
- Valores escapados

No se realizó una aplicación de factores de corrección a la información al considerar que la información ya fue recibida conforme por los organismos pertinentes y ha sido utilizada para la gestión ambiental. Sin embargo, para evitar situaciones similares en el futuro es necesario un mayor control de la información que está siendo generada por las redes de monitoreo, a fin de detectar con prontitud cualquier anomalía en los datos y aplicar las medidas de corrección.

Este proyecto no incluyó una evaluación en terreno de las redes de monitoreo y sus estaciones. Luego, para evaluar la representatividad de las estaciones se recurrió a otros estudios, entre ellos destaca “Diagnóstico, Evaluación y Proposición de Mejoramiento de Redes de Monitoreo de Agua y Aire” realizado por SGS Ecocare para CONAMA.

Del estudio se desprende que la mayoría de las estaciones de monitoreo se encuentran en buenas condiciones y cuentan con equipos de monitoreo que cumplen las recomendaciones de Agencia del Medio Ambiente de Estados Unidos (US EPA). Los procedimientos de calibración de los monitores son adecuados, aunque la frecuencia varía entre las redes (cada 2 meses en red Chagres, cada 4 meses en red Enami-Ventanas). La instalación y el lugar de medición cumple con los criterios relacionados con salud de las personas, a pesar que algunos lugares tienen algunas irregularidades como insuficiente altura de muestreo, proximidad a fuentes móviles y cercanía de árboles. (García-Huidobro, 2001).

2.1.1.2 Análisis de otros antecedentes.

Se ha generado una lista con las referencias encontradas.

De la lista de “referencias” se han identificado algunos estudios que aportan antecedentes para el objetivo principal del Diagnóstico Preliminar de la calidad de Aire. Entre estos estudios destacan:

- Informes del Proyecto “Propuesta de Implementación de Normas Atmosféricas para Fuentes Fijas a Nivel Nacional y Recopilación de Información de Soporte Económico para la Dictación de una Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas”.
- Los informes del “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile”. Proyecto COSUDE (años 1997 a 2000).
- Informes del proyecto “Antecedentes para la Revisión de las Normas de Calidad de Aire contenidas en la Resolución N° 1215 del Ministerio de Salud, 1978” desarrollado por SGA para CONAMA en 1998.
- Informe País, Estado del medio ambiente en Chile – 1999.
- Diagnóstico, Evaluación y Proposiciones de Mejoramiento de Redes de Monitoreo de Agua y Aire, desarrollado por SGS Ecocare para CONAMA.
- Los Planes de descontaminación y prevención vigentes y los respectivos informes del seguimiento de valores de contaminación atmosférica (ENAMI-Ventanas, Chagres, Melón, Nehuenco-San Isidro, PACSA, RPC, Caletones, Renca, Petrox, PPDA Región Metropolitana, etc.)

Se incluye como anexo fichas resumen de los proyectos más importantes. Esa información apoya la elaboración y discusión del diagnóstico de la calidad de aire, la estimación de zonas saturadas y el pre-diseño de la red regional de monitoreo.

2.1.2 Resultados V Región (Valle del Aconcagua)

La **Tabla 2-1** presenta las coordenadas geográficas (UTM) y los parámetros medidos en las estaciones de monitoreo de la V Región. En el Anexo *Análisis de recopilación de información* se entrega mayor detalle.

Tabla 2-1 Estaciones de monitoreo en V Región

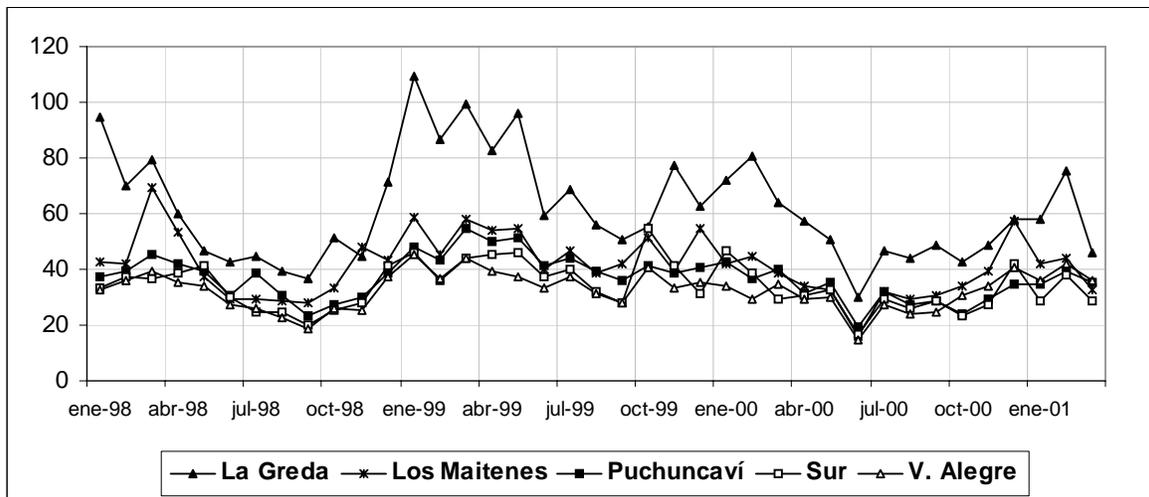
Nombre Estación	Coordenadas estación		Variables medidas
	E (Km)	N (Km)	
Red Termoeléctricas			
Quillota – INP			SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Quillota Bomberos	289.500	6359.900	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Cajón San Pedro	291.870	6351.320	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
UCV	292.200	6360.500	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Limache	287.500	6349.100	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Nehuenco	282.610	6353.510	WS, WD, Temp, HR, Rad, precip
San Pedro	287.390	6353.320	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Campiche			SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD,
ENAMI-Ventanas			
La Greda	268.204	6373904	SO ₂ , MP10, WS, WD
Los Maitenes	270.075	6372161	SO ₂ , MP10, WS, WD
Puchuncavi	274.376	6377.316	SO ₂ , MP10, WS, WD
Sur	267.434	6368.062	SO ₂ , MP10, WS, WD
V. Alegre	271.887	6367.407	SO ₂ , MP10, WS, WD
Meteo. principal			WS, WD, Rad, HR, Temp, Pres
Chagres			
Catemu	316.155	6371.477	SO ₂ , MP10
Lo Campo	32211.1	6369.255	SO ₂ , MP10
Romeral	311.972	6366.108	SO ₂ ,
Sta. Margarita	318.505	6371.094	SO ₂ ,
Meteo. Principal			WS, WD, Temp, Rad
Melon			
Hijuelas	296.210	6.371.420	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
La Calera	294.820	6.370.430	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Meteo. Principal	294.110	6.369.950	WS, WD, Rad, HR, Temp, Pres, Precip
RPC			
Con Con	261.500	6350.000	SO ₂ , MP10, WS, WD, Rad, HR, Temp.

Donde WS: Velocidad del viento, WD: Dirección del viento, Temp: Temperatura Rad: Radación
 HR: Humedad relativa, Pres: Presión, Precip: Precipitación

2.1.2.1 Estado de calidad de aire para material particulado, MP10

Los gráficos siguientes presentan las tendencias de los promedios mensuales de material particulado para el período enero 1999 a marzo de 2001. Los gráficos fueron construidos con la información de los muestreos de 24 horas, cada 3 días, realizados con equipos de alto volumen en las estaciones de las redes de monitoreo.

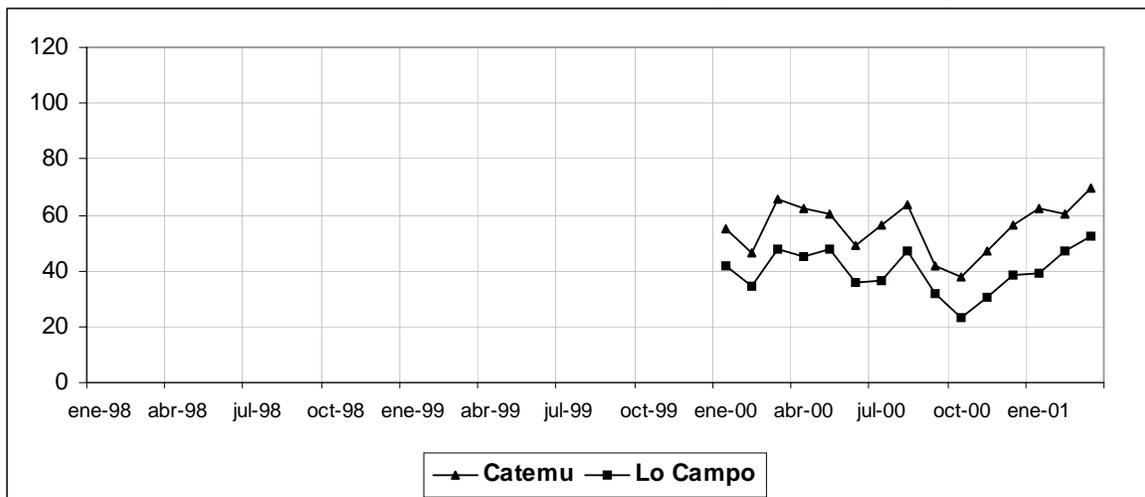
Promedios mensuales de PM10, Red ENAMI – Ventanas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Se aprecia una leve tendencia a la disminución de los promedios, principalmente en los valores máximos de la estación La Greda. No se aprecia un ciclo anual muy marcado, pero sí valores altos en meses de verano y bajos en meses de invierno.

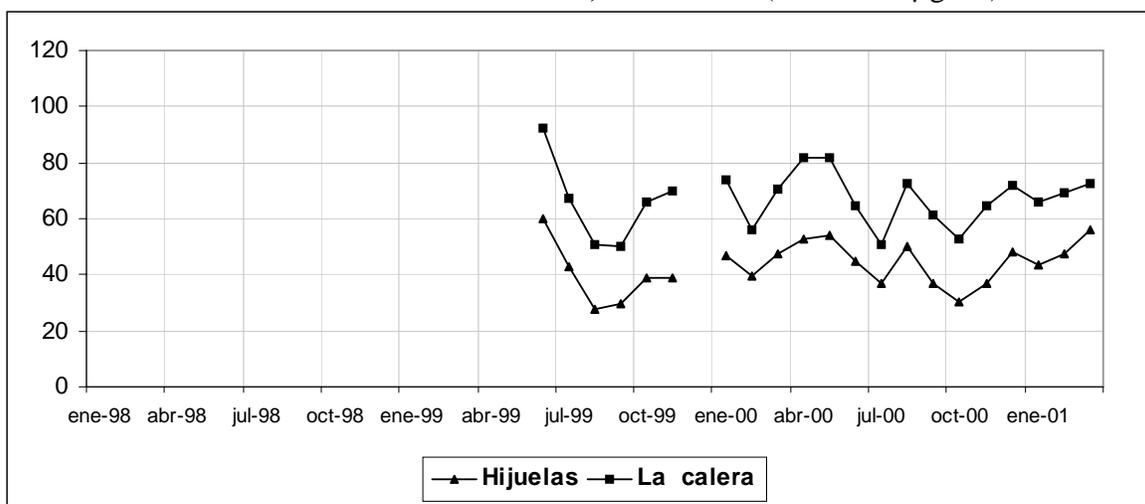
Las estaciones Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y V. Alegre registran un comportamiento y valores similares. En cambio, la estación La Greda registra un comportamiento similar al resto de las estaciones, pero los valores son mayores, con diferencias del orden de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es evidente la superación de la norma anual en esta estación.

Promedios mensuales de PM10, Red Chagres (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



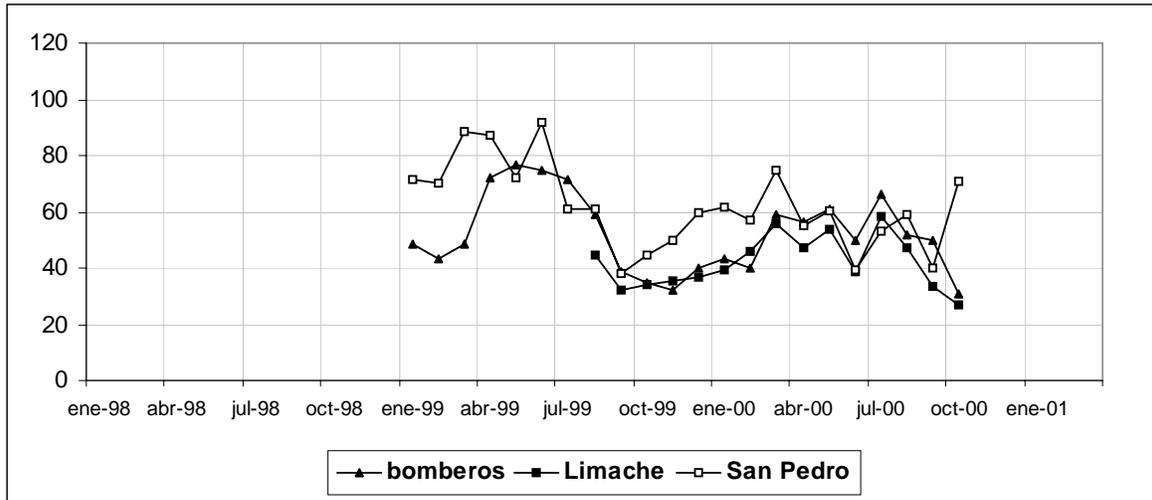
No se aprecia tendencia en el comportamiento de los valores. Existe una correspondencia entre los valores medidos en las estaciones, pero los valores de la estación Catemu son en promedio $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayores que los registrados en Lo Campo. En la estación Catemu, gran parte de los meses del año se mantiene sobre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ evidenciando una superación de la norma anual.

Promedios mensuales de PM10, Red Melón (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



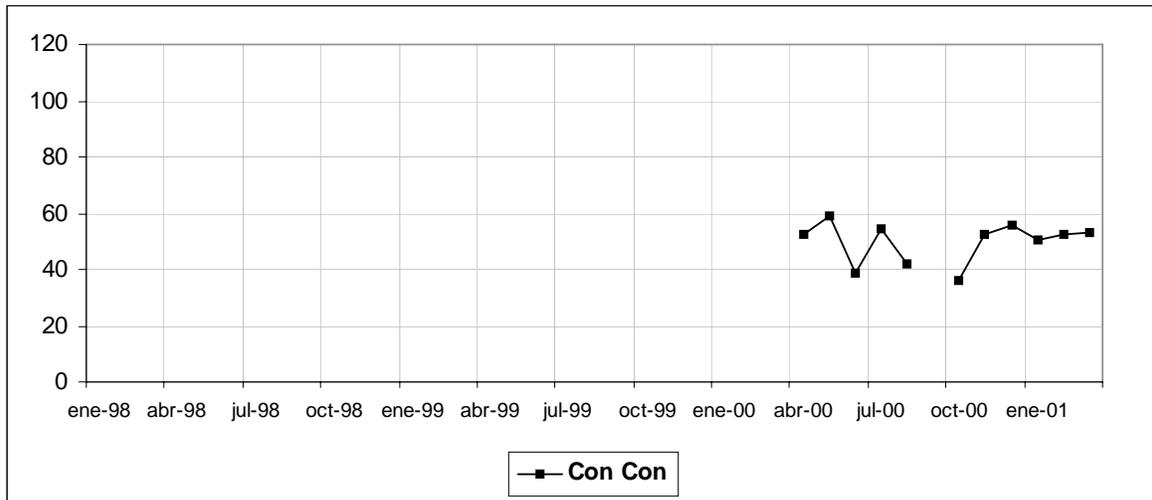
No se aprecia tendencia en el comportamiento de los valores. Existe una correspondencia entre los valores medidos en las estaciones, pero los valores de la estación La Calera son en promedio $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayores que los registrados en Hijuelas. El valor anual supera la norma.

Promedios mensuales de PM10, Red Termoeléctricas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Los valores muestran un leve descenso con respecto al año 1999. No se aprecia un ciclo anual marcado, pero si una ocurrencia de valores bajos en octubre. Los valores son mayores en la estación San Pedro. En general, los valores oscilan entre 30 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Promedios mensuales de PM10, Red RPC (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Durante el año 2000, los promedios mensuales se mantienen entre 40 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo menores en meses de invierno, probablemente por efecto de días con lluvia. No hay información de años anteriores para verificar alguna tendencia.

Excedencia de normas para MP10

Normas vigentes:

Norma diaria: 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Norma Anual: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 2-2 Excedencias de normas de MP10

Estaciones	Año	Promedio Anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Excede Norma anual	Valor diario Máximo	Excede norma diaria (veces)
Red ENAMI -Ventanas					
Puchuncavi	1997	s/i		78	0
	1998	44		99	0
	1999	35		95	0
	2000	32		75	0
Los Maitenes	1997	s/i		115	0
	1998	49		194	1
	1999	42		212	2
	2000	36		134	0
La Greda	1997	s/i		288	4
	1998	75	SI	216	9
	1999	59	SI	170	4
	2000	54	SI	134	1
Valle Alegre	1997	s/i		88	0
	1998	37		75	0
	1999	31		67	0
	2000	29		70	0
Est. Sur	1997	s/i		77	0
	1998	40		131	0
	1999	32		110	0
	2000	31		171	1
Red - Melon					
Calera	1999	65	SI	90	0
	2000	67	SI	121	0
Hijuelas	1999	39		93	0
	2000	44		93	0
Red - Chagres					
Catemu	2000	54	SI	98	0
Lo Campo	2000	39		87	0
Red RPC					
CONCON	2000	49		102	0
Red - Quillota					
Bomberos	2000	51	SI	111	0
Limache	2000	45		102	0
San Pedro	2000	58	SI	137	0

s/i: no se encontró información

Para el año 2000, la norma anual se excede en las estaciones Bomberos de Quillota y San Pedro, mientras que en la estación Limache se mide un estado de latencia por MP10. La norma para 24 horas no es superada.

Para las estaciones de la red Melón, la norma anual es superada en la estación La Calera, mientras que en Hijuelas se mide un estado de latencia. La norma para 24 horas no es superada.

La estación de Con Con no registra superación de la norma para 24 horas. El valor anual es de $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el año 2000, muy cercano a la norma.

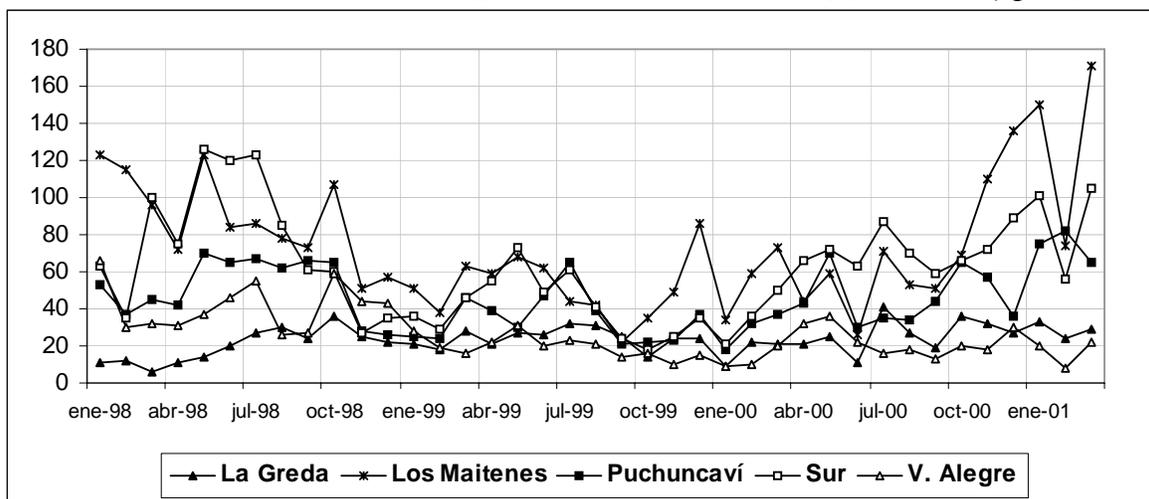
La estación Catemu de la red Chagres registra un valor de $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual durante el 2000. No registra excedencias de valores de 24 horas.

La estación La Greda de la red Ventanas supera ambas normas.

2.1.2.2 Estado de calidad de aire para SO_2

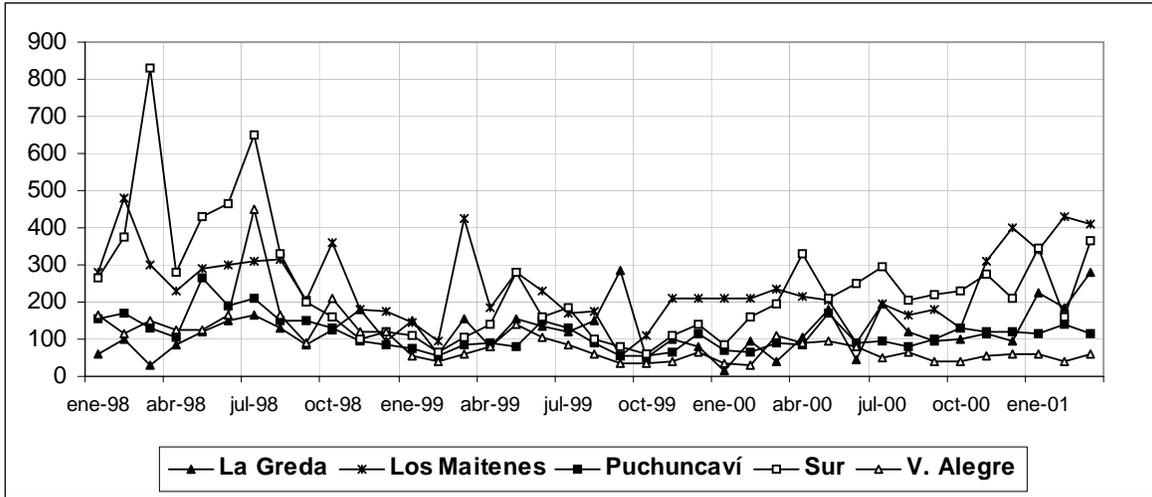
Los gráficos siguientes presentan las tendencias de los promedios mensuales de SO_2 para el período enero 1998 a marzo de 2001. Los gráficos fueron construidos con la información de los monitoreos continuos (promedios de 1h) realizados en las estaciones de las redes de monitoreo. Como Anexo se presentan los gráficos para los valores máximos de 24 para cada mes.

Promedios mensuales de SO_2 , Red ENAMI – Ventanas, (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



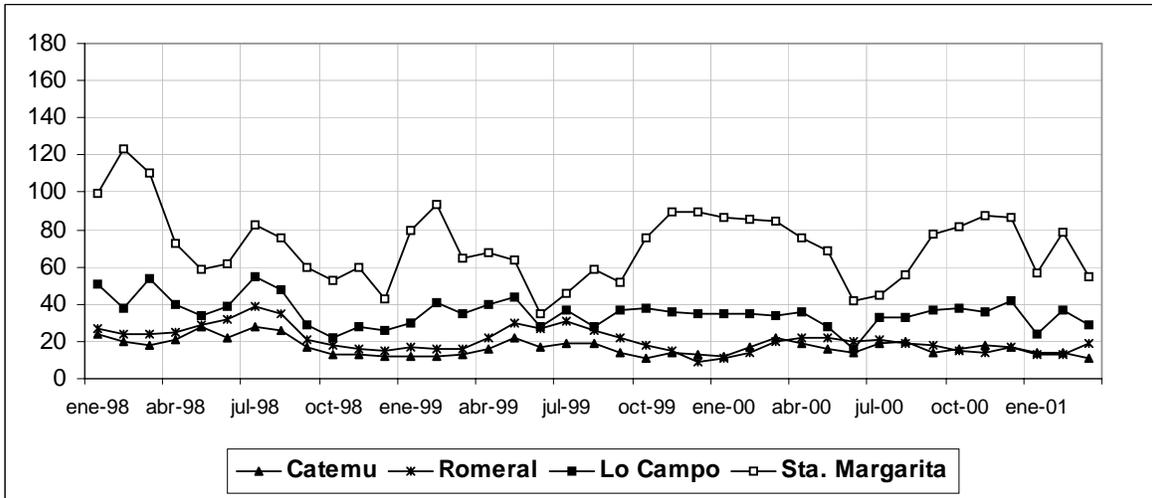
A partir de octubre de 1999 se aprecia un crecimiento de los valores. Los promedios registrados en el verano del 2001 son similares (e incluso superiores en Los Maitenes) a los valores del año 1999. Durante el año 2000 en las estaciones Los Maitenes y Sur se alcanzan valores de latencia.

Máximos promedios 24h para cada mes de SO₂, enero 1998 a marzo de 2001
 (valores en µg/m³)



El gráfico anterior presenta el valor máximo (promedio de 24 horas) registrado en cada mes. Si se considera que la norma vigente es de 365 y existe una norma de 250µg/m³ próxima a entrar en vigencia, hay una evidente superación en las estaciones Sur y Los Maitenes, esta última para ambos valores.

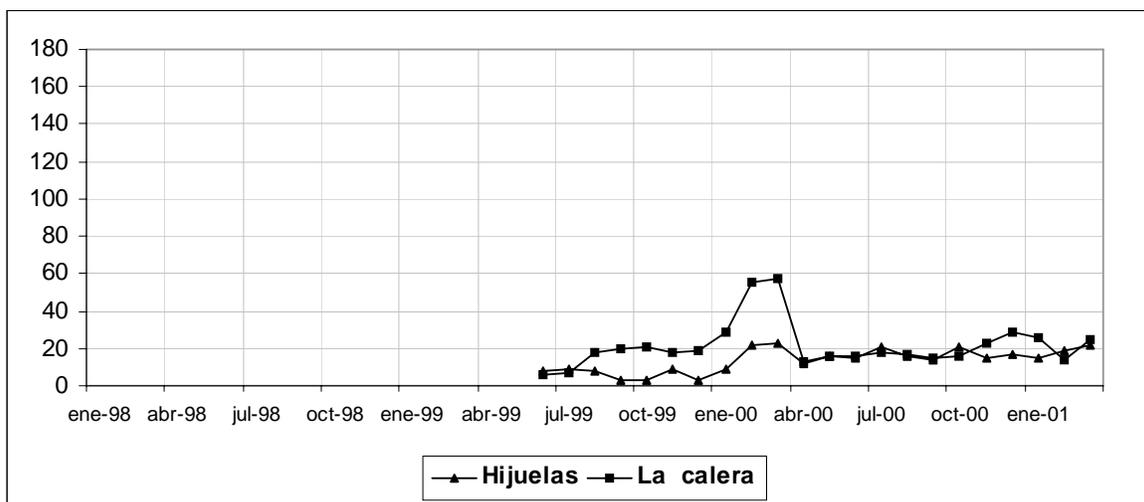
Promedios mensuales de SO₂, Red Chagres, (valores en µg/m³)



No se aprecia tendencia en los valores mensuales. Los valores se mantienen menores a 40 µg/m³ en las estaciones Catemu, Romeral y Lo Campo, en cambio en Santa Margarita los valores superan 80 µg/m³ durante algunos meses del año

Los valores promedios diarios no superan la norma. El máximo registrado es del orden de 200 µg/m³. Sin embargo, durante los últimos años, la estación Sta. Margarita tiene valores muy cercanos a la norma anual. Esta estación tiene valores de latencia por SO₂.

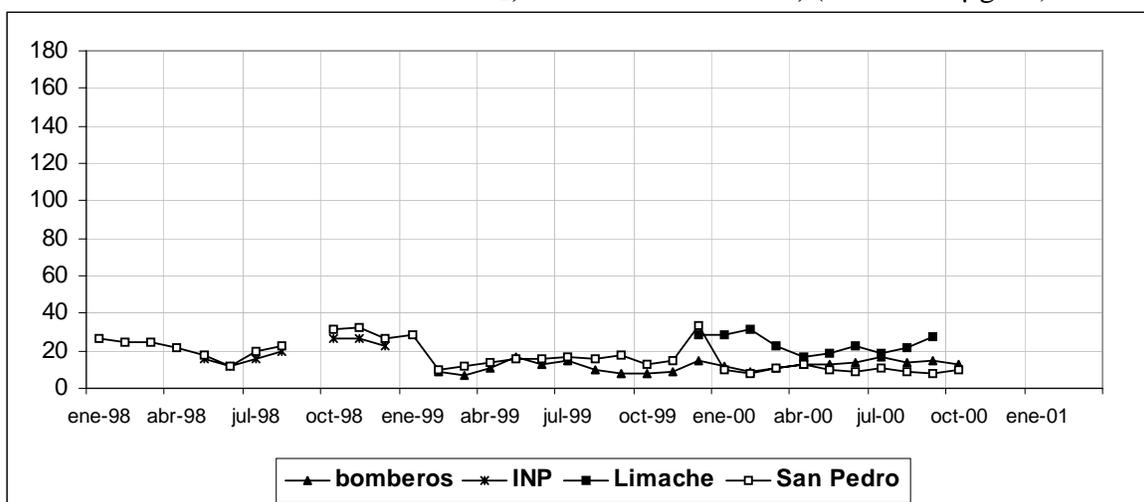
Promedios mensuales de SO₂, Red Melón, (valores en µg/m³)



Los valores se mantienen muy similares durante el año 2000, a excepción de una condición de valores altos en enero, febrero y marzo en la estación La Calera, esta situación no se repitió durante el año 2001. Durante los últimos 12 meses los valores se mantienen en 20 µg/m³.

Los valores promedios diarios no superan la norma. El máximo registrado es del orden de 150 µg/m³.

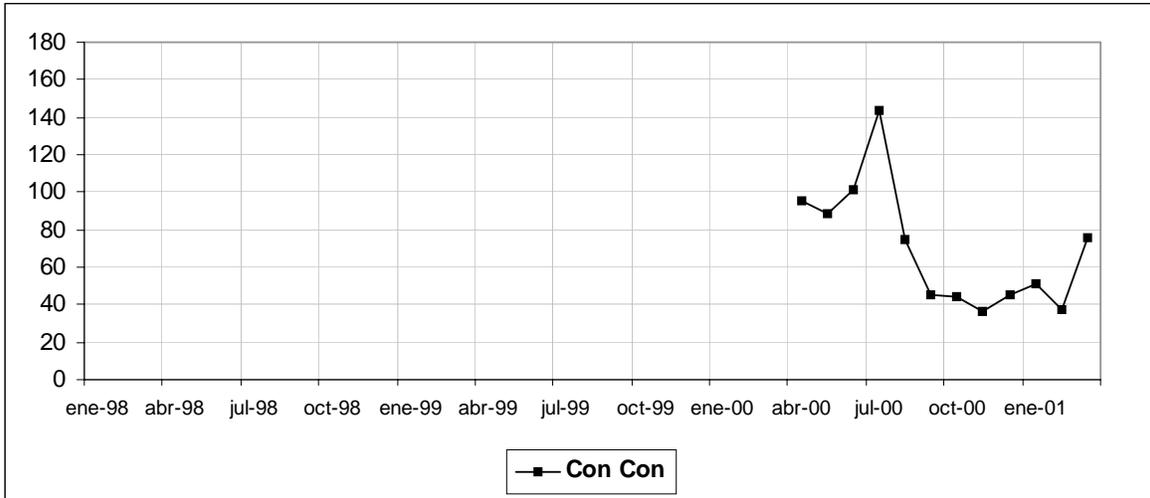
Promedios mensuales de SO₂, Red Termoeléctrica, (valores en µg/m³)



Los promedios mensuales son durante gran parte de los meses menores a 20 µg/m³. Los valores son muy similares entre las estaciones.

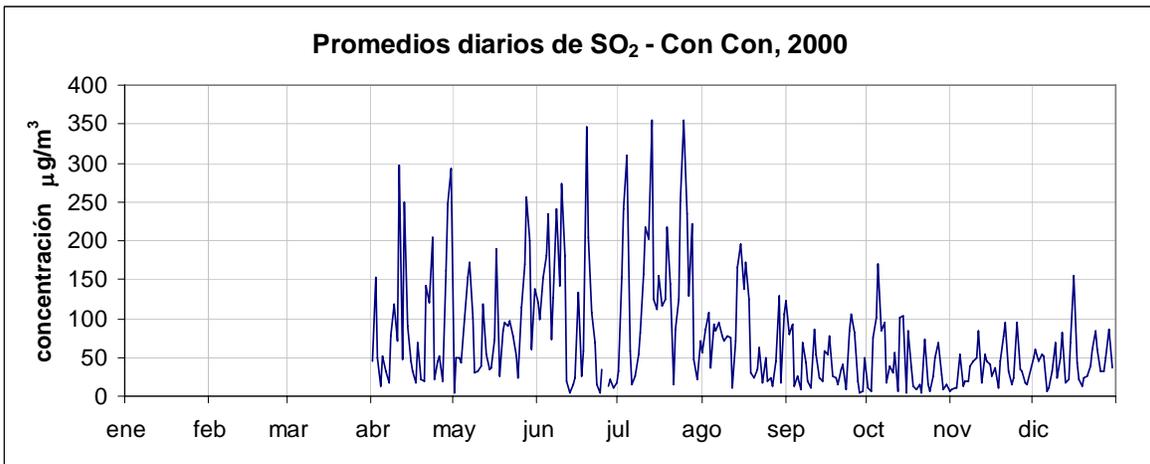
Los promedios diarios también son bajos. El valor promedio diario más alto registrado durante el año 2000 es menor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Promedios mensuales de SO_2 , Red RPC, (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



No se recopiló información de años anteriores para Con Con, luego no se puede verificar tendencias.

Los valores altos registrados en el invierno del 2000 elevan el promedio anual a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy cerca de la norma.



El gráfico de series de promedios diarios muestra valores muy cercanos a superar la norma diaria. Sin embargo, al considerar la nueva norma de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hay superación durante 10 días.

Excedencia de norma de SO₂

El D.S 185 del Ministerio de Minería establece norma primaria en 80 µg/m³ para promedio anual y 365 µg/m³ para promedio diario. Además, establece una norma secundaria para la zona norte de 1000 µg/m³ para promedios horarios.

a) Excedencia de Norma Anual de SO₂ = 80 µg/m³

Tabla 2-3 Promedios anuales de SO₂

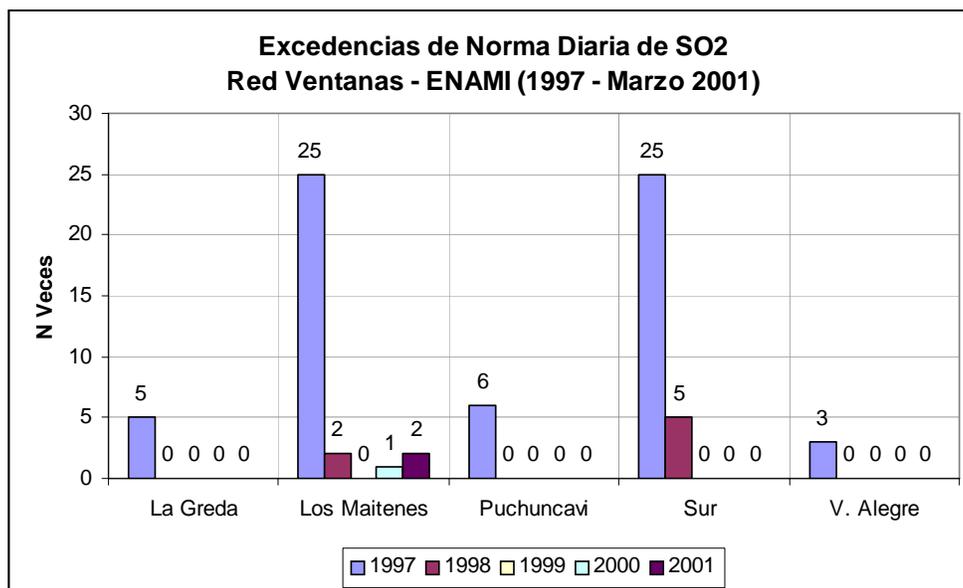
	años			
	1997	1998	1999	2000
Red Termoeléctricas				
Bombero			10.9	12.8
INP		19.6		
Limache			14.1	11.8
San Pedro		21.4	17.2	9.9
Red Ventanas- Enami				
La Greda	43.4	20.0	24.3	24.2
Los Maitenes	140.1	88.8	51.9	<u>65.6</u>
Puchuncavi	98.2	52.4	35.0	41.9
Sur	129.8	<u>76.4</u>	41.3	62.7
V. Alegre	<u>74.2</u>	41.5	19.8	20.4
Red Chagres				
Lo Campo		39		33.4
Romeral				17.7
Sta. Margarita	<u>79.6</u>	<u>75.1</u>	63.4	<u>72.8</u>
Lo Campo	35.1	38.7	35.3	33.4
Catemu	27.5	20.2	15.3	16.5
Romeral	29.8	25.4	20.8	17.7
Red Melón				
Hijuelas			6.0	16.6
La Calera			15.6	25.2
Red RPC				
Concón				<u>75.1</u>

valores en µg/m³

Con negrita se destacan las estaciones que superan la Norma anual de SO₂ en las estaciones del Valle del Aconcagua, para los años con información recopilada. Se han subrayado los valores que superan el nivel de latencia (64 µg/m³)

b) Excedencia de Norma Diaria de $\text{SO}_2 = 365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma propuesta $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

No hay superación de la Norma diaria en las estaciones de las Redes de Chagres, Pacsa, Melón y RPC. En cambio, en la Red de Ventanas – ENAMI, es superada la Norma en reiteradas ocasiones, situación que se muestra en la figura siguiente:.



Para el año 2000, el valor 250 es superado 4 veces en la estación Sur y 6 veces en la estación Los Maitenes. La estación Con Con supera 10 días este valor.

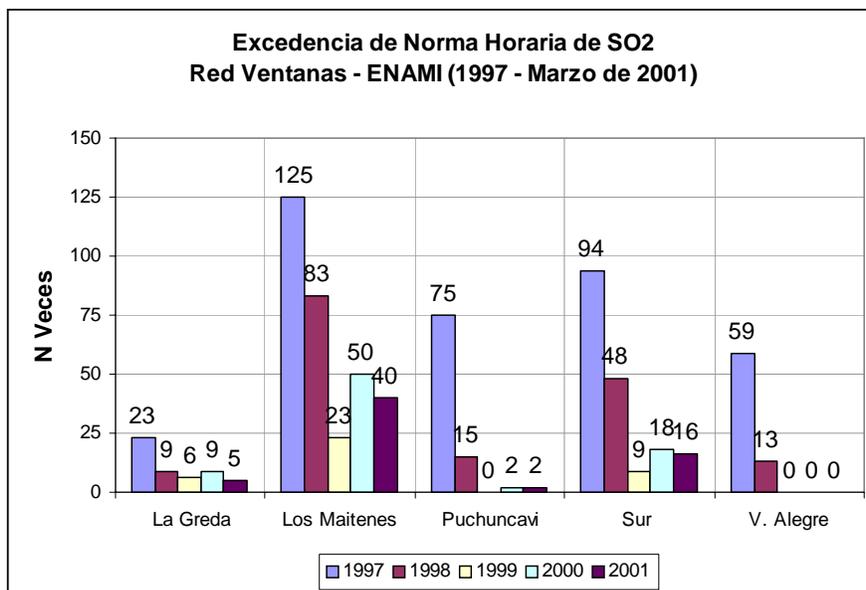
c) Excedencia de Norma horaria de $\text{SO}_2 = 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norma Secundaria)

En la red de Fundición Chagres se registran 2 casos de excedencia en la estación Santa Margarita en el año 2000.

En la Red de RP Concón se registran 11 casos de excedencia de norma secundaria en el año 2000 y 3 casos en el período enero a marzo del año 2001.

Las estaciones de la red de las termoeléctricas no registran excedencia para esta norma.

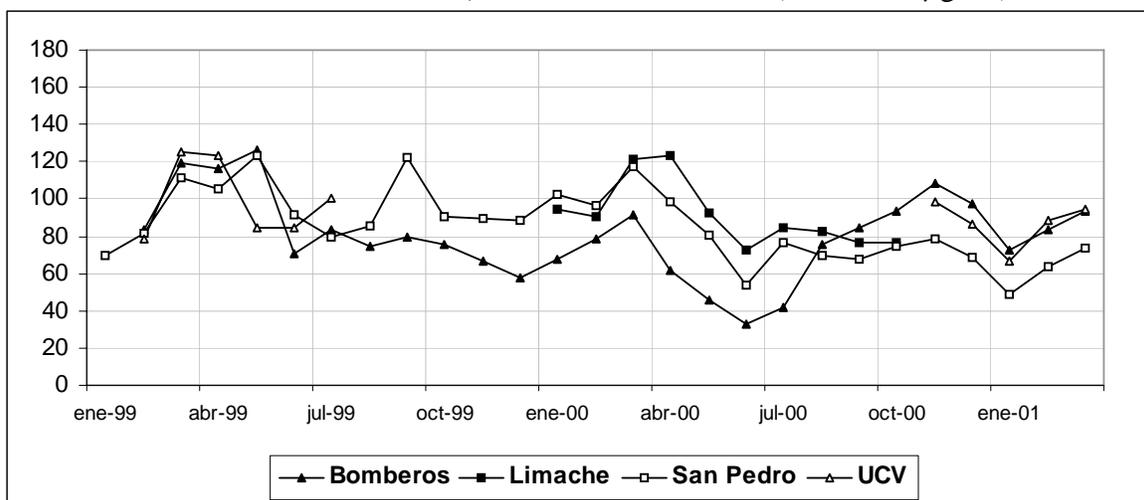
En la Red de Ventanas-ENAMI la Norma es superada en reiteradas ocasiones, como se ilustra en la figura siguiente:



2.1.2.3 Estado de calidad de aire para O₃, NO y NO₂

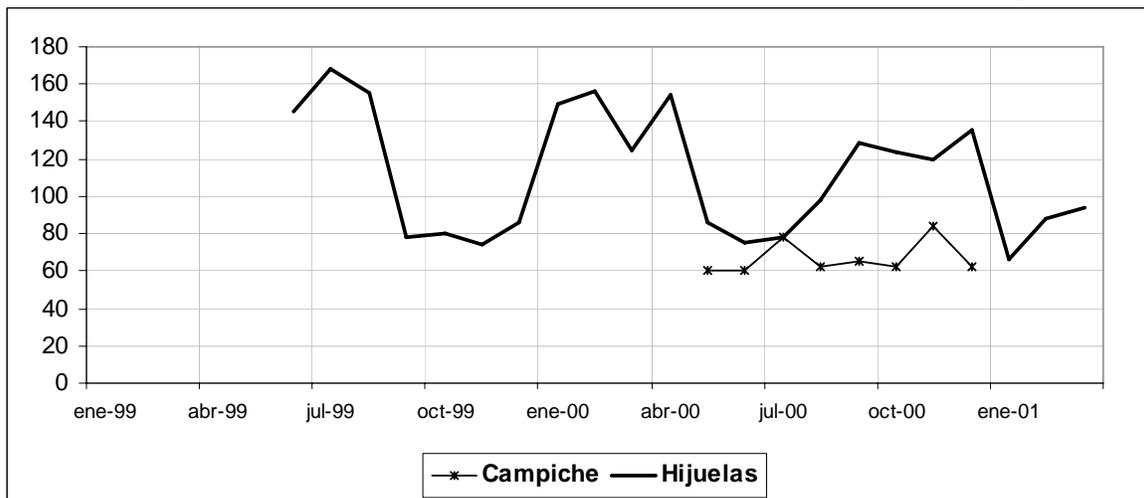
Los gráficos siguientes presentan los valores máximos, promedios de 1 hora registrados en cada mes entre enero de 1999 y marzo de 2001. Las estaciones que miden O₃ corresponden a las estaciones de la red de las termoeléctricas y las estaciones Campiche e Hijuelas.

Máximos diarios de O₃, Red Termoeléctricas (valores en µg/m³)



Los valores muestran una leve tendencia a la disminución. El valor más alto es cercano a 120 µg/m³.

Máximos diarios de O₃, Estaciones Campiche e Hijuelas (valores en µg/m³)



En Hijuelas se aprecia una tendencia a la baja, en especial en los valores altos de los meses de verano. Llama la atención los valores altos registrados en los meses de invierno y bajos en la primavera de 1999. Las estaciones Bomberos de Quillota, Limache y San Pedro tienen valores bajos en verano y más altos en primavera, es decir un comportamiento diferente.

En julio de 1999 se supera durante 2 días el valor 160 µg/m³.

Excedencia de Norma de O₃

Para O₃ existe una Norma horaria de 160 µg/m³ la cual es superada en la estación Hijuelas en julio de 1999.

Las estaciones San Pedro, Bomberos de Quillota, Limache, estación móvil UCV y Campiche no registran superación de Norma.

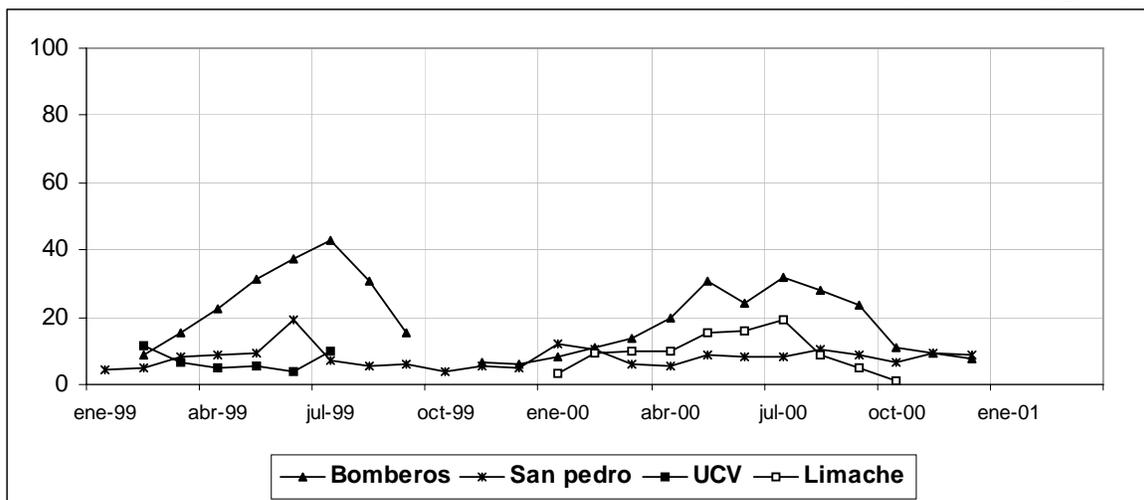
La norma propuesta para ozono es 120 µg/m³ para promedios de 8 horas (excedencia percentil 99).

En Hijuelas se supera 7 veces el valor 120µg/m³ y el percentil 99 es 125 µg/m³, luego hay superación de la norma propuesta.

Oxidos de Nitrógeno (NO y NO₂)

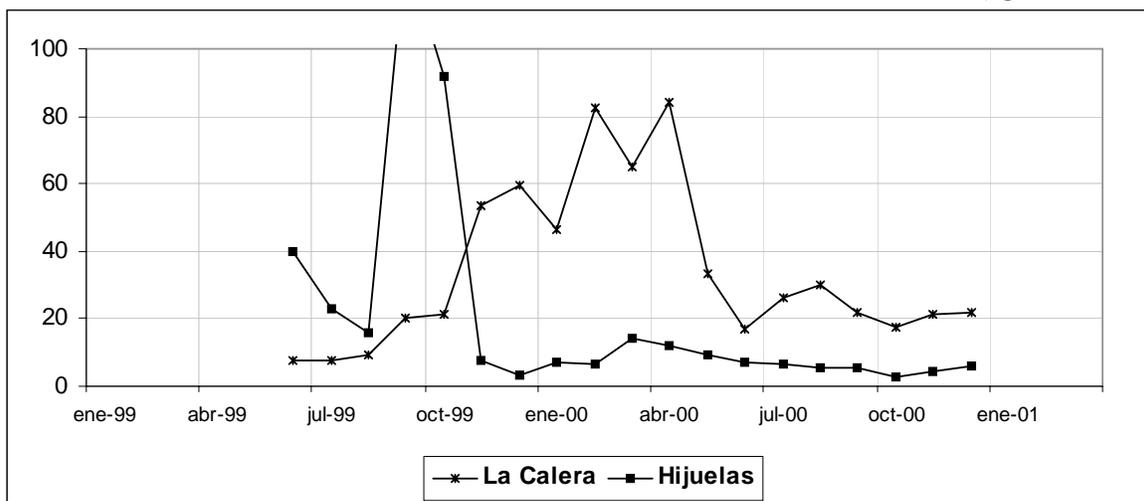
A continuación se presentan gráficos de promedios mensuales para NO y NO₂, para el período enero 1999 a marzo 2001:

Promedios mensuales de NO en estaciones Red Termoelectricas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



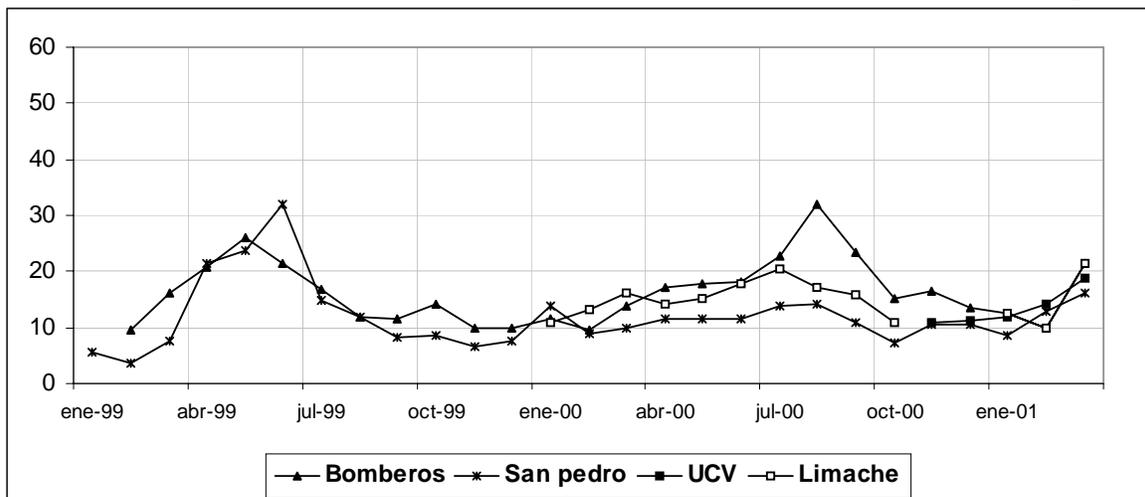
Se aprecia un crecimiento de los valores durante el período de invierno y disminución durante meses de verano. La estación Bomberos de Quillota registra los valores más altos..

Promedios mensuales de NO en estaciones Red Melón (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



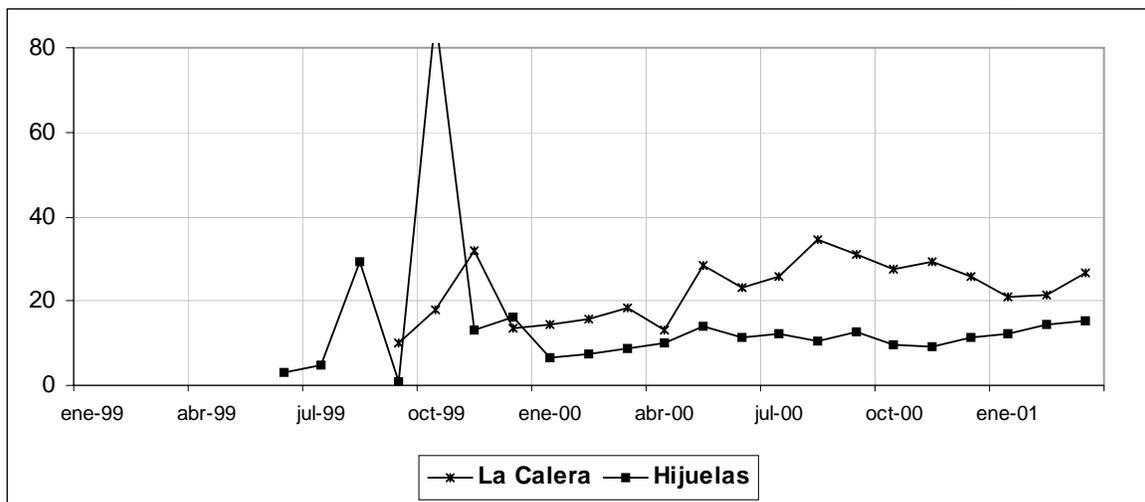
Existe un comportamiento anormal durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 1999 en la estación Hijuelas, el resto del período los valores son bajos menores a $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación La Calera presenta valores altos durante los meses de invierno y bajos en verano.

Promedios mensuales de NO₂ en estaciones Red Termoelectricas (valores en µg/m³)



No se aprecia tendencias entre los años. Los valores son mayores en meses de invierno y menores en meses de verano, similar al ciclo de NO. La estación Bomberos presenta valores, en promedio mayores.

Promedios mensuales de NO₂ en estaciones Red Melón (valores en µg/m³)



No se aprecia tendencia entre los valores.

En la estación Hijuelas los valores tienen un comportamiento anormal entre agosto y octubre de 1999. Se recomienda no considerar ese período.

2.1.3 Resultados V Región (Valparaíso y Viña del Mar)

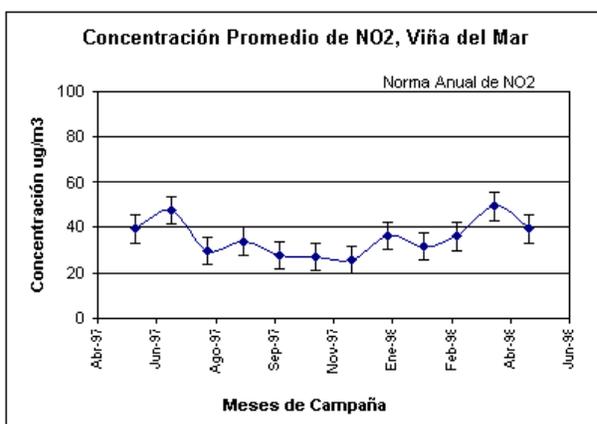
La información recopilada para estas ciudades corresponde principalmente a los resultados de las campañas de monitoreo realizadas entre 1997 y 2000 con tubos pasivos para SO₂, NO₂ y O₃ y material particulado con equipos impactadores Harvard. Estas campañas fueron ejecutadas por el Proyecto “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile” – COSUDE.

Las figuras y comentarios que a continuación se presentan, para cada contaminante, fueron extraídas de los informes finales de dicho proyecto de los años 1998 y 2000.

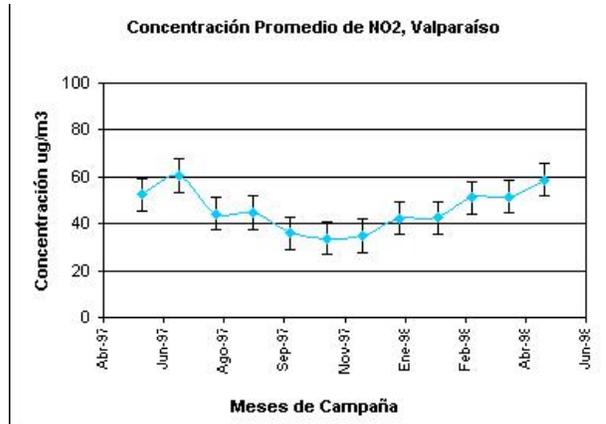
Dióxido de Nitrógeno (NO₂):

En Viña del Mar y Valparaíso, no se produjeron excedencias para este contaminantes y sus valores más elevados se registraron en los lugares caracterizados por un intenso tráfico automotor. Para el resto de los lugares de medición los valores promedios anuales están bajo el 50% de la norma anual.

El análisis estacional del contaminantes muestra un máximo en el período invernal atribuible a las condiciones de dispersión, por sobre variaciones en las emisiones.



Promedios mensuales de NO₂
Viña del Mar, Abr-1997 a Jun-1998

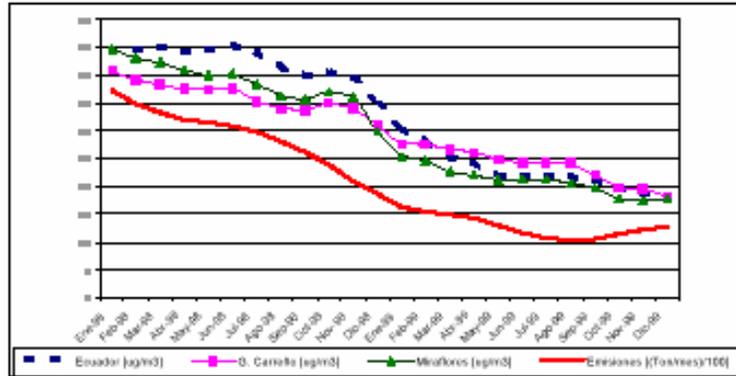


Promedios mensuales de NO₂
Valparaíso, Abr-1997 a Jun-1998

Dióxido de Azufre (SO₂):

Las mediciones realizadas muestran que los niveles de SO₂ se encuentran por debajo de la norma anual. Sin perjuicio de ello es imposible asegurar que no existan superaciones de la norma de máximo diarios vigentes o elevadas concentraciones horarias. Por otro lado, existen elementos que permiten argumentar una correlación positiva entre las emisiones de

SO₂ en la Fundición Ventana y las concentraciones observadas en Valparaíso y Viña del Mar.¹



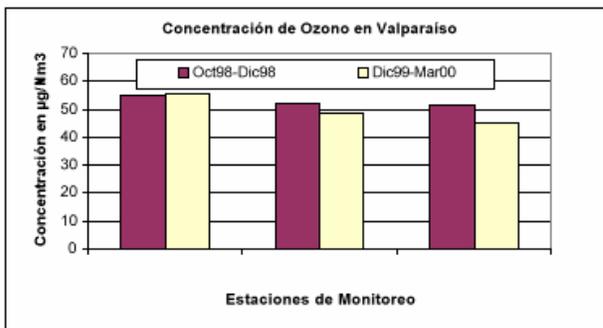
Promedios móviles de 12 meses de concentraciones de SO₂ en 3 puntos de Valparaíso-Viña del Mar y de emisiones de la Fundición Ventanas, entre enero de 1998 y diciembre de 1999. Concentraciones expresadas en µg/m³ y emisiones en (Ton/mes)/1000.

Ozono (O₃):

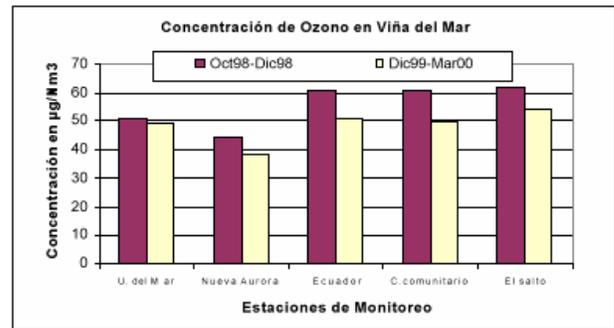
En Valparaíso este contaminante se mantuvo dentro de los límites de la recomendación de la OMS de 60 µg/m³ para promedio semestral. La figura siguiente presenta los valores promedios para las campañas del año 1999 y 2000.

En Viña del Mar los valores registrados durante el año 2000 están bajo la recomendación de OMS. La campaña del año anterior presentó valores levemente superiores a 60 µg/m³ en 3 de 5 lugares de medición.

A nivel promedio, las concentraciones más altas se dan en los lugares ubicados en la parte alta de las ciudades y en el borde costero.



Concentraciones de O₃ en Valparaíso
 Oct98-Dic98 y Dic99-Mar00



Concentraciones de O₃ en Viña del Mar
 Oct98-Dic98 y Dic99-Mar00

¹ Anexo 4 “Concentraciones atmosféricas de SO₂ en el Gran Valparaíso y Rancagua v/s emisiones de megafuentes de SO₂” - Informe de Actividades del Año 2000 Proyecto “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile”

Material Particulado Respirable (PM10):

Los valores no muestran una estacionalidad muy marcada, pero se observa que se registran valores menores durante el período estival. Las concentraciones más altas corresponden a lugares ubicados cerca de vías de alto tráfico vehicular. Sector Brasil en Valparaíso y Ecuador en Viña del Mar, donde se excede la norma diaria.

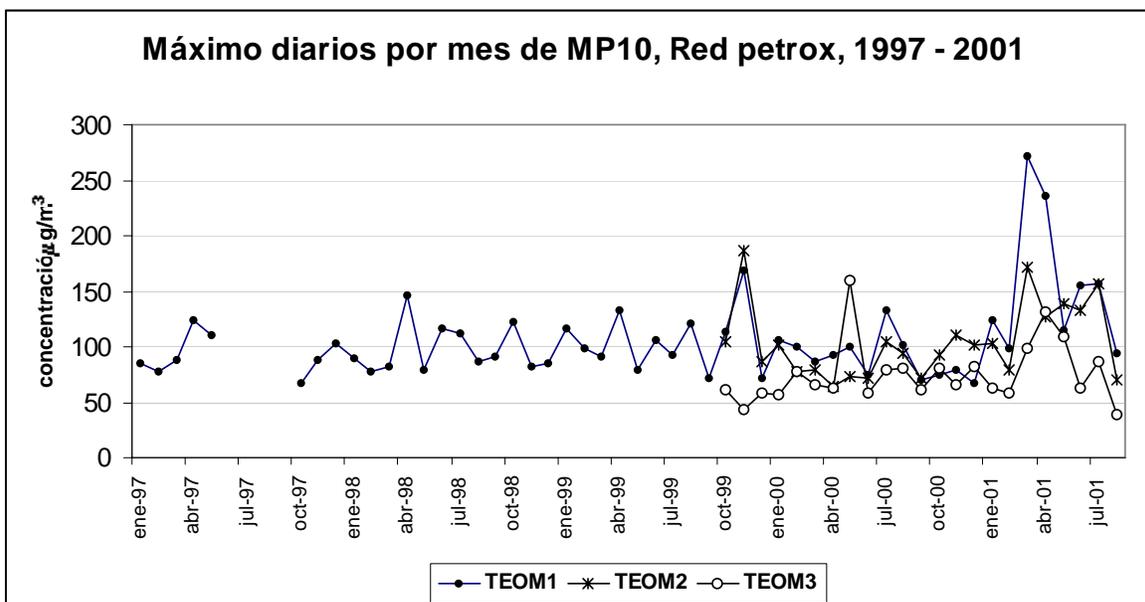
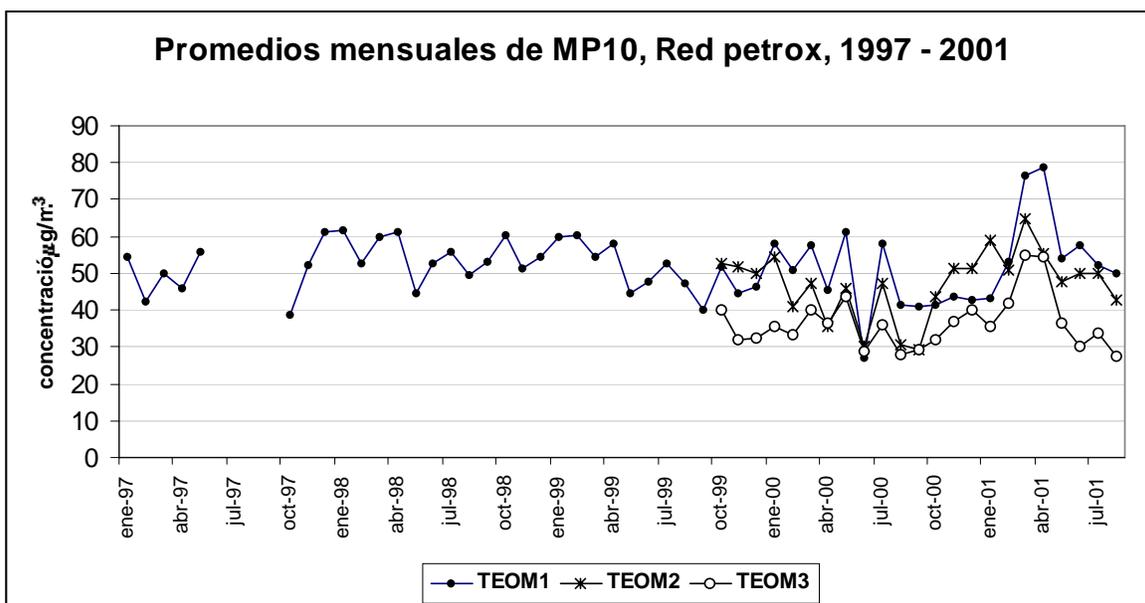
Tabla 2-4 Excedencias de Norma diaria de MP10

	Brasil Valparaíso	Ecuador Viña del Mar
1997	1	
1998	3	2
1999	2	
2000	3	1

2.1.4 Resultados VIII Región (Gran Concepción)

2.1.4.1 Estado de calidad de aire para Material particulado MP10

Los gráficos siguientes presentan las tendencias de los promedios mensuales y máximos diarios mensuales de material particulado medidos en las estaciones de la red de Petrox entre enero de 1997 y agosto de 2001.



La serie de promedios mensuales muestra que para el TEOM 1 (ubicado en la esquina noroeste de la refinería) los valores entre 1997 y 1999 superan en reiteradas ocasiones el valor $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando la norma anual para MP10 durante el período. Para el año 2000, el valor anual es $47.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando el nivel de latencia ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 2-5 Tabla promedios anuales de MP10

	TEOM 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 2* $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 3* $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1997	50.1		
1998	54.7		
1999	50.6	51.4	34.7
2000	47.3	42.3	35.0

* mediciones en TEOM2 y TEOM3 comienzan en octubre de 1999

La serie de máximos promedios diarios para cada mes muestra que durante el año 2001, el valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se ha superado en el período marzo a julio.

La tabla siguiente presenta el número de veces que se ha excedido la norma diaria de MP10.

Tabla 2-6 excedencias de norma diaria de MP10

	TEOM 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 2* $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 3* $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1997	0		
1998	0		
1999	1	1	0
2000	0	0	1
2001	6	0	3

* mediciones en TEOM2 y TEOM3 comienzan en octubre de 1999

Desde enero de 2001, se realizan muestreos de 24h (cada 3 días) de MP10 con muestreadores de alto volumen en Coronel. Para el período enero a marzo de 2001 los valores se mantienen bajos. La mayoría de los días tienen concentraciones menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En Talcahuano se realizó una campaña de muestreos diarios de 24 horas de MP10 y MP2.5 con equipos impactadores Harvard instalados en 2 lugares. Período de muestreo 2 de junio de 2000 a 23 de abril de 2001. Los resultados de esa campaña se resumen en la Tabla 2-7.

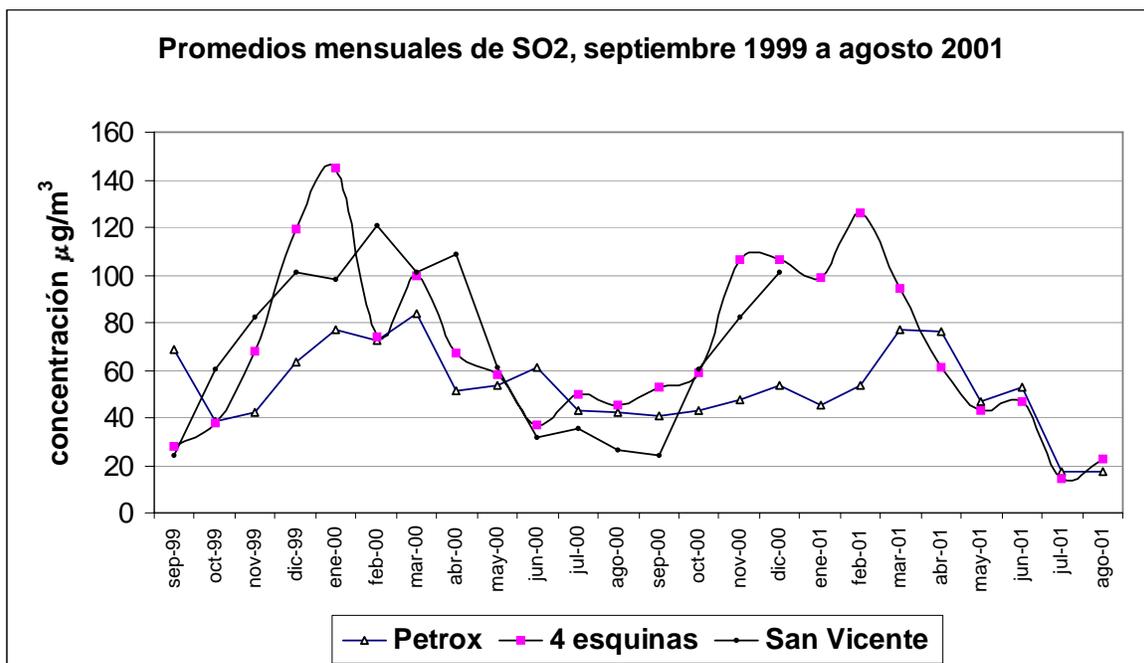
La norma anual se excede en los 2 lugares medidos, Libertad y Consultorio. El valor diario de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se excede 26 veces en la estación Libertad. El valor más alto en la estación libertad es $238 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio en la estación Consultorio el valor más alto es $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 2-7 Resultados campaña de MP10 y MP2.5

	Libertad		Consultorio	
	Concentración		Concentración	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
Promedio	78.6	18.1	55.0	12.4
Máximo	238.2	64.0	129.1	39.0
Mínimo	7.5	0.0	0.0	0.0
Desv. estandar	47.7	10.2	21.8	7.4
Norma anual	50	15	50	15
Norma diaria	150	65	150	65
Percentil 98 < 150	181.6		100.4	
Días totales	302	302	221	221
% recuperación	92.6%	92.6%	98.2%	98.2%
Nº días > 150	26	*	0	*
Nº días > 120	58	*	1	*

2.1.4.2 Estado de calidad de aire para SO₂

El gráfico siguiente presenta las tendencias de los promedios mensuales de SO₂ para el período septiembre de 1999 a agosto de 2001 para una estación de Petrox y estaciones de CONAMA VIII (4 Esquinas y San Vicente)



No se aprecia una tendencia en los valores. Durante los meses de verano los valores de SO_2 son mayores, destacando los valores registrados en la estación 4 esquinas.

La tabla siguiente presenta los valores promedios anuales. Para el año 2000, las estaciones 4 Esquinas y San Vicente tienen valores por sobre el límite de latencia. Para el año 2001, considerando que se produce un aumento de valores en verano, el valor de latencia se excederá.

Promedios anuales de SO_2

	Petrox $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 Esquinas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bomberos/San Vicente $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1998	--	61.2	<u>74.5</u> ¹
1999	53.1	57.5	<u>70</u>
2000	55.8	<u>75.0</u>	<u>71.0</u>
2001	48.4	63.4	

¹ período agosto-diciembre

Al revisar las series de valores de promedios diarios para el año 2000 se aprecian valores altos en la estación San Vicente durante los meses de verano. La norma diaria es excedida durante 1 día. Al considerar la norma propuesta de 250, se excedería durante 13 días la norma propuesta. (Ver Anexo)

Excedencia de norma diaria vigente de SO_2 ($365 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Petrox $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 Esquinas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bomberos/San Vicente $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1998		1	1
1999	0	0	1
2000	0		1
2001	0		

Excedencia de norma horaria vigente de SO_2 ($1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Petrox $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 Esquinas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	San Vicente $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1998		1	4
1999	0	0	5
2000	0	0	5
2001	0	S/I	S/I

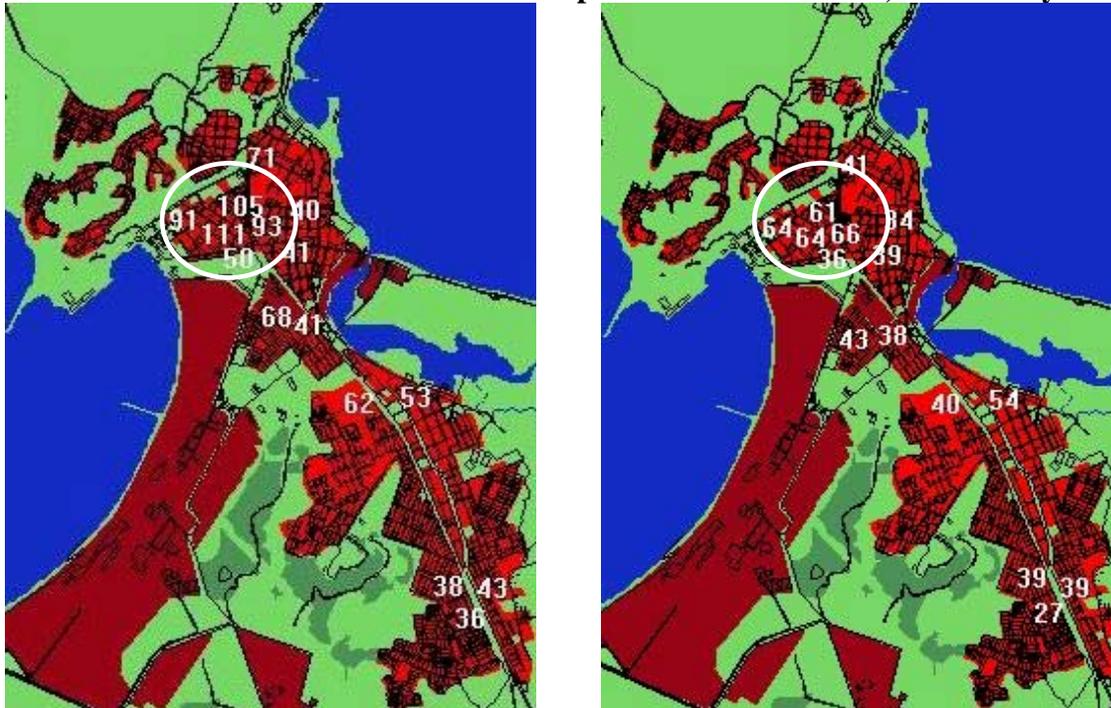
S/I sin información

La estación de San Vicente presenta excedencia de la normas vigentes para valor horario y promedio diario. Para el valor anual supera el nivel de latencia.

Las figuras siguientes presentan promedios anuales para la zona de Talcahuano correspondientes a campañas realizadas con tubos pasivos durante los años 1999 y 2000.

En ellas se aprecia que la zona de Talcahuano presenta valores anuales por sobre $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el año 1999, en cambio durante el año 2000 disminuyen a valores superiores al nivel de latencia.

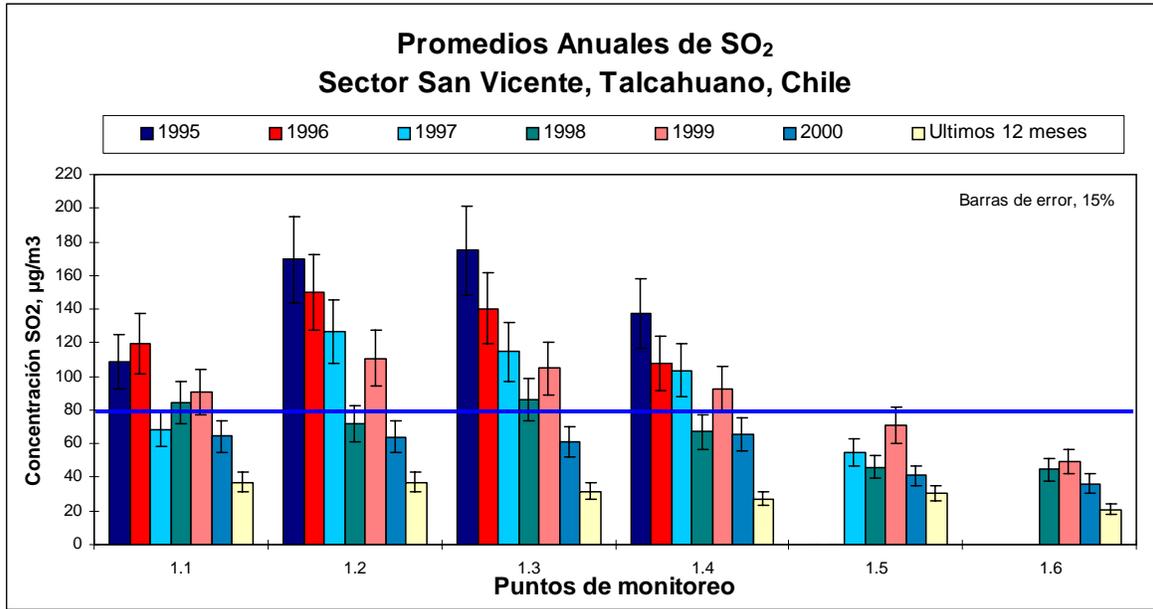
Promedios anuales medidos con tubos pasivos en Talcahuano, años 1999 y 2000



Niveles de SO_2 Año 1999 (Enero 16, 1999 – Enero 15, 2000) Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Niveles de SO_2 Año 2000 (Enero 15, 2000 – Diciembre 30, 2000) Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente CONAMA VIII

El gráfico siguiente presenta una comparación de valores Anuales de SO_2 para el sector de San Vicente



Fuente: "Monitoreo con tubos pasivos en Talcahuano"

El gráfico de la figura anterior fue construido con los promedios anuales de mediciones con tubos pasivos en Talcahuano. Se aprecia una tendencia a la disminución de los promedios anuales en todos los puntos de monitoreo. En todos los puntos no se excedió la norma anual durante el año 2000. En años anteriores se había excedido la norma en 4 (de un total de 6) puntos, incluso los valores para 1995 superan fuertemente la norma.

2.2 Régimen de vientos típicos en la zona central

2.2.1 Disponibilidad de información

La información meteorológica disponible para el estudio proviene de tres fuentes:

- Mediciones meteorológicas realizadas durante el estudio, en tres lugares.
- Información recopilada durante el estudio, obtenida en las redes de monitoreo de calidad de aire.
- Información meteorológica disponible en CENMA, de la red meteorológica de la RM y de algunas mediciones adicionales realizadas en proyectos específicos.

Las mediciones meteorológicas realizadas durante el estudio incluyen tres lugares, Casablanca (V Región), Chiguayante y Arauco (VIII Región). Las mediciones se extendieron por un periodo superior a 6 meses. La descripción de las mediciones realizadas y resultados obtenidos se presentan en el Anexo respectivo.

En la recopilación de información de calidad de aire de la V y VIII Regiones, se obtuvo información meteorológica en medio digital de algunas estaciones de las redes existentes en esas regiones. El detalle de la información recopilada se presenta en el Anexo correspondiente a Recopilación y Análisis de información de calidad de aire.

La información meteorológica disponible en CENMA corresponde a la red de estaciones orientadas al estudio de calidad de aire en la RM. La red llegó a tener 24 estaciones, disminuyendo paulatinamente el número total de estaciones hasta unas 20 a mediados de 2000.

La información generada en CENMA es sometida a un proceso de revisión y validación estandarizado, que permite minimizar la cantidad de datos erróneos en las bases de datos de trabajo. Para la información meteorológica generada por redes privadas, recolectada durante el estudio, no se aplicó un procedimiento de revisión completo debido a la falta de antecedentes de operación y calibración instrumental. Se detectaron dos estaciones con información anómala: i) en la estación Sur de Ventanas, direcciones de viento opuestas al resto de las estaciones del área y ii) direcciones de viento de la estación Chagres reportadas sólo en cuatro direcciones principales (N, S, E y W). Esas estaciones fueron descartadas del análisis posterior.

La información meteorológica recopilada en el estudio se utiliza para dos fines:

- Información de entrada para las modelaciones atmosféricas, especialmente mediciones de viento.
- Análisis de patrones típicos de movimiento de aire en la zona, flujos diurnos y nocturnos.

La información meteorológica usada en las modelaciones está descrita en la sección correspondiente.

2.2.2 Patrones de flujos de aire típicos de condiciones diurnas y nocturnas.

Las estaciones con mediciones de viento utilizadas en el análisis se indican en la Tabla adjunta. Para representar los flujos diurnos, se utiliza la dirección predominante del viento en el período de 12 a 18 h, que corresponde a las horas de mayor desarrollo de la brisa diurna. Para los flujos nocturnos, se utiliza la dirección predominante de viento en el período de 00 a 06 h.

Los flujos típicos del período diurno alcanzan mayor intensidad durante los meses de verano, cuando el efecto de insolación es mayor. Los flujos nocturnos, en cambio, están mejor definidos en los meses de invierno, con un período nocturno más extenso, con e brisas de montaña (ladera abajo) mejor desarrolladas.

Las figuras adjuntas muestran las direcciones predominantes del flujo diurno en verano y del flujo nocturno en invierno, en cada una de las estaciones con información de viento.

Las direcciones de viento correspondientes al flujo diurno (Figura 2.1) muestran consistencia en el movimiento del aire desde la costa hacia el interior, canalizándose los flujos por los valles. En la zona de Ventanas, las direcciones predominantes en la tarde son similares en las diferentes estaciones, con una dirección predominante del W a SW. Esta condición es característica de la tarde. Durante la mañana, las direcciones de viento en el área de Ventanas son temprano desde el norte, luego noroeste, girando posteriormente a oeste y suroeste al final de la tarde.

La estación de Concón muestra viento del oeste. En la zona de Limache las observaciones muestran que el flujo se separa, siguiendo por el valle principal hacia el noreste, mientras que otra rama se mueve hacia el este-sureste, por el cajón de Olmué - La Dormida.

En la zona de La Calera, el flujo de aire podría separarse en dos ramas, hacia el norte (El Melón) y hacia el sur (Hijuelas-Ocoa). No hay mediciones de viento más al interior del valle del Aconcagua (se descartó Chagres).

En el sector de Casablanca, el flujo predominante durante la tarde es desde el suroeste. También muestra esa dirección la estación Codigua, ubicada al suroeste de Melipilla. Ambas estaciones indican flujos de aire provenientes del sector costero.

En el valle del Maipo y la cuenca de Santiago, las direcciones de viento muestran principalmente componentes del oeste, condición típica de las brisas que se desarrollan desde el valle hacia la montaña. En el sector norte de la cuenca de Santiago, el viento muestra componente del sur, indicando un posible transporte de contaminantes hacia el sector de Los Andes. En el sector sur de la cuenca de Santiago (Buin-Paine) los flujos de viento muestran variaciones de direcciones que se pueden asociar al efecto del relieve local.

Las direcciones de viento del flujo nocturno (Figura 2.2) muestran predominancia del movimiento desde el continente hacia la costa. En el sector de Ventanas y en el valle del Aconcagua, los flujos muestran direcciones opuestas a la condición diurna, descendiendo por los valles hacia el sector costero.

La estación de Concón muestra viento desde el este-sureste, indicando la posibilidad de impacto de las emisiones de RPC sobre la estación de calidad de aire durante esas horas. En el sector de Ventanas, las estaciones muestran viento ladera abajo, hacia el océano.

En Casablanca, el viento nocturno muestra componente del este.

En la cuenca de Santiago, las direcciones de viento durante la noche reflejan el flujo de aire que escurre ladera abajo, hacia los sectores más bajos del terreno. El aire sale de la cuenca por el sector de Talagante –El Paico, hacia la costa. En el sector norte de la cuenca, los flujos siguen la pendiente del terreno, mostrando recorridos complejos debido a la topografía de esa zona.

La magnitud del viento es reducida en toda la zona, especialmente durante los meses de invierno, cuando el menor calentamiento del suelo no es capaz de inducir brisas diurnas intensas. En condiciones de baja ventilación y una capa de mezcla reducida, se pueden alcanzar elevados niveles de contaminación atmosférica. Las condiciones meteorológicas asociadas a los episodios de contaminación que ocurren en Santiago, son simultáneas en toda la región estudiada.

Por lo tanto, cabe esperar acumulación de contaminantes en valles y cuencas encerradas, y recirculación de contaminantes debido a las direcciones de viento alternantes entre día y noche.

CICLO DIURNO DE VERANO

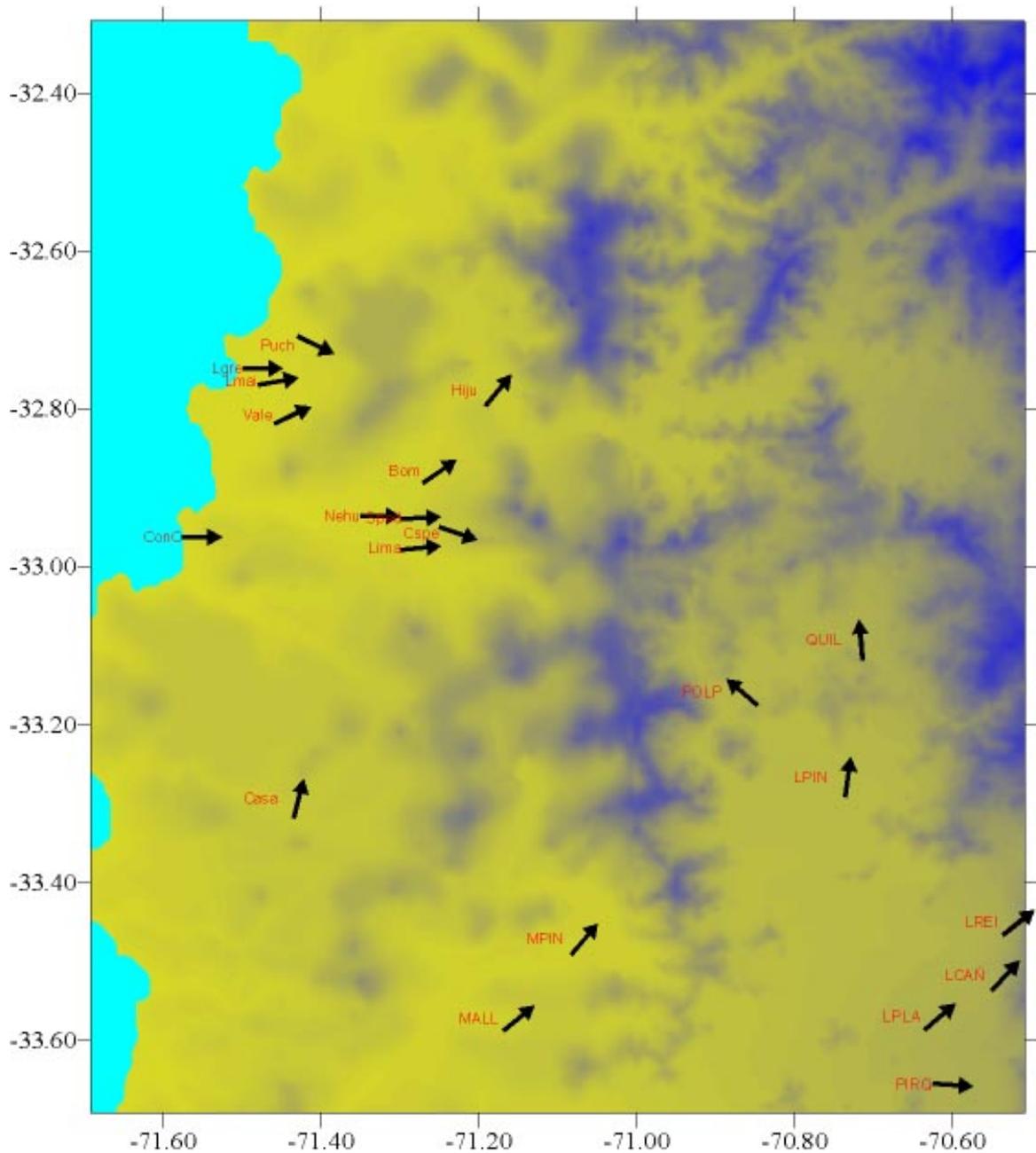


Figura 2.1 Direcciones predominantes de viento observadas durante el régimen diurno (12 a 18 h) en verano

CICLO NOCTURNO DE INVIERNO

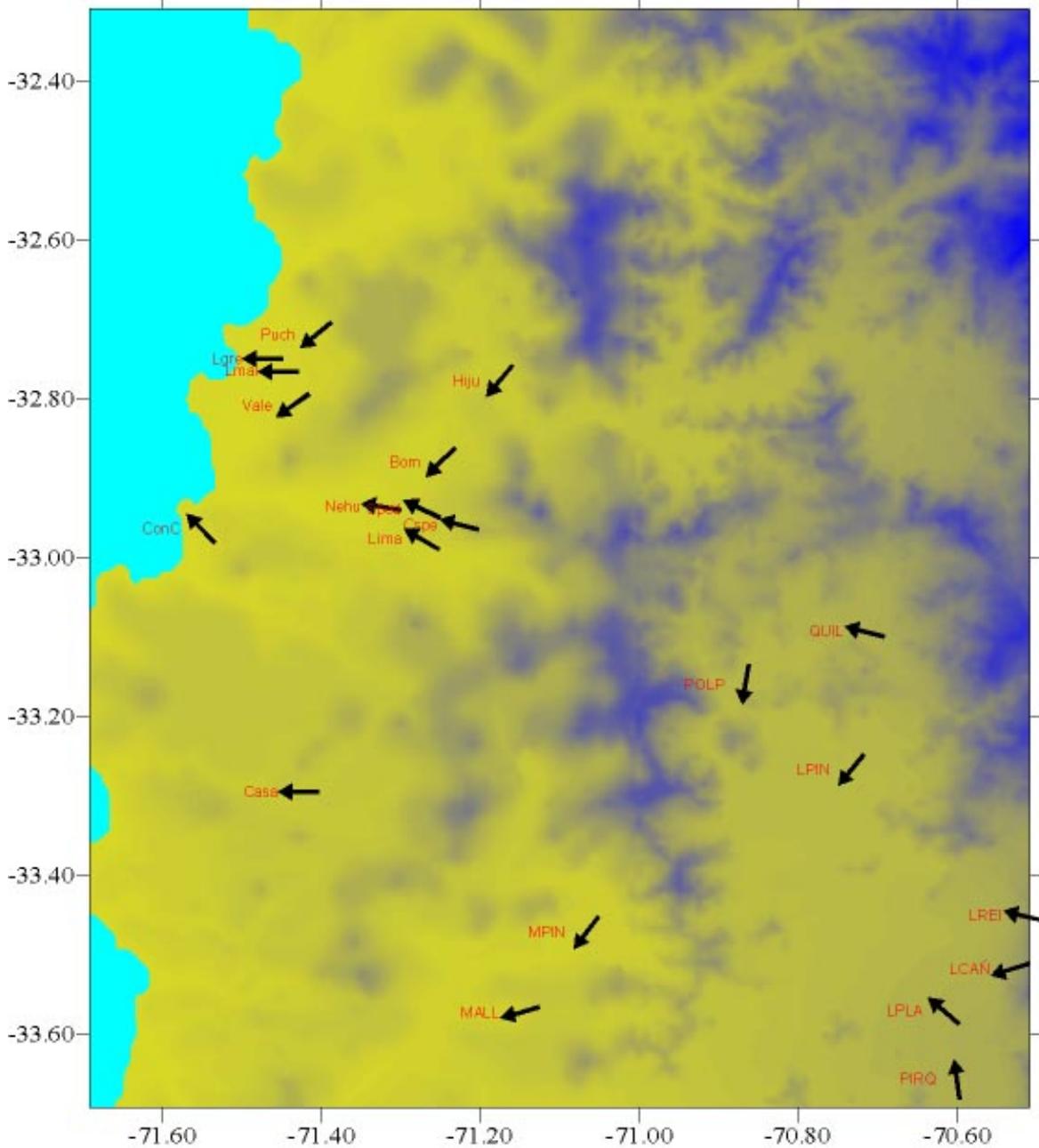


Figura 2.2 Direcciones predominantes de viento observadas durante el régimen nocturno (00 a 06 h) en invierno

2.3 Estimaciones de Emisiones

2.3.1 Emisiones Regionales

Se presentan estimaciones de emisiones realizadas por CENMA en el marco de estudios de Inventarios de Emisiones en Regiones de Chile desarrollados para CONAMA.

Para la V Región, se presentan las emisiones globales para la región, excepto el Gran Valparaíso, que aparece en tabla separada. Para la Región Metropolitana, se presenta el inventario de emisiones incluido en los antecedentes preparados por CONAMA para la Actualización del Plan de Descontaminación de la RM. En forma separada se presentan estimaciones de polvo levantado desde el suelo. Para la VI Región, se presentan las emisiones globales regionales, excepto Rancagua que aparece en tabla separada.

Un resumen de las emisiones para las tres regiones se presenta en la tabla siguiente.

Emisiones a la Atmósfera por Región, totales anuales (Miles ton /año)

REGION	MP	CO	NOx	COV	SOx	NH3	Polvo
V Región	8.7	35.2	12.2	22.1	59.8	11.9	51.6
Región Metropolitana	4.4	187.4	56.9	80.1	10.0	29.3	48.6
VI Región	6.7	33.2	2.4	21.2	483.8	12.1	13.7

Las emisiones de CO, NOx y COV, provenientes principalmente de vehículos, son mucho más altas en la RM. Para SOx, en cambio, las mayores emisiones provienen de las fundiciones de cobre, donde Caletones en la VI Región tiene emisiones que son cerca de 48 veces más altas que el total de la RM.

2.3.2 Grandes Fuentes

En las tablas siguientes se presentan los valores estimados de emisiones anuales de dióxido de azufre (SO₂) y material particulado (MP), para las fundiciones ubicadas en la zona. La fuente de información se indica en las tablas. Para las fundiciones que deben cumplir con un plan de reducción de emisiones, se indican las metas anuales.

Fundición Ventanas

Año	Meta MP	Meta SO ₂	Emisión MP	Emisión SO ₂	Fuente
1997	3400	62000	1800		
1998	2000	45000	1200	44800	Gallardo et al. 2000
1999	1000				
2000					

Central Termoeléctrica Ventanas

Año	Meta MP	Emisión MP	Fuente
1997	3000	450	CAPP, 1999
1998	3000	1300	CAPP, 1999

1999	3000		
2000			

Fundición Chagres

Año	Emisión SO2	Fuente
1997	16000	Gallardo et al. 2000
1998	12000	Gallardo et al. 2000
1999	10000	Gallardo et al. 2000

Fundición Caletones

Año	Meta MP	Meta SO2	Emisión MP	Emisión SO2	Fuente
1998	3000	750000		710000	CAPP 1999
1999	1987	494000			
2000	1987	494000	1718	466498	CONAMA VI

2.3.3 Estimaciones de emisiones para la V Región

Inventario de emisiones atmosféricas de la V Región (excepto Gran Valparaíso), Año 2000 (CENMA)

SUB-GRUPO	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV [ton/año]	SOx [ton/año]	NH3 [ton/año]
SUB-TOTAL PUNTUALES	5169	1680	7432	591	58150	579
SUB-TOTAL AREALES	2661	16323	473	14221	18	10772
SUB-TOTAL FUENTES FUGITIVAS	23713					
SUB-TOTAL FUENTES MOVILES	NE	NE	NE	NE	NE	NE
TOTAL INVENTARIO	31543	18003	7905	14812	58168	11351

Inventario de emisiones atmosféricas de Gran Valparaíso, Año 2000 (CENMA)

SUB-GRUPO	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV [ton/año]	SOx [ton/año]	NH3 [ton/año]
SUB-TOTAL PUNTUALES	223	136	425	345	1397	22
SUB-TOTAL AREALES	470	2830	90	4633	3	527
SUB-TOTAL FUENTES FUGITIVAS	27918					
SUB-TOTAL FUENTES MOVILES	178	14246	3812	2354	237	41
TOTAL INVENTARIO	28789	17212	4328	7331	1636	590

2.3.4 Estimaciones de emisiones para la Región Metropolitana

Inventario de emisiones atmosféricas para la Región Metropolitana, Año 2000
 (No incluye polvo levantado desde el suelo) (CONAMA, Actualización PPDA)

Categoría de Fuente	MP ton/año	CO ton/año	NOx ton/año	COV ton/año	SO2 ton/año	NH3 ton/año
Fijas Combustión	304	990	4045	87	2536	97
Fijas Procesos	739	5514	4129	4041	4065	104

Residenciales	328	888	1392	30309	239	2002
Otras estacionarias	534	4322	310	20926	16	26213
Total Estacionarias	1905	11715	9877	55363	6855	28415
Buses	1208	6020	20428	2478	1507	5
Camiones	810	3333	9209	2388	895	5
Veh Livianos cat	172	34840	8778	4601	441	915
Veh Livianos no cat	53	127040	7076	14321	144	8
Veh Livianos diesel	182	708	672	162	140	1
Motos	1	2255	17	506	3	0
Fuera de ruta	42	1529	865	272	5	0
Total Móviles	2467	175725	47045	24728	3135	933
TOTAL	4372	187440	56921	80091	9990	29348

Inventario de emisiones difusas (levantamiento de polvo) Octubre 2000.
 (En Revisión, CONAMA)

Fuentes	Ton/año
Construcción y demolición	700
Levantamiento de polvo en calles pavimentadas	33.600
Levantamiento de polvo en calles sin pavimentar	4.300
Producción de áridos (*)	10.000
TOTAL	48.600

2.3.5 Estimaciones de emisiones para la VI Región

Inventario de emisiones atmosféricas de la VI Región (excepto Rancagua), Año 1999 (CENMA)

SUB-GRUPO	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV [ton/año]	SOx [ton/año]	NH3 [ton/año]
SUB-TOTAL PUNTUALES	2654	533	751	11	482861	96
SUB-TOTAL AREALES	3967	24579	409	9262	81	11809
SUB-TOTAL FUENTES FUGITIVAS	8772					
SUB-TOTAL FUENTES MOVILES	NE	NE	NE	NE	NE	NE
TOTAL INVENTARIO	15392	25112	1160	9273	482942	11905

Inventario de emisiones atmosféricas de Rancagua, Año 1999 (CENMA)

SUB-GRUPO	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV [ton/año]	SOx [ton/año]	NH3 [ton/año]
SUB-TOTAL PUNTUALES	35	52	82	1	706	12
SUB-TOTAL AREALES	18	67	125	10937	80	122
SUB-TOTAL FUENTES FUGITIVAS	4956					
SUB-TOTAL FUENTES MOVILES	44	7948	1013	965	51	16
TOTAL INVENTARIO	5054	8068	1220	11903	837	150

2.3.6 Referencias

CAPP, 1999. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 1999. Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile. Capítulo II.1 Aire, p. 37-73.

CONAMA VI Región, 2001: Informe de seguimiento y control al Plan de Descontaminación al área circundante a la Fundición de Caletones de la División El teniente, CODELCO Chile. Tercer Cuatrimestre 2000, Septiembre- Diciembre 2000.

CONAMA RM, 2001. Anteproyecto de Revisión, Reformulación y Actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA).

Gallardo, L., Olivares, G., Aguayo, A., Langner, J., Aarhus, B., Gidhagen, L., 2000. *“Regional Dispersion of Oxidized Sulfur over Central Chile Using the HIRLAM – MATCH System”*. Strengthening of the Air Quality Information System (Working area 2): Application of a regional-scale model over the central part of Chile. Final Report. National Commission for the Environment.

2.4 Modelación atmosférica

2.4.1 Campos de viento V Región

Para la construcción de los campos meteorológicos se utilizó un esquema de tipo diagnóstico con el modelo CALMET (Scire, J.S., Earth Tech, Inc., <http://src.com/calpuff>).

Los datos básicos de entrada corresponden a tres grupos principales:

- Campos existentes calculados con el modelo dinámico Hirlam, con resolución horizontal de 10Km.,(Gallardo et al., 2000; Gidhagen et al., 2001).
- Datos de relieve y tipo y uso de suelos obtenidos de bases de datos disponibles en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (US Geological Survey, <http://www.usgs.gov>).
- Observaciones meteorológicas de superficie y altura.

A diferencia de los campos originales de Hirlam limitados por una gruesa resolución espacial en la horizontal, los campos calculados reflejan las perturbaciones introducidas por una topografía de gran complejidad como la del valle del Aconcagua. Se observa la canalización de flujos por valles que quedan representados a una resolución de 2 Km. en comparación a la resolución original de los campos de Hirlam de 10 Km. De este modo se observa por ejemplo la división del flujo por el valle hacia Quillota y hacia Limache.

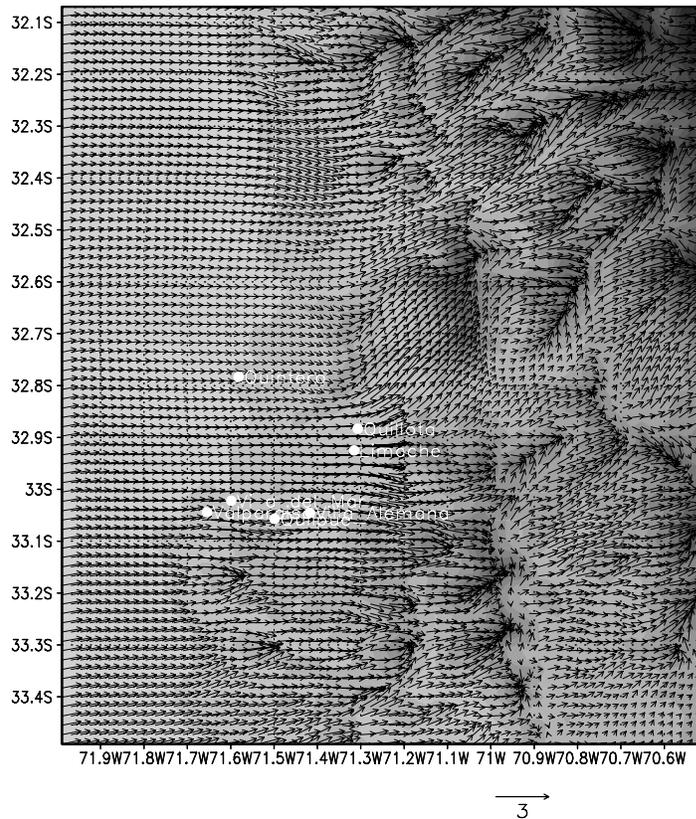
Una mejor resolución también permite la representación de rasgos de mesoescala como la circulación originada por el calentamiento diferencial de cerros de gran envergadura que antes se encontraban suavizados al interior del Valle del Aconcagua y en la zona costera, donde también se observa la penetración del flujo marino hacia los valles en la condición diurna y flujo desde el continente hacia el mar en la condición nocturna. En este caso cualitativamente se observa buena correspondencia entre las observaciones disponibles en Casablanca del año 2001 a condiciones similares de períodos simulados de años anteriores.

Una de las desventajas más importantes del esquema diagnóstico utilizado radica en que los resultados dependen fuertemente de la calidad y distribución espacial de las observaciones, (Jin Young Kim et al, 2000). En general, las observaciones de superficie provienen de las redes de monitoreo que han establecido los grandes núcleos emisores de contaminantes: Complejo Industrial de Ventanas, Refinería de Petróleos Concón, Termoeléctricas, Cemento Melón, y Fundición de cobre en Chagres. Sin excepción, todas estas redes están orientadas a mediciones muy locales y contaminantes específicos, careciendo de una perspectiva de carácter regional orientada al efecto del conjunto de emisores sobre toda la región, en diferentes tipos de contaminantes como el SO₂, el material particulado y aquellos asociados al problema fotoquímico. Una representación espacial de las observaciones disponibles muestra que se encuentran agrupadas en el entorno muy cercano a las fuentes y no se tiene una distribución más representativa del efecto integral de todos los emisores ni de los patrones de circulación en toda la región.

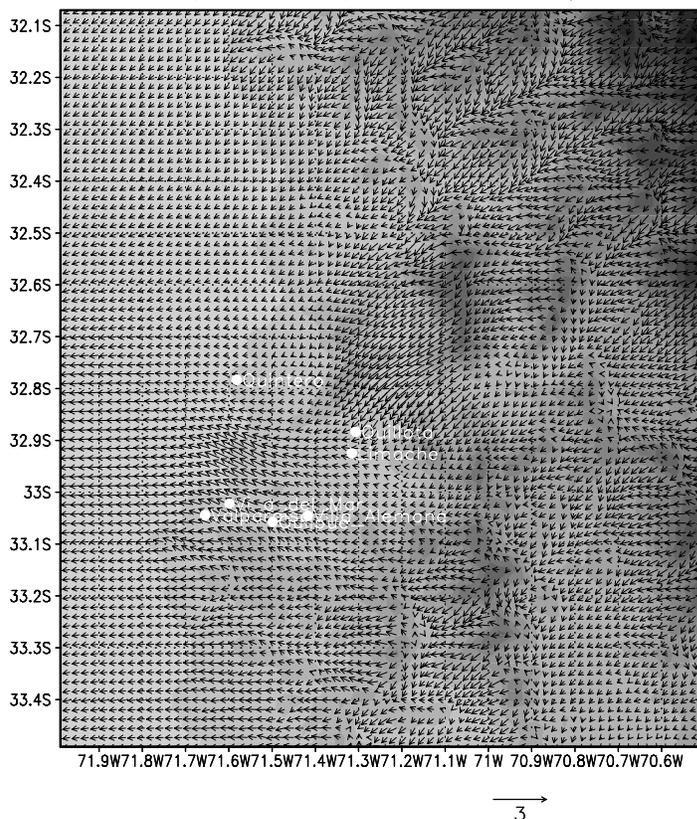
Existen lugares desprovistos de información donde el modelo no entrega buenos resultados. Un ejemplo de ello es la zona Norte de Santiago, en el borde sur oriente del área de modelación, donde la estación meteorológica de Quilapilún no fue incorporada, y el modelo no reprodujo la circulación en ese sector de la cuenca. De este modo, es posible que la circulación del Valle de Los Andes no esté bien representada.

En vista de estos antecedentes, es recomendable realizar una coordinación de quienes realizan las observaciones e incluir dentro de los objetivos de medición además de los problemas locales a los que actualmente se orientan, el concepto de una representación de los flujos más regionales, asociados a problemas de impactos de más largo alcance. Así como también incorporar estaciones de observación en lugares de complejidad orográfica sin información como Los Andes, El Melón y San Felipe.

Campo de viento superficial promedio, May–Jun 2000, hora 15



Campo de viento superficial promedio, May–Jun 2000, hora 3

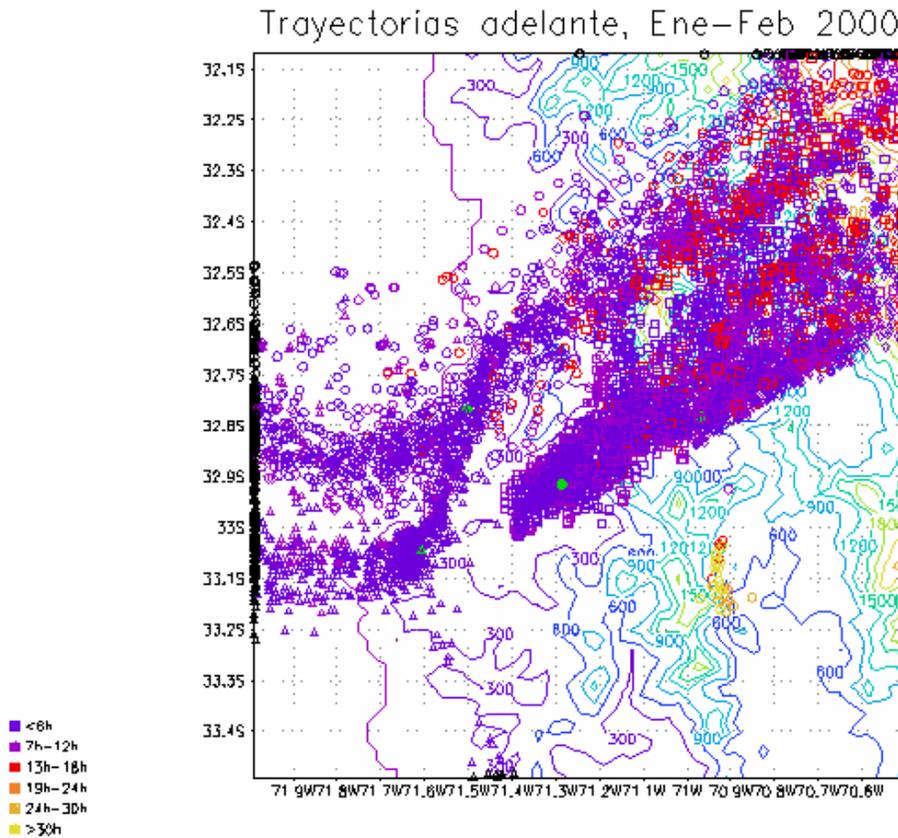


También dentro de las observaciones meteorológicas están las mediciones de altura. En esta aplicación sólo se incluye el sondeo de Santo Domingo, localizado en la costa, próximo al borde sur, pero fuera del dominio de simulación. Por esta razón, los resultados de patrones de flujo en altura reflejan principalmente los provenientes de los campos del modelo Hirlam y las estimaciones del modelo Calmet. En esta zona de tanta complejidad orográfica, con valles estrechos y abruptos cerros que se empinan por sobre los 1000 m junto a la costa y más de 2000 m hacia el interior en unas pocas decenas de kilómetros, sería conveniente disponer de mediciones regulares dentro de los primeros niveles de la atmósfera para tener una caracterización de la evolución de la capa límite en diferentes condiciones del año y tener información más precisa orientada a los problemas de contaminación atmosférica de nivel regional. Se recomienda realizar una campaña de mediciones en altura orientada a la caracterización de la capa límite junto a la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua.

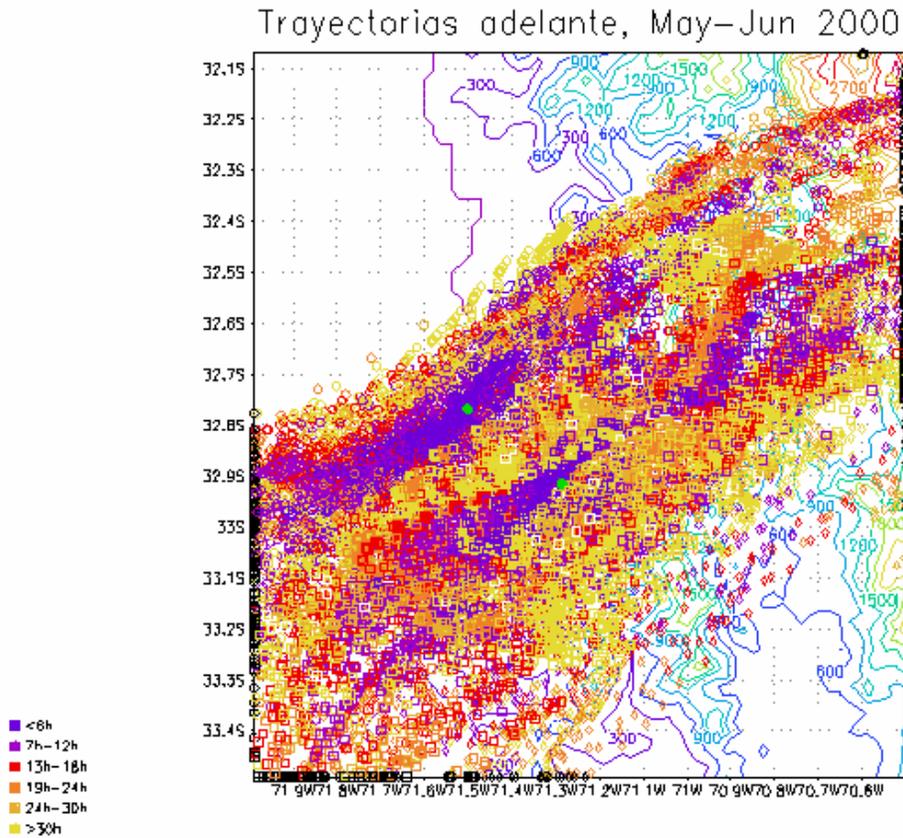
2.4.2 Trayectorias Valle del Aconcagua

A partir de los campos de viento obtenidos se realizaron cálculos de trayectorias hacia adelante de parcelas de aire con origen en la zona de Ventanas a 220 m, Chagres a 120 m, San Isidro a 120 m y un punto en la urbe de Valparaíso a 30 m.

La visualización de las trayectorias calculadas para cada hora del período 15 de Enero al 15 de Febrero del 2000, permite identificar que los efectos de las emisiones de grandes fuentes y núcleos urbanos pueden tener alcances de nivel local y regional, por lo que las medidas de control y gestión de la contaminación atmosférica deben tener también ambas dimensiones.



En el caso del período de condiciones de verano la intensidad del flujo diurno cobra gran importancia, al retirar las parcelas del dominio, en general, en menos de 24 horas. Por otra parte en condiciones invernales, asociadas típicamente a condiciones más estables, el flujo nocturno cobra mayor importancia y velocidades más bajas del viento permiten la recirculación de parcelas de aire dentro del dominio por más de un día. En ambas condiciones se aprecia que las emisiones de localizadas en los puntos señalados pueden tener efectos de alcance regional.



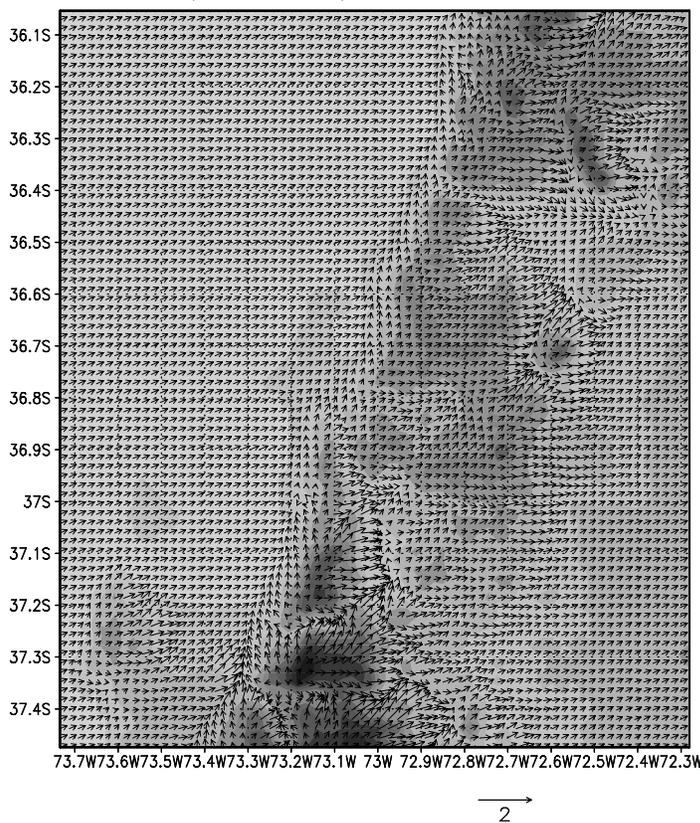
2.4.3 Campos de viento VII Región

Para el caso de la VIII Región se aplicó la misma metodología usada en la V Región para el cálculo de campos de viento y de trayectorias.

La diferencia en los resultados se marca en la disponibilidad de observaciones meteorológicas de superficie y altura. Las observaciones de superficie están limitadas a un área geográfica muy reducida en Talcahuano y a unos pocos kilómetros del aeropuerto de Carriel Sur. Sólo recientemente se implementaron mediciones meteorológicas y de calidad de aire en Coronel, y en el proyecto se realizaron mediciones en Chiguayante y la zona de Laraquete en el Golfo de Arauco.

Por otra parte se carece totalmente de información meteorológica de altura, estando la estación de sondeos Puerto Montt de la Dirección Meteorológica de Chile, a más de 400Km. del borde sur del dominio de simulación. En estas condiciones, los resultados de superficie obtenidos reflejan los campos originales provistos por Hirlam, perturbados por los efectos de superficie simulados por Calmet. En altura, se reflejan los campos de Hirlam con la propagación atenuada de los efectos de superficie dentro de los primeros niveles de simulación de la atmósfera.

Campo de viento superficial promedio, Nov-Dic 1999, hora 3



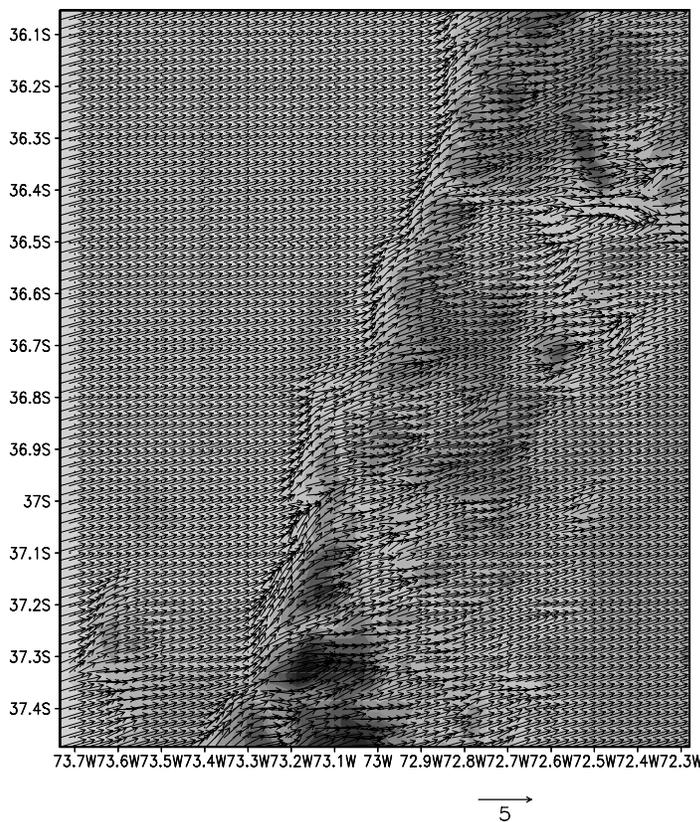
En condiciones nocturnas como diurnas se aprecian los efectos de la orografía sobre los campos de viento superficiales. Las alteraciones de un flujo muy homogéneo que viene desde el océano al enfrentar la costa, y la canalización por valle estrechos. Cualitativamente se aprecia que los patrones de flujo observados en meses del año 2001 son similares a los simulados correspondientes al período 21 de Noviembre al 21 de Diciembre de 1999 en la zona de Laraquete en el Golfo de Arauco. Sin embargo, para el caso de Chiguayante el modelo no reproduce el drenaje nocturno por el río Bio Bio hacia el océano.

Los resultados del esquema de tipo diagnóstico se pueden mejorar aumentando la cobertura de las observaciones de superficie y de altura. Por otro lado, sería recomendable realizar pruebas con un modelo de tipo dinámico y comparar resultados. En ambos casos, la disponibilidad de observaciones es fundamental, ya sea para su incorporación en los esquemas de cálculo, como para la validación de resultados de simulación y comprensión de los patrones de flujo en las áreas próximas a Concepción y la salida del Bio Bio al océano.

En consideración a estos antecedentes, se recomienda el establecimiento de observaciones regulares de superficie y realizar campañas de observación en altura en algunos puntos

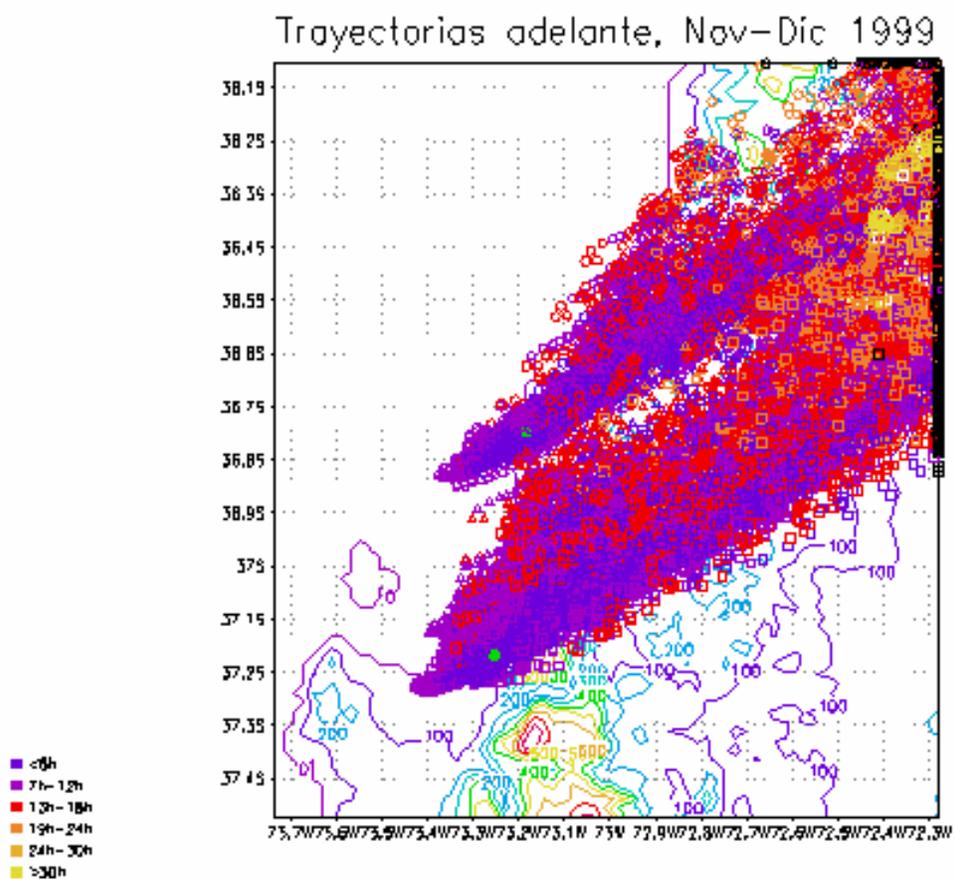
próximos a Concepción para realizar una caracterización del viento en altura en los niveles bajos de la atmósfera.

Campo de viento superficial promedio, Nov–Dic 1999, hora 15



2.4.4 Trayectorias VIII Región

Con los campos de viento disponibles se calcularon trayectorias hacia adelante de parcelas con origen en Talcahuano, Coronel y Laraquete. Estos resultados preliminares muestran la posibilidad de impacto de las emisiones desde la zona de Coronel y en menor medida desde Talcahuano a la zona urbana de Concepción. Dado que los meses disponibles corresponden a condiciones de verano prevalece el flujo sur oeste, sin embargo en condiciones invernales, con mas situaciones prefrontales es posible que la frecuencia de impacto de las emisiones producidas en la zona de Talcahuano sobre la ciudad de Concepción sea mayor.



3 Antecedentes para declaración de zonas saturadas

3.1 Valle del Aconcagua

Los antecedentes disponibles para esta zona indican lo siguiente.

3.1.1 Material Particulado Respirable (MP10)

La norma para 24 h se supera en 2 estaciones del sector de Ventanas (La Greda, Sur). También se supera en 2 estaciones urbanas (Valparaíso, Viña del Mar).

El valor de referencia para promedios anuales se supera en 5 estaciones, en diferentes sectores del valle.

Las excedencias de las normas de MP10 no se pueden atribuir en forma directa a fuentes específicas, debido a la componente de polvo natural que se origina desde caminos y por otras actividades. Para evaluar el aporte de fuentes específicas, es necesario realizar análisis de especiación químico del material particulado.

La superación de valores anuales en diferentes lugares muestra una condición de carácter regional, que puede estar asociada a producción de aerosol secundario por transformaciones de SO_x y NO_x. Se propone desarrollar un programa de caracterización química de MP10, para identificar aportes directos de fuentes emisoras y aportes indirectos por aerosoles secundarios.

3.1.2 Dióxido de azufre (SO₂)

La norma anual no se supera, pero se alcanza el nivel de latencia en tres estaciones (Los Maitenes, Santa Margarita, Concón).

La norma diaria para SO₂ se supera en la red de Ventanas. Al considerar la nueva norma para SO₂, se supera en 3 lugares (2 en Ventanas, Concón).

La norma para 1 h se supera en forma frecuente en la Red de Ventanas. También se excede en Concón y en Chagres.

La excedencia de normas de SO₂ se puede asociar directamente a las fuentes cercanas con elevadas emisiones de SO_x (Complejo Ventanas, RPC, Chagres).

El análisis de flujos de aire y trayectorias originadas en esas fuentes, indica que las zonas de influencia de esas fuentes se extienden hasta grandes distancias de las fuentes. Se encuentran zonas de influencia superpuestas, por lo cual no es posible separar las áreas de

impacto de cada fuente individual. Por otra parte, las estaciones están ubicadas en sectores cercanos a las fuentes, sin entregar información de escala regional. No existen mediciones en lugares elevados, donde podría haber impactos importantes de los penachos que escurren a mayor altura.

Por otra parte, no se han medido en forma sistemática los aerosoles secundarios que se originan de las emisiones de SO_x, ni el efecto de neblinas ácidas.

Se recomienda tratar en forma integrada el problema de contaminación por SO₂, definiendo una zona de gestión de calidad de aire extensa, que abarque toda la zona geográfica de los problemas medidos en las estaciones y las áreas de influencia asociadas a las principales fuentes.

3.1.3 Ozono

La norma para períodos de 1 h no se supera actualmente, aunque la estación Hijuelas tienen valores cercanos.

La nueva norma para períodos de 8 horas se supera en Hijuelas.

Los altos niveles de ozono se pueden asociar con las emisiones de sus precursores, que provienen principalmente desde el Gran Valparaíso, refinería de petróleo, centrales termoeléctricas, planta de cemento y otras fuentes con emisiones de NO_x y COV.

Los análisis de flujos de aire y trayectorias originadas en las principales fuentes, muestra la gran extensión geográfica del problema y la superposición de efectos de las fuentes que contribuyen con precursores de ozono.

Se recomienda definir una zona de gestión de calidad de aire por ozono, de gran extensión geográfica, que incluya todas las fuentes que participan en el problema y las zonas de influencia mostradas por los análisis de trayectorias. Debido a los tiempos requeridos para la formación de ozono y a los procesos de acumulación en niveles elevados sobre la superficie, las zonas de gestión de calidad de aire para ozono deben ser extensas, para incluir áreas alejadas de recirculación de aire, que puedan ser reservorios de este contaminante.

3.2 Area Gran Concepción

Los antecedentes disponibles para esta zona indican lo siguiente.

3.2.1 Material Particulado Respirable (MP10)

La norma para 24 h se superó durante 2000 en 2 estaciones de la red Petrox y en 1 lugar de Talcahuano donde se midió por 11 meses.

El valor de referencia para promedios anuales se superó en 2 estaciones de la red Petrox durante 1999 y en 2 lugares de Talcahuano con mediciones durante 2000.

Las mediciones realizadas en Coronel desde Enero 2001 presentan valores bajo las normas.

Las excedencias de las normas de MP10 no se pueden atribuir en forma directa a fuentes específicas, debido a la componente de polvo natural que se origina desde calles y por otras actividades.

La superación de normas de MP10 en Talcahuano durante varios años indica la existencia de un problema persistente. Para evaluar el aporte de diferentes fuentes, se propone desarrollar un programa de caracterización química de MP10, orientado a identificar fuentes específicas y contribuciones de aerosoles secundarios.

3.2.2 Dióxido de azufre (SO₂)

La norma anual alcanza el nivel de latencia en dos estaciones de Talcahuano durante el año 2000 (4 Esquinas, Bomberos San Vicente). Por otra parte, campañas con tubos pasivos realizadas en Talcahuano muestran superación de la norma anual durante 1999 y latencia durante 2000.

La norma diaria para SO₂ se supera en la estación Bomberos San Vicente. La norma para 1 h también se supera en esa estación.

El análisis de campos de viento y trayectorias para esa región, muestra que la zona de Talcahuano podría estar impactada por emisiones que provengan desde el sector costero al sur de Concepción. Por otra parte, las emisiones desde Talcahuano podrían impactar las zonas del entorno, incluyendo Concepción y el litoral que se extiende hacia Tomé.

Se recomienda tratar en forma integrada el problema de contaminación por SO₂, definiendo una zona de gestión de calidad de aire que abarque las áreas de influencia asociadas a las principales fuentes emisoras de SO₂. Esta zona debería extenderse desde Tomé hasta Coronel.

4 Proposición de una Red de Monitoreo Regional de Calidad de Aire para la Macrozona Central de Chile y mediciones complementarias

4.1 Antecedentes

En Chile Central se reúne casi la mitad de la población del país, concentrado gran parte del sector industrial, transporte privado y público, el consumo energético y otras actividades. En la región se ubican fundiciones de cobre y centrales termoeléctricas que generan cantidades significativas de contaminantes primarios y precursores de otros contaminantes.

Los contaminantes presentes en la atmósfera de Chile Central (material particulado fino, ozono y sus precursores, etc.) son sustancias que pueden ser dispersadas regionalmente, es decir, hasta cientos de kilómetros a la redonda. Estos contaminantes no sólo pueden afectar la salud de las personas sino que los recursos agrícolas y forestales.

La macrozona central de Chile experimenta un gran desarrollo económico, de infraestructura vial y transporte, viviendas e industrias. Esto hace necesario contar con evaluaciones de línea base del recurso aire en zonas urbanas y suburbanas, que permitan detectar los potenciales efectos existentes y acumulados, para evitar el deterioro del recurso aire y sus consecuencias sobre la salud de las personas y los recursos renovables.

El estudio de dispersión regional de azufre oxidado, desarrollado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, en cooperación con el Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología (Gallardo et al. 2000), entregó valiosas perspectivas relativas a la evaluación de la contribución de las fundiciones de cobre a la calidad del aire en las regiones V, RM y VI. El proyecto entregó antecedentes relevantes para el establecimiento de una red regional de monitoreo para la macrozona central de Chile.

Durante el presente estudio, se realizaron con técnicas exploratorias (tubos pasivos) en ocho lugares ubicados en sectores rurales, entre la V y VII Regiones, con el fin de evaluar sitios de monitoreo más permanentes, de una red regional de calidad de aire.

4.2 Objetivos de la red regional de calidad de aire

Los principales objetivos de una red regional de calidad de aire en la región central de Chile son los siguientes:

- Evaluación de los niveles de fondo de calidad de aire y posibles tendencias a mediano plazo.
- Evaluación de niveles de calidad de aire en sectores rurales, con fines de prevención de deterioro de productividad agrícola y protección de recursos naturales renovables.
- Identificación de zonas vulnerables acentuadas por condiciones meteorológicas y topográficas particulares.

4.3 Consideraciones especiales

- La red debe complementarse con las redes públicas o privadas existentes, ubicadas en ciudades y en entornos de grandes fuentes emisoras. También debe considerar las mediciones que se establecen en las resoluciones ambientales de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y las propuestas para algunas ciudades de la zona.
- Los niveles de calidad de aire esperados en zonas apartadas, son más bajos que los usualmente encontrados en áreas urbanas y entornos de fuentes importantes. Por lo tanto, el rango de operación de los equipos debe adecuarse a esos niveles más bajos.
- Las variaciones espaciales esperadas son suaves, sin gradientes importantes.
- La selección de los lugares de instalación debe, al menos, evitar influencias de emisiones cercanas, que aunque pequeñas, podrían afectar la representatividad de las mediciones para áreas extensas.

4.4 Red de tubos pasivos instalada por el proyecto

Durante la ejecución de este estudio, se realizó una campaña de mediciones con tubos pasivos en 8 lugares, de SO₂, NO₂ y Ozono, durante el período de mayo a diciembre 2001. El objetivo principal de esas mediciones fue evaluar puntos de monitoreo para una red regional de calidad de aire, que podrían llegar a ser puntos de monitoreo permanente.

La ubicación de los puntos de muestreo estuvo basada en las sugerencias entregadas por el estudio realizado por Gallardo et al. (2000). La cantidad de lugares y número de muestras se adecuó a los recursos disponibles para esta actividad.

Los lugares de mediciones con tubos pasivos son:

- 1.- Sector de Hijuelas, valle del Aconcagua, V Región.
- 2.- Rocas de Santo Domingo, litoral, V Región.
- 3.- Sector Norte de la Región Metropolitana.
- 4.- Sector Sur de la Región Metropolitana.
- 5.- Sector Rengo, valle central, VI Región.
- 6.- Sector Santa Cruz, valle interior, VI Región.
- 7.- Sector San Fernando, VI Región.
- 8.- Sector Curicó, VII Región.

El programa de mediciones contemplaba exposiciones de un mes para NO₂ y SO₂ y de una semana para ozono, con muestras en duplicado en cada medición. Las mediciones de ozono se limitaron a dos meses de invierno y dos meses de primavera verano.

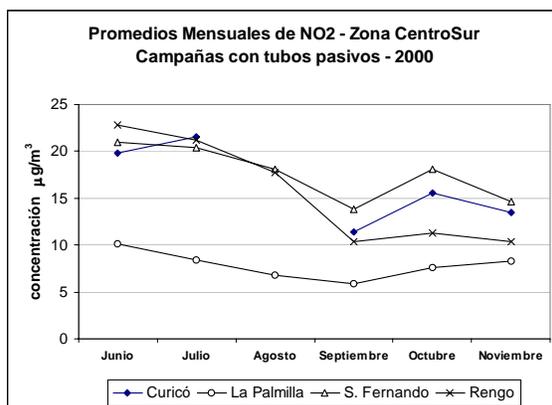
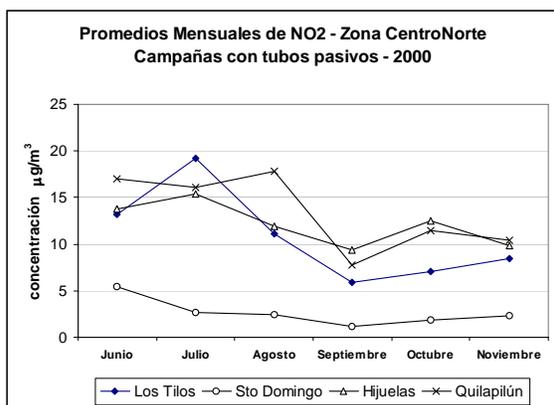
Con el propósito de asegurar la calidad de los resultados, se realizó en paralelo con la campaña de mediciones, una comparación de tubos pasivos con monitoreo continuo, en la estación Las Condes de la Red MACAM de Santiago.

Detalles de la metodología y de los resultados obtenidos se incluyen en el Anexo respectivo.

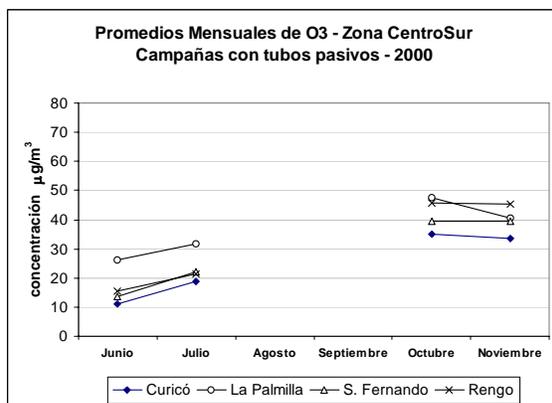
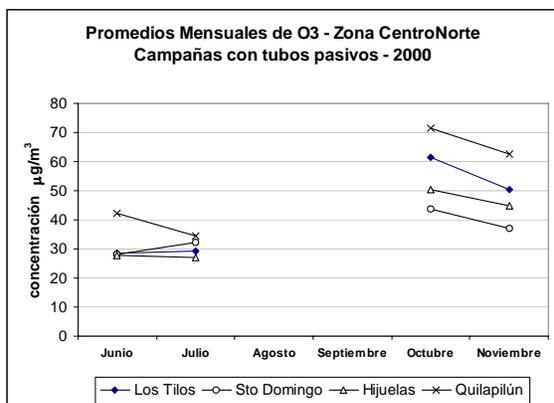
4.4.1 Resultados

Las comparaciones de tubos pasivos con monitoreo continuo mostraron que para exposiciones prolongadas (más de una semana) los tubos pasivos responden en menor grado, subestimando las concentraciones ambientales. Por esta razón, se cambió la frecuencia de muestreo en los últimos meses de la campaña, reduciendo el tiempo de exposición a una semana para todos los tubos pasivos.

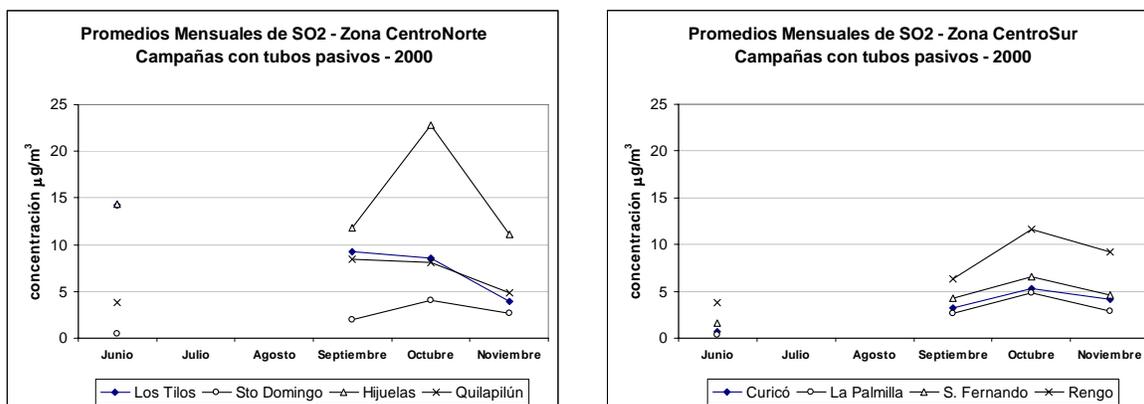
Las figuras siguientes muestran los promedios mensuales obtenidos a partir de las mediciones con tubos pasivos, en los 8 lugares de medición.



Promedios mensuales de NO2 Mediciones con tubos pasivos



Promedios mensuales de O3 Mediciones con tubos pasivos



Promedios mensuales de SO₂ Mediciones con tubos pasivos

Para NO₂, se encuentran promedios mensuales en el rango de 2 a 25 µg/m³. Los valores son algo menores en los tres últimos meses. Los valores más bajos se observan en Santo Domingo (costa). Las estaciones del sector sur muestran valores comparables a las del sector norte, excepto Palmilla, que presenta valores más bajos que el resto.

Para Ozono, se observan valores más altos en el período de primavera, comparado con el período de invierno. Los valores más altos se encuentran en Quilapilún, Los Tilos e Hijuelas. Los promedios en Quilapilún son más altos que los promedios observados en la Estación Las Condes, en períodos similares.

Al contrario de lo que ocurre para NO₂, en Palmilla se observan los valores más altos de O₃, para las estaciones del sector sur.

Para SO₂, se encuentran los valores más altos en Hijuelas. Los Tilos muestra un valor alto en Junio, similar a Hijuelas. Entre las estaciones del sector sur, los valores más altos corresponden a Rengo (más cercana a Caletones). Los valores más altos se observan en estaciones más cercanas a grandes fuentes emisoras de SO₂.

Los valores más bajos de SO₂ se observan en Santo Domingo (costa) y en las estaciones ubicadas más el sur de la zona con mediciones.

Los resultados indican que algunos lugares de medición detectan el efecto de fuentes alejadas, sobre contaminación de escala extendida, como es aparente en las mediciones de SO₂ y Ozono.

Las mediciones de SO₂ realizadas con la red regional de tubos pasivos entrega se pueden comparar con los resultados de un estudio de dispersión de azufre oxidado en la zona central de Chile, realizado por Gallardo et al. (2000), donde se utilizaron los modelos HIRLAM-MATCH para obtener concentraciones y flujos de deposición a escala regional.

De acuerdo a los resultados de esas modelaciones, la estación de Hijuelas está dentro del área influenciada por Ventanas y Chagres, lo que concuerda con los valores más altos

medidos en esa estación. Los valores medidos son algo más altos que los indicados por el estudio de dispersión para ese sector.

El sector de Quilapilún aparece marginalmente influenciado por las emisiones de Santiago. Las mediciones muestran valores bajos, del orden de los simulados en el estudio citado.

El área de Los Tilos se encuentra bajo la influencia de las emisiones de Caletones y Santiago. Las mediciones, en el rango de 10 a 25 ug/m³, son algo mayores que las estimaciones presentadas en el estudio, pero confirman los efectos sobre esa área.

Las simulaciones muestran a la zona de Rengo en el borde del área de influencia de Caletones, con valores en el rango de 5 a 20 ug/m³, comparables con las obtenidas en las mediciones.

Las estaciones Santo Domingo, en la costa, Palmilla y Curicó, en el sector sur, están alejadas de la influencia de las fuentes consideradas en el estudio. La estación San Fernando está marginalmente fuera del área de influencia de Caletones. En todas esas estaciones se miden valores cercanos o bajo 5 ug/m³.

Los resultados de las mediciones con tubos pasivos se comparan favorablemente con las estimaciones presentadas en el estudio de dispersión.

De acuerdo a estos resultados, las localidades elegidas son aptas para mediciones de niveles regionales.

4.5 Niveles críticos de contaminantes atmosféricos que pueden producir efectos en la vegetación

Se denomina Nivel Crítico a la concentración de un contaminante en la atmósfera sobre la cual se pueden esperar efectos adversos en vegetación, ecosistemas o materiales.

SO₂

Los niveles críticos para protección de la vegetación por efectos de SO₂, sugeridos por WHO (2000), se muestran en la Tabla 4.1. Se consideran niveles críticos para SO₂, un promedio anual o promedio semestral de invierno de 30 ug/m³ para cultivos agrícolas y de 20 ug/m³ para bosques y vegetación nativa.

Tabla 4.1 Niveles críticos para efectos del dióxido de azufre sobre la vegetación (WHO 2000)

Categoría de vegetación	Valor Guía (ug/m3)	Período de tiempo	Restricciones
Cultivos agrícolas	30	Promedio anual y de invierno	Suma acumulada sobre +5 C es <1000 C-días por año
Bosques y Vegetación nativa	20	Promedio anual y de invierno	
Bosques y Vegetación nativa	10	Promedio anual y de invierno	
Líquenes	10	Promedio anual	
Bosques	1 (sulfato)	Promedio anual	

Ozono

La exposición a ozono se expresa como la suma de todas las concentraciones de 1 hora sobre 40 ppb, que es considerado el límite inferior sobre el cual se encuentran buenas relaciones entre exposiciones a ozono y respuestas de diferentes especies vegetales.

La Tabla 4.2 muestra los niveles críticos para Ozono sugeridos por WHO (2000). AOT40 corresponde a los valores acumulados de concentraciones de ozono sobre 40 ppb. El valor límite para cultivos es 3 ppm-h en 3 meses (AOT40, valores acumulados sobre 40 ppb). Ese valor equivale a un valor promedio de 44.2 ppb de ozono por 8 horas, durante 3 meses. El nivel crítico para efectos agudos es 0.2 ppm-h en 5 días, equivalente a un promedio de 45 ppb por 8 horas, durante 5 días seguidos.

Tabla 4.2 Niveles críticos para efectos del ozono sobre la vegetación (WHO 2000)

Categoría de vegetación	Valor Guía AOT40 (ppm-h)	Período de tiempo	Restricciones
Cultivos agrícolas (rendimiento)	3	3 meses	
Cultivos agrícolas (daño visible)	0.2	5 días	Condiciones de aire húmedo
	0.5	5 días	Condiciones de aire seco
Bosques	10	6 meses	
Vegetación semi-nativa	3	3 meses	

Compuestos de nitrógeno

Los contaminantes atmosféricos relacionados con nitrógeno incluyen NO, NO₂ y NH₃ en forma gaseosa, nitrato y amonio en partículas y otros compuestos con menor presencia. Los niveles críticos sugeridos por WHO (2000) se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Niveles críticos para efectos de NOx y Amonio sobre la vegetación (WHO 2000)

Tipo de efecto	Valor guía	Período de tiempo
Efectos agudos NOx (expresado como NO2) NH3	75 ug/m3 270 ug/m3	Promedios de 24 h
Efectos de largo plazo NOx (expresado como NO2) NH3	30 ug/m3 8 ug/m3	Promedios anuales

4.6 Principales áreas de producción agrícola

En las regiones V, RM, VI y VII se concentra la mayor parte de la producción agrícola nacional dedicada a hortalizas, frutales, viñas, y una proporción importante de la superficie nacional dedicada a producción de cereales, chacras, cultivos industriales, forraje y plantaciones forestales (ODEPA 2001).

Las áreas de mayor concentración agrícola en esas regiones corresponden a las superficies bajo riego en los sectores medios y bajos de las cuencas hidrográficas principales, que se extienden desde el pie de la cordillera de los Andes hasta las zonas costeras. Las principales cuencas de la zona corresponden a los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Tinguiririca, Mataquito y Maule.

El trabajo de T. García-Huidobro (2001) evalúa el riesgo de los impactos potenciales de dióxido de azufre (SO₂) sobre la producción agrícola en la zona de Chile Central. Para ello considera los cultivos y plantaciones en la superficie agrícola del entorno de tres fundiciones de cobre existentes en el área, Ventanas, Chagres y Caletones. El análisis muestra que los niveles de SO₂ medidos en el entorno de esas fundiciones presentan un riesgo elevado para cultivos anuales y efectos adversos en los rendimientos, crecimiento y producción de frutales.

4.7 Mediciones de calidad de aire en la Macrozona Central

Las mediciones de calidad de aire actualmente existentes y planeadas para las Regiones V a VIII son las siguientes:

V Región:

Existentes:

- Red de monitoreo de calidad de aire de la zona de Ventana (Fundición ENAMI, Central termoeléctrica, Terminal de asfalto y combustibles)
- Estación de Concón (RPC)

- Red de monitoreo de calidad de aire de las Centrales Termoeléctricas instaladas en la zona de Limache-Quillota.
- Estaciones de monitoreo del área de La Calera (Cemento Melón).
- Red de monitoreo de Fundición Chagres

Propuestas:

- Mediciones de calidad de aire en Valparaíso y Viña del Mar (Proyecto Cosude).

Región Metropolitana:

Existentes:

- Red de monitoreo de calidad de aire de Santiago (Red MACAM2, estaciones complementarias de SESMA).
- Estación de monitoreo de calidad de aire Central Renca.
- Estaciones de medición de PM10 y polvo sedimentable de Proyecto de Disposición de Relaves Embalse Ovejería (División Andina Codelco).

Propuestas:

- Mediciones de CO en Autopista Costanera Norte
- Mediciones de CO en Autopista Acceso Sur a Santiago
- Estaciones de monitoreo Relleno Sanitario Santiago Poniente (Maipú)
- Estaciones de monitoreo Relleno Sanitario Santa Marta (Talagante)

VI Región

Existentes:

- Red de monitoreo de calidad de aire División El Teniente, Codelco

Propuestas:

- Monitoreo de calidad de aire en Rancagua (Cosude)

VII Región

No hay monitoreo de calidad de aire

VIII Región

Existentes:

- Estaciones de monitoreo de calidad de aire Refinería de Petróleos Petrox (Talcahuano)
- Estaciones de monitoreo de CONAMA VIII Región
- Estaciones de monitoreo de calidad de aire en Coronel

Propuestas:

- Monitoreo de calidad de aire en Complejo Forestal Industrial Itata (Ranquil).

Resumen de ubicación de estaciones de calidad de aire

Las redes de monitoreo de calidad de aire existentes en estas Regiones se ubican en zonas urbanas o en el entorno de grandes fuentes emisoras. A excepción de algunas estaciones en el valle del Aconcagua, y otras en el entorno de Caletones, todas orientadas a medir influencias de grandes fuentes, no existen mediciones de calidad de aire establecidas en forma continua en sectores rurales.

4.8 Proposición de Red Regional de Calidad de Aire

Se proponen las siguientes estaciones para la zona comprendida entre la V y VII Regiones:

Estaciones representativas de zonas agrícolas (sectores rurales cercanos a las siguientes localidades):

- Los Andes-San Felipe
- Hijuelas-Ocoa
- Casablanca
- Polpaico-Quilapilún
- Buin
- Graneros
- Quinta de Tilcoco
- Santa Cruz
- Lontué
- Pelarco
- Villa Alegre

Estación de fondo para la RM:

- San Pedro -Bucalemu

Las mediciones propuestas para esos lugares son:

Todos los lugares:

- Método de tubos pasivos para SO₂, NO₂ y O₃

Estaciones de fondo:

San Pedro-Bucalemu:

- Monitoreo continuo de PM₁₀-PM_{2.5}, SO₂, NO_x, O₃, HC
- Especiación de PM (muestras)
- Especiación de COV (muestras)
- Meteorología

Santa Cruz (sector agrícola):

- Monitoreo continuo de PM₁₀-PM_{2.5}, SO₂, NO_x, O₃, HC
- Especiación de PM (muestras)
- Especiación de COV (muestras)

- Especiación de pesticidas (muestras)
- Meteorología

4.9 Estudios especiales complementarios a la red regional

Se han identificado algunos aspectos específicos de mayor detalle espacial que lo que puede entregar la red regional, que requieren un análisis especial.

Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes

Los elevados niveles de aerosoles secundarios y oxidantes fotoquímicos originados en la cuenca de Santiago, pueden estar afectando la cuenca de Los Andes, por transporte por el flujo predominante de componente sur durante el día, cruzando sobre el cordón de cerros de Chacabuco.

Se propone realizar una Campaña de mediciones a lo largo de un transecto entre el sector Norte de la Cuenca de Santiago y la Cuenca de Los Andes-San Felipe, con mediciones a lo largo de una línea (6 puntos), durante dos períodos del año, invierno y verano, incluyendo:

- Muestreos semanales con tubos pasivos de Ozono, NO₂, SO₂
- Muestras para especiación de COV
- Muestras de PM_{2.5} para especiación
- Monitoreo continuo de PM, SO₂, NO_x, O₃ en dos lugares
- Meteorología: complemento con información disponible (2 lugares)

Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua:

Interesa especialmente estudiar sectores actualmente no monitoreados, donde se pueden producir concentraciones significativas de Ozono, SO₂ y otros contaminantes.

Sectores prioritarios: Valle de Limache-La Dormida, Sector El Melón, Sector Hijuelas-Ocoa, Sector Llay-Llay-Catemu, Sector San Felipe-Los Andes.

Campaña en período de verano:

- Muestreos semanales con tubos pasivos para O₃, SO₂, NO₂ (12 lugares).
- Mediciones continuas de SO₂, NO_x, O₃, PM en dos sectores (El Melón, Ocoa).
- Mediciones meteorológicas complementarias a las existentes (2 a 3 lugares)
- Muestreos para especiación de COV.

Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona:

Estudio de la variación espacial de contaminantes con la distancia a la fuente emisora. Se propone realizar mediciones a lo largo de 3 líneas originadas en la fuente, de acuerdo al

patrón de comportamiento de vientos en el período de invierno, el que hacia el valle determina principalmente las direcciones Norte, Oeste y Sur.

Una campaña de tres meses de duración debería considerar a lo menos los siguientes estudios:

- Muestreos semanales con tubos pasivos para O₃, SO₂, NO₂, en 15 puntos.
- Mediciones continuas de SO₂, NO_x, O₃, PM en dos puntos
- Mediciones meteorológicas complementarias a las existentes (3 lugares, una por línea)
- Muestreos para especiación de material particulado (Cu, As, S, y otros).

4.10 Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda

Los contaminantes atmosféricos emitidos desde grandes ciudades y fuentes industriales afectan la vegetación y los ecosistemas, tanto por contacto directo como en forma indirecta por deposición hacia los suelos y sistemas hídricos.

Los flujos de deposición seca y húmeda no han sido medidos en Chile. Se puede postular que la presencia de las fundiciones de cobre, con emisiones de óxidos de S y elementos metálicos, y plantas termoeléctricas en zonas donde se desarrollan actividades agrícolas, forestales y ganadería, representan un riesgo muy alto para esas actividades. Las estimaciones realizadas por Gallardo et al. (2000) muestran la gran magnitud de la deposición que puede haberse acumulado a través de décadas de grandes emisiones desde esas fuentes.

Se propone desarrollar un programa experimental para establecer la metodología de mediciones de flujos de deposición seca y húmeda hacia el suelo, de diferentes tipos de contaminantes en su calidad de gases y partículas.

Atendiendo a la complejidad de las mediciones asociadas a este tipo de estudios y a la carencia de una experiencia nacional en el tema, hemos considerado iniciar un conjunto de aplicaciones validadas por la literatura para un sector de la Macrozona Central correspondiente al sector costa de la V Región. Esta selección se basa en la presencia de megafuentes con emisiones de SO₂ y NO_x, y en condiciones meteorológicas claramente definidas, las que permiten el estudio de deposiciones secas sobre la base de un claro patrón meteorológico de superficie, y deposiciones húmedas sobre la base de lluvias y neblinas, estas últimas, definidas como una importante y principal contribución detectada en zonas costeras de California.

Las actividades generales propuestas son las siguientes:

- Aplicación de modelos para el cálculo de deposición seca de gases (SO₂ y NO_x) y partículas.
- Aplicación de modelos para el cálculo de deposiciones húmedas, tanto por lluvias como por neblinas.

- Validación de la metodología de análisis de composición química de aguas lluvia probada experimentalmente en CENMA durante 2001.
- Comparación de métodos teóricos y experimentales para estimación de flujos de deposición (Dry Deposition Inferential Method).

4.11 Referencias

ODEPA, 2001. Compendio Estadístico Silvoagropecuario 1990-2000. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura.

García-Huidobro, T., Marshall, F., Bell, J., .2001: A risk assessment of potential crop losses due to ambient SO₂ in the central regions of Chile. *Atmos. Environ.* 35 (2001) 4903-4915.

WHO, 2000: Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition. WHO Regional Publications. European Series, No. 91. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.

5 Proposiciones para mejorar la información de calidad de aire

5.1 Proposición para mejoramiento de la calidad de la información reportada por redes de monitoreo privadas.

La información proveniente de las redes de monitoreo instaladas en el entorno de grandes fuentes, muestra deficiencias en la calidad de información reportada. Se aprecian diferentes comportamientos anómalos, tales como saturación de señales, saltos bruscos, comportamientos muy diferentes a partir de una fecha dada, valores escapados, direcciones de viento contrarias al resto de las estaciones, direcciones reportadas en puntos cardinales, y otros.

Para mantener la calidad de la información, se debe realizar una inspección y validación de ella con el menor retardo posible, que permita detectar las anomalías, obtener información adicional para verificar los datos y corregir la información archivada. Mientras mayor tiempo transcurre desde la generación de información, mayor es el esfuerzo para corregirla, con menor resultado efectivo.

Se propone desarrollar un sistema de validación de información centralizado, en línea con las estaciones monitoras, con procedimientos automatizados para revisar diariamente la información recolectada en las diferentes redes de monitoreo, supervisado por personal con experiencia en este tema. La detección de comportamientos anómalos debería ser reportada a los generadores de esa información, para revisar y corregir posibles deficiencias, en el menor plazo posible. La información validada se incorporaría a una base de datos validados, desde la cual se podrían generar diariamente reportes para todos los usuarios directos de esa información (empresas, servicios públicos y otros).

Se propone aprovechar las capacidades desarrolladas en el Centro Nacional del Medio Ambiente en este tema, que opera redes de monitoreo en varias regiones del país, captura información en forma remota y ha desarrollado protocolos de validación, procesamiento y generación de reportes para la información de calidad de aire y meteorología.

5.2 Proposición para estandarizar los procedimientos de generación de información de calidad de aire

Se recomienda establecer procedimientos estandarizados para selección de la ubicación de estaciones, selección de equipamiento, operación de redes, estaciones y equipos, procesamiento de información, generación de reportes, ejecución de auditorías independientes.

5.3 Proposición para optimizar las redes de monitoreo de ozono y precursores en el Valle del Aconcagua.

El ozono alcanza valores elevados en el valle del Aconcagua. Las emisiones de los precursores de ozono, se originan principalmente en los conglomerados urbanos, especialmente el Gran Valparaíso (Valparaíso, Viña del Mar, Reñaca, Concón, Villa Alemana, Quilpue) y en las fuentes industriales que emiten grandes cantidades de NOx y COV, Refinería de Petróleos RPC, Centrales Termoeléctricas, Planta de Cemento Melón.

Las redes de monitoreo instaladas a lo largo del valle del Aconcagua no están midiendo en todos los lugares donde se podría producir máximos de ozono. Algunas estaciones están muy cerca de las termoeléctricas, y además concentradas en la misma área geográfica.

Se propone revisar la ubicación de las estaciones de monitoreo dedicadas a estos fines, para incorporar las siguientes áreas donde se pueden esperar valores elevados de ozono:

- Área al interior de Limache (Olmué-La Dormida)
- Áreas hacia el norte y sur de La Calera: sector El Melón , sector Ocoa.

La instalación de estaciones en esos lugares deberá incorporar mediciones meteorológicas, para el análisis de movimientos de masas de aire y su relación con niveles de calidad de aire.

5.4 Monitoreo de SO₂ en el entorno de RPC.

Los niveles elevados de SO₂ registrados en la estación Concón ocurren de preferencia durante la noche, con flujo proveniente desde RPC. No hay registro de posibles impactos en la dirección contraria, hacia el interior del valle, correspondiente el flujo diurno desde la costa. Se sugiere realizar mediciones con tubos pasivos y estaciones móviles en el entorno de RPC, con el fin de detectar posibles áreas de impacto adicionales a Concón.

5.5 Monitoreo de SO₂ en el entorno de Ventanas

El comportamiento de las mediciones de SO₂ en el entorno de Ventanas muestra variaciones espaciales importantes, con impactos muy diferentes en localidades cercanas. Los impactos de emisiones fugitivas de SO₂, a niveles cercanos a la superficie, podrían ser la causa de las variaciones espaciales y temporales observadas. Por otra parte, las emisiones desde la chimenea originan un penacho elevado, que puede estar originando niveles elevados de SO₂ en los cerros que forman la cuenca de Ventanas.

Se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y con estaciones móviles, para estudiar en detalle la ocurrencia de eventos de contaminación y la distribución espacial de áreas de máximo impacto, en el entorno de Ventanas. Debido a la magnitud de las

emisiones de esa fuente, se esperan impactos significativos hasta distancias de decenas de kilómetros, especialmente en cerros.

5.6 Monitoreo de SO₂ en el entorno de Chagres

La estación Santa Margarita muestra valores de SO₂ muy cercanos a la norma de calidad de aire. No existe información suficiente sobre la posible ocurrencia de niveles más altos en el entorno de Chagres, o de ubicación de zonas de máximo impacto. Se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y estaciones móviles, con el fin de caracterizar la distribución espacial de concentraciones de SO₂, orientada a definir zonas de máximo impacto. El penacho originado desde la Fundición también podría generar impactos significativos en sectores de cerros cercanos, en rangos de alturas correspondientes a los del penacho.

5.7 Mejoramiento de la información meteorológica en el Valle del Aconcagua

Para el análisis de campos de viento y trayectorias en la V Región, se requiere una cobertura geográfica más extensa, que puede combinarse con la reubicación de estaciones meteorológicas, actualmente concentradas en el entorno de algunas fuentes emisoras.

Se propone mejorar la distribución espacial de estaciones de superficie, midiendo en lugares sin observaciones:

- Sector El Melón
- Sector Ocoa
- Sector San Felipe-Los Andes

5.8 Campaña de mediciones meteorológicas en altura en la V Región

Las observaciones en altura disponibles para la V región corresponden al radiosondeo que se realiza dos veces por día en Santo Domingo, en la costa al sur de la región. Debido a la complejidad del relieve de la zona, los flujos en superficie y en altura son afectados por la presencia de valles estrechos y cerros altos.

Se propone estudiar la estructura vertical de la capa límite atmosférica en los primeros kilómetros sobre el suelo, para caracterizar su evolución temporal y comportamiento espacial. Se propone realizar una campaña de mediciones, orientada a obtener perfiles de viento y temperatura en tres lugares a lo largo de un transecto desde la costa hacia el interior del valle de Aconcagua.

5.9 Mediciones meteorológicas en la VIII Región

La información meteorológica adecuada para uso en modelos de simulación, para el área del Gran Concepción, es restringida, limitada a estaciones de superficie en Talcahuano, en el Aeropuerto Carriel Sur y en estaciones de calidad de aire en Coronel.

Las mediciones realizadas durante este estudio en Chiguayante y Arauco son un aporte importante para la meteorología de escala regional.

Se propone implementar una red regional de estaciones meteorológicas de superficie, incluyendo las siguientes áreas:

- Zona costera norte (Tomé)
- Dos estaciones en cerros, sector Escuadrón y sector Penco al interior.
- Mantener las estaciones instaladas en Chiguayante y Arauco.

Debido a la carencia de información en altura en la región, se propone realizar una campaña de mediciones de perfiles verticales para caracterizar la estructura de la capa límite atmosférica en los primeros kilómetros sobre la superficie.

5.10 Modelamiento meteorológico de campos de viento

La realización de campañas de mediciones meteorológicas en altura debe estar acompañada de la interpretación de la información medida.

Se recomienda realizar modelaciones meteorológicas para los períodos en los que se realicen campañas de mediciones, con el fin de mejorar la interpretación de los resultados. El análisis también servirá para verificar el comportamiento de modelos tipo diagnóstico, y comparar con simulaciones con modelos de tipo dinámico.

6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Recopilación de información

Recopilación

Se recopiló información disponible en CONANA Nacional y CONAMA Regiones V, VI y VIII en documentos y medio digital (base de datos).

La recopilación de información se centró en las regiones V y VIII.

En la Región VIII hay una menor cantidad disponible de información. La existente corresponde principalmente a Talcahuano.

Los datos en medio digital se encuentran en forma de resumen (promedios mensuales, máximos diarios, máximos mensuales, etc) a partir de 1997. Los datos horarios o información base se encuentra disponible principalmente a partir de los últimos 2 años.

Se requiere generar procedimientos que permitan recuperar la información base de las redes privadas y centralizar la información, para su uso por los servicios públicos y otras instituciones.

Revisión de calidad de información

Se detectaron diversos problemas de calidad de información. Por lo cual, se concluye que es necesario establecer procedimientos para mejorar la confiabilidad de la información.

Documentos y estudios

La identificación de informes y estudios relevantes a los objetivos del proyecto y el posterior acceso a ellos fue complejo, debido a que no existen centros de documentación en regiones y a nivel central. Muchos estudios están solamente en poder de personas.

Se requiere tener centros de documentación actualizados

6.1.1 Calidad de aire, Resultados V Región:

Para material particulado, la norma para 24 h se supera en 2 estaciones del sector de Ventanas (La Greda, Sur). También se supera en 2 estaciones urbanas (Valparaíso, Viña del Mar). El valor de referencia para promedios anuales se supera en 5 estaciones, en diferentes sectores del valle.

Para SO₂, la norma anual no se supera, pero se alcanza el nivel de latencia en tres estaciones (Los Maitenes, Santa Margarita, Concón). La norma diaria (365 µg/m³ promedio), se supera en la red de Ventanas. Al considerar la nueva norma para SO₂ (250

$\mu\text{g}/\text{m}^3$), se supera en 3 lugares (2 en Ventanas, Concón). La norma para 1 h se supera en forma frecuente en la Red de Ventanas, también se excede en Concón y en Chagres.

Para O₃ no hay superación de la norma para períodos de 1 h actualmente, aunque la estación Hijuelas tienen valores cercanos. La nueva norma para períodos de 8 horas se supera en Hijuelas.

6.1.2 Calidad de aire, Resultados VIII Región

Para material particulado, la norma para 24 h se supera en 2 estaciones de la red Petrox y en 1 lugar de Talcahuano. El valor de referencia para promedios anuales se supera en 2 estaciones de la red Petrox y en 2 lugares de Talcahuano con mediciones en año 2000.

Para SO₂, la norma anual alcanza el nivel de latencia en 2 estaciones de Talcahuano durante el año 2000. Campañas con tubos pasivos realizadas en Talcahuano muestran superación de norma anual durante 1999 y latencia durante 2000. La norma diaria y para 1 h se supera en la estación San Vicente.

6.2 Estimación de emisiones

Se dispone de inventarios de emisiones para las regiones V, VI y RM. El inventario para la VIII Región fue completado al finalizar este proyecto.

Al comparar los inventarios globales se aprecia la gran magnitud de las emisiones de SO_x de las fundiciones de cobre en la V y VI Región y de las emisiones de CO, NO_x y COV (principalmente por vehículos) en la RM.

Las megafuentes han estado sometidas a planes de descontaminación en los últimos años, lo que se ha reflejado en disminuciones de sus emisiones.

6.3 Modelación atmosférica

6.3.1 Campos de vientos Valle del Aconcagua

El uso de un modelo de tipo diagnóstico permite obtener una resolución de 2 Km. en los campos meteorológicos lo que mejora la representación de los rasgos de mesoescala, en comparación con las simulaciones disponibles con resolución de 10 Km.

Los resultados de los modelos tipo diagnóstico dependen fuertemente de la calidad y distribución espacial de las observaciones.

Existen lugares desprovistos de información donde el modelo no entrega buenos resultados.

En vista de estos antecedentes, es recomendable realizar una coordinación de quienes realizan las observaciones e incluir dentro de los objetivos de medición además de los problemas locales a los que actualmente se orientan, el concepto de una representación de los flujos más regionales, asociados a problemas de impactos de más largo alcance. Así como también incorporar estaciones de observación en lugares de complejidad orográfica sin información como Los Andes, El Melón y San Felipe.

Mediciones de altura

Sería conveniente disponer de mediciones regulares dentro de los primeros niveles de la atmósfera para tener una caracterización de la evolución de la capa límite en diferentes condiciones del año y tener información más precisa orientada a los problemas de contaminación atmosférica de nivel regional. Se recomienda realizar una campaña de mediciones en altura orientada a la caracterización de la capa límite junto a la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua.

6.3.2 Trayectorias Valle del Aconcagua

La visualización de las trayectorias permite identificar que los efectos de las emisiones de grandes fuentes y núcleos urbanos pueden tener alcances de nivel local y regional, por lo que las medidas de control y gestión de la contaminación atmosférica deben tener también ambas dimensiones.

Se encuentra recirculación de parcelas de aire dentro del dominio por más de un día. En condiciones de verano e invierno se aprecia que las emisiones pueden tener efectos de alcance regional.

6.3.3 Campos de viento VIII Región

Hay muy poca información de superficie, limitada a un área geográfica reducida (Talcahuano-Cariel Sur) y se carece de información meteorológica en altura. La estación con sondeos más cercana se encuentra a más de 400 Km.

Por lo tanto, las mediciones meteorológicas realizadas por el proyecto en la zona de Arauco y Chiguayante son muy importantes dada la carencia de información regional.

Los resultados del esquema de tipo diagnóstico se pueden mejorar aumentando la cobertura de las observaciones de superficie y de altura. Por otro lado, sería recomendable realizar pruebas con un modelo de tipo dinámico y comparar resultados con los del modelo de tipo diagnóstico.

En consideración a estos antecedentes, se recomienda el establecimiento de observaciones regulares de superficie y realizar campañas de observación en altura en algunos puntos

próximos a Concepción para una caracterización del viento en altura en los niveles bajos de la atmósfera.

6.3.4 Trayectorias VIII Región

Resultados preliminares muestran la posibilidad de impacto de las emisiones desde la zona de Coronel y en menor medida desde Talcahuano a la zona urbana de Concepción.

6.4 Antecedentes para declaración de zona saturada

6.4.1 Valle del Aconcagua

La superación de valores anuales para MP10 en diferentes lugares muestra una condición de carácter regional, que puede estar asociada a producción de aerosol secundario por transformaciones de SO_x y NO_x. Se propone desarrollar un programa de caracterización química de MP10, para identificar aportes directos de fuentes emisoras y aportes indirectos por aerosoles secundarios.

La excedencia de normas de SO₂ se puede asociar directamente a las fuentes cercanas con elevadas emisiones de SO_x (Complejo Ventanas, RPC, Chagres).

El análisis de flujos de aire y trayectorias originadas en esas fuentes, indica que las zonas de influencia de esas fuentes se extienden hasta grandes distancias. Se encuentran zonas de influencia superpuestas, por lo cual no es posible separar las áreas de impacto de cada fuente individual. Por otra parte, las estaciones están ubicadas en sectores cercanos a las fuentes, sin entregar información de escala regional. No existen mediciones en lugares elevados, donde podría haber impactos importantes de los penachos que escurren a mayor altura.

Se recomienda tratar en forma integrada el problema de contaminación por SO₂, definiendo una zona de gestión de calidad de aire extensa, que abarque toda la zona geográfica de los problemas medidos en las estaciones y las áreas de influencia asociadas a las principales fuentes.

Los altos niveles de ozono se pueden asociar con las emisiones de sus precursores, que provienen principalmente desde el Gran Valparaíso, refinería de petróleo, centrales termoeléctricas, planta de cemento y otras fuentes con emisiones de NO_x y COV.

Los análisis de flujos de aire y trayectorias originadas en las principales fuentes, muestra la gran extensión geográfica del problema y la superposición de efectos de las fuentes que contribuyen con precursores de ozono.

Se recomienda definir una zona de gestión de calidad de aire por ozono, de gran extensión geográfica, que incluya todas las fuentes que participan en el problema y las zonas de

influencia mostradas por los análisis de trayectorias. Debido a los tiempos requeridos para la formación de ozono y a los procesos de acumulación en niveles elevados sobre la superficie, las zonas de gestión de calidad de aire para ozono deben ser extensas, para incluir áreas alejadas de recirculación de aire, que puedan ser reservorios de este contaminante.

6.4.2 Area Gran Concepción

Las excedencias de las normas de MP10 no se pueden atribuir en forma directa a fuentes específicas, debido a la componente de polvo natural que se origina desde calles y por otras actividades.

La superación de normas de MP10 en Talcahuano durante varios años indica la existencia de un problema persistente. Para evaluar el aporte de diferentes fuentes, se propone desarrollar un programa de caracterización química de MP10, orientado a identificar fuentes específicas y contribuciones de aerosoles secundarios.

El análisis de campos de viento y trayectorias para esa región, muestra que la zona de Talcahuano podría estar impactada por emisiones que provengan desde el sector costero al sur de Concepción. Por otra parte, las emisiones desde Talcahuano podrían impactar las zonas del entorno, incluyendo Concepción y el litoral que se extiende hacia Tomé.

Se recomienda tratar en forma integrada el problema de contaminación por SO₂, definiendo una zona de gestión de calidad de aire que abarque las áreas de influencia asociadas a las principales fuentes emisoras de SO₂. Esta zona debería extenderse desde Tomé hasta Coronel.

6.5 Proposición de una red regional de monitoreo.

6.5.1 Mediciones con Tubos pasivos

Se midió en 8 lugares, distribuidos entre la V y VII regiones, por un período de 6 meses. Algunos lugares de medición detectan la influencia de fuentes alejadas.

Los resultados de las mediciones con tubos pasivos se comparan favorablemente con las estimaciones presentadas en el estudio de dispersión de azufre oxidado en la zona central, desarrollado por CONAMA y SMHI.

De acuerdo a estos resultados, las localidades elegidas son aptas para mediciones de niveles regionales.

6.5.2 Proposición de una red regional de monitoreo de calidad de aire.

Se propone una red regional de calidad de aire con 12 estaciones de monitoreo distribuidas entre las regiones V y VII. Las mediciones se realizarán con técnicas pasivas para SO₂, NO₂ y O₃.

En 2 lugares (de un total de 12) se propone realizar monitoreo continuo con estaciones automáticas para gases y material particulado (PM₁₀-PM_{2.5}, SO₂, NO_x, O₃, HC). Un lugar, como estación de fondo para la RM, en la zona de San Pedro-Bucalemu y el otro lugar en la zona agrícola de Santa Cruz.

Además, se propone la realización de estudios complementarios a la red regional:

- Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes
- Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua
- Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona

6.5.3 Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda.

Se propone desarrollar un programa experimental para establecer la metodología de mediciones de flujos de deposición seca y húmeda hacia el suelo, de diferentes tipos de contaminantes en su calidad de gases y partículas.

Las actividades generales propuestas son las siguientes:

- Aplicación de modelos para el cálculo de deposición seca de gases (SO₂ y NO_x) y partículas.
- Aplicación de modelos para el cálculo de deposiciones húmedas, tanto por lluvias como por neblinas.
- Validación de la metodología de análisis de composición química de aguas lluvia probada experimentalmente en CENMA durante 2001.
- Comparación de métodos teóricos y experimentales para estimación de flujos de deposición (Dry Deposition Inferential Method).

6.6 Proposiciones para mejorar la información de calidad de aire

6.6.1 Proposición para mejoramiento de la calidad de la información

Se propone desarrollar un sistema de validación de información centralizado, en línea con las estaciones monitoras, en el cual personal con experiencia se dedique a revisar diariamente la información recolectada en las diferentes redes de monitoreo. La detección de comportamientos anómalos debería ser reportada a los generadores de esa información, para revisar y corregir posibles deficiencias, en el menor plazo posible. La información

validada se incorporaría a una base de datos validados, desde la cual se podrían generar diariamente reportes para todos los usuarios directos de esa información (empresas, servicios públicos y otros).

Se propone aprovechar las capacidades desarrolladas en el Centro Nacional del Medio Ambiente en este tema.

6.6.2 Proposición para estandarizar los procedimientos de generación de información de calidad de aire

Se recomienda establecer procedimientos estandarizados para selección de la ubicación de estaciones, selección de equipamiento, operación de redes, estaciones y equipos, procesamiento de información, generación de reportes, ejecución de auditorías independientes.

6.6.3 Proposición para optimizar las redes de monitoreo de ozono y precursores en el Valle del Aconcagua.

Se propone revisar la ubicación de las estaciones de monitoreo dedicadas a estos fines, para incorporar las siguientes áreas donde se pueden esperar valores elevados de ozono: Área al interior de Limache (Olmué-La Dormida), Áreas hacia el norte y sur de La Calera: sector El Melón, sector Ocoa.

La instalación de estaciones en esos lugares deberá incorporar mediciones meteorológicas, para el análisis de movimientos de masas de aire y su relación con niveles de calidad de aire.

6.6.4 Monitoreo de SO₂ en el entorno de RPC.

Se sugiere realizar mediciones con tubos pasivos y estaciones móviles en el entorno de RPC, con el fin de detectar posibles áreas de impacto adicionales a Concón.

6.6.5 Monitoreo de SO₂ en el entorno de Ventanas

Se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y con estaciones móviles, para estudiar en detalle la ocurrencia de eventos de contaminación y la distribución espacial de áreas de máximo impacto, en el entorno de Ventanas. Debido a la magnitud de las emisiones de esa fuente, se esperan impactos significativos hasta distancias de decenas de kilómetros, especialmente en cerros.

6.6.6 Monitoreo de SO₂ en el entorno de Chagres

Se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y estaciones móviles, con el fin de caracterizar la distribución espacial de concentraciones de SO₂, orientada a definir zonas de máximo impacto.

6.6.7 Mejoramiento de la información meteorológica en el Valle del Aconcagua

Se propone mejorar la distribución espacial de estaciones de superficie, midiendo en lugares sin observaciones, Sector El Melón, Sector Ocoa, Sector San Felipe-Los Andes.

6.6.8 Campaña de mediciones meteorológicas en altura en la V Región

Se propone realizar una campaña de mediciones, orientada a obtener perfiles de viento y temperatura en tres lugares a lo largo de un transecto desde la costa hacia el interior del valle de Aconcagua.

6.6.9 Mediciones meteorológicas en la VIII Región

Se propone implementar una red regional de estaciones meteorológicas de superficie, incluyendo las siguientes áreas: Zona costera norte (Tomé), dos estaciones en cerros, sector Escuadrón y sector Penco al interior, y mantener las estaciones instaladas en Chiguayante y Arauco.

Se propone realizar una campaña de mediciones de perfiles verticales para caracterizar la estructura de la capa límite atmosférica en los primeros kilómetros sobre la superficie.

6.6.10 Modelamiento meteorológico de campos de viento

Se recomienda realizar modelaciones meteorológicas para los períodos en los que se realicen campañas de mediciones, con el fin de mejorar la interpretación de los resultados.

----- O O O -----

A. Anexo Recopilación de información de calidad de aire

A.1 Catastro de datos

Los datos recopilados correspondientes a las estaciones de calidad de aire y/o meteorología del Valle del Aconcagua y del Gran Concepción fueron ordenados, revisados y clasificados generando una base de datos crudos de calidad de aire y meteorología en planillas de cálculo.

Los datos recopilados se encontraban en planillas, en general con un formato de matrices (horas x días) para cada mes o año de medición. Además, algunas estaciones reportan la dirección de viento en forma sectorizada (S, W, N, etc).

La información revisada fue procesada manualmente mediante planillas de cálculo y asignando un formato final de registros ordenados en el tiempo, agrupando todas las variables en una sola hoja de cálculo, para todo el período con información disponible.

Para las direcciones de viento en forma sectorizada, se reemplazó el sector por los grados correspondientes (N=0, E=90, S= 180, W= 270, etc).

1) Validación de datos

La información ordenada en planillas de cálculo fue revisada para detectar errores e inconsistencias de información. En esta etapa, a cada valor se asignó un status, el cual es un indicador de la calidad del dato. La tabla siguiente presenta los status aplicados, en concordancia con los status definidos en el sistema Airviro:

Tabla A-1 Status para valores de calidad de aire y meteorología

Status	Definición	Observaciones
0	Ausencia de datos	Caso de datos faltantes en las series
2	Dato invalidado	En general, corresponden a notas que se incluyen en los datos.
4	Valor negativo	Concentraciones negativas
12	Valor sospechoso	Valores muy altos, valores constantes por largo tiempo, etc. Estos valores requieren de un análisis posterior o detallado para su validación
14	Valor aceptado	
15	Valor modificado	Caso de las direcciones de viento en forma de sectores. Errores tipográficos

Se entiende por error escapado a aquellos valores excesivamente altos, que no siguen el comportamiento o tendencia del resto de los valores durante el despliegue de la serie de tiempo. Estos valores, incluso, pueden estar fuera de los rangos estándares de medición de

los equipos. En general estos casos se producen cuando la información es ingresada manualmente y se producen errores tipográficos. Luego, es importante la comparación de valores con estaciones cercanas a fin de corroborar si el valor es escapado o no.

El resultado es una Base de datos revisada e ingresada al Sistema de información Airviro de CENMA.

Las tablas siguientes ilustran la disponibilidad de información revisada e ingresada a Airviro de SO₂, O₃, velocidad y dirección de viento, y material particulado para el período 1997 a 2000, de las redes de monitoreo del Valle del Aconcagua y Gran Concepción:

Valle del Aconcagua:

La red de ENAMI-Ventanas surgió en 1994 para el seguimiento y evaluación del plan de Descontaminación del Complejo Industrial Ventanas.

Tabla A-2 Recopilación de datos en Red ENAMi-Ventanas

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
La Greda	SO ₂	01-ene-97	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-abr-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS y WD	01-abr-00	29-mar-01	Promedios 1h
Los Maitenes	SO ₂	01-ene-97	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-abr-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS y WD	01-abr-00	29-mar-01	Promedios 1h
Puchuncavi	SO ₂	01-ene-97	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-abr-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS y WD	01-abr-00	29-mar-01	Promedios 1h
Sur	SO ₂	01-ene-97	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-abr-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS y WD	01-abr-00	29-mar-01	Promedios 1h
Villa Alegre	SO ₂	01-ene-97	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-abr-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS y WD	01-abr-00	29-mar-01	Promedios 1h
Meteorológica principal	WS, WD, Rad, RH, Temp, Pres	01-abr-00	29-mar-01	Promedios 1h

Se recopiló, además, información de valores máximos mensuales de MP10 desde 1996.

La red de Chagres fue aprobada por el D.S 582 en 1993 y está instalada en el área de influencia de la fundición Chagres. Esta red ha reportado datos desde 1993.

Tabla A-3 Recopilación de datos en Red Chagres

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Santa Margarita	SO ₂	01-ene-98	31-mar-01	Promedios 1h
Lo Campo	SO ₂	01-ene-98	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-ene-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
Romeral	SO ₂	01-ene-98	31-mar-01	Promedios 1h
Catemu	SO ₂	01-ene-98	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-ene-00	29-mar-01	Muestreos24h c/3d
Meteorológica principal	WS, WD, Temp, Rad	01-ene-99	29-mar-01	Promedios 1h

Además, se recopiló información de promedios mensuales de SO₂, valores horarios y diarios máximos mensuales, días con excedencias de normas horaria y diaria para el periodo 1994 y 1999.

La red de seguimiento de centrales termoeléctricas San Isidro y Nehuenco se emplaza en el área de influencia de las centrales definida durante el proceso de evaluación de impacto ambiental. La red consta de 2 estaciones fijas y una móvil. El período de monitoreo se inicia en octubre de 1998.

Tabla A-4 Recopilación de datos en Red Termoeléctricas

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Quillota-INP	SO ₂ , O ₃	15-oct-98	31-ene-99	Promedios 1h
	NO, NO ₂	15-oct-98	31-ene-99	Promedios 1h
	MP10	15-oct-98	31-ene-99	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	15-oct-98	31-ene-99	Promedios 1h
Quillota-Bomberos	SO ₂ , O ₃	01-feb-99	31-mar-01	Promedios 1h
	NO, NO ₂	01-feb-99	31-mar-01	Muestreos24h c/3d
	MP10	01-feb-99	31-mar-01	Promedios 1h
	WS, WD	01-feb-99	31-mar-01	Promedios 1h
San Pedro	SO ₂	15-oct-98	31-oct-00	Promedios 1h
	O ₃ , NO, NO ₂	15-oct-98	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	15-oct-98	31-oct-00	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	15-oct-98	31-mar-01	Promedios 1h
UCV	SO ₂	1-feb-99	31-mar-01	Promedios 1h
	O ₃ , NO, NO ₂	1-feb-99	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	6-feb-99	27-jul-99	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	1-feb-99 1-mar-01	31-jul-99 29-mar-01	Promedios 1h

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Cajón San Pedro	SO ₂ , O ₃	15-oct-98	31-ene-99	Promedios 1h
	NO, NO ₂	15-oct-98	31-ene-99	Promedios 1h
	MP10	15-oct-98	31-ene-99	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	1-nov-98	31-ene-99	Promedios 1h
Limache	SO ₂ , O ₃	1-ago-99	31-oct-00	Promedios 1h
	NO, NO ₂	1-ago-99	31-oct-00	Promedios 1h
	MP10	1-ago-99	31-oct-00	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	1-ago-99	31-oct-00	Promedios 1h
Nehuenco	WS, WD, Rad Temp, HR, Precp.	15-oct-98	31-mar-01	Promedios 1h

Una resolución en enero de 1999 establece que la empresa Cemento Melón debe instalar una red de monitoreo ambiental para el seguimiento de contaminantes atmosféricos y parámetros ambientales en el área de influencia de la empresa. La red reporta datos desde junio de 1999.

Tabla A-5 Recopilación de datos en Red cemento Melón

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
La Calera	SO ₂	01-jun-99	31-mar-01	Promedios 1h
	O ₃ , NO, NO ₂	01-jun-99	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-jun-99	31-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	01-jun-99	31-mar-01	Promedios 1h
Hijuelas	SO ₂	01-jun-99	31-mar-01	Promedios 1h
	O ₃ , NO, NO ₂	01-jun-99	31-mar-01	Promedios 1h
	MP10	01-jun-99	31-mar-01	Muestreos24h c/3d
	WS, WD	01-jun-99	31-mar-01	Promedios 1h
Meteorológica principal	WS, WD, Rad Temp, HR, Precip, Press	01-jun-00	31-mar-01	Promedios 1h

Como parte del seguimiento ambiental de la influencia que pudiera tener el proyecto “Terminal de Combustibles y Asfaltos CORDEX” sobre los niveles de calidad de aire una resolución de enero de 1999 exigió la instalación de una estación de monitoreo de contaminantes atmosféricos y meteorología en el área de influencia de la empresa. La estación con representación urbana reporta datos desde junio de 1999.

Tabla A-6 Recopilación de datos en Red PACSA (Ex CORDEX)

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Campiche	SO ₂	1-may-00	31-dic-00	Promedios 1h
	O ₃ , NO, NO ₂	1-may-00	31-dic-00	Promedios 1h
	WS, WD, rad, Temp, HR	1-may-00	31-dic-00	Promedios 1h

La estación Concón monitorea para el control de gases y material particulado de la Refinería de Petroleos de Concón por mandato del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Esta estación reporta datos desde octubre de 1995.

Tabla A-7 Recopilación de datos de estación Concón

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Concón	SO ₂	1-abr-00	31-mar-01	Promedios 1h
	PM10	1-abr-00	31-mar-01	Muestras 24h c/3d
	WS, WD, rad, Temp, HR	1-abr-00	31-mar-01	Promedios 1h

Además, ha sido ingresada a Airviro la información de muestreos de MP10 en Viña del Mar y Valparaíso, 6 lugares en cada ciudad, realizados a través del proyecto COSUDE durante los años 1997 a 200.

Gran Concepción

Tabla A-8 Recopilación de datos en Red Petrox

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
TEOM Refin	MP10	01-ene-97	28-sep-99	Promedios diarios
Estación 1	SO ₂	01-sep-99	31-ago-01	Promedios diarios
	MP10	01-oct-99	31-ago-01	Promedios diarios
Estación 2	SO ₂	01-sep-99	31-ago-01	Promedios diarios
	MP10	01-oct-99	31-ago-01	Promedios diarios
Estación 3	MP10	01-oct-99	31-ago-01	Promedios diarios
Torre meteorológica	WS a 10 y 24m WD a 10 y 24m Temp a 2, 8 y 22m Rad, Precip	01-abr-93	02-may-01	Promedios 1h

Tabla A-9 Recopilación de datos en Red CONAMA

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Bomberos	SO ₂	22-oct-97	31-dic-00	Promedios diarios
Libertad	MP10	23-sep-97	2-ene-00	Muestras diarias
	MP10 y MP2.5	2-jun-00	23-abr-01	
Consultorio	MP10	30-ago-98	2-ene-00	Muestras diarias
	MP10 y MP2.5	2-jun-00	23-abr-01	
Hungría	SO ₂	Jul-00	31-ene-01	Promedios diarios

Tabla A-10 Recopilación de datos en Red Coronel

Estación	Parámetro	Período		Resolución temporal
		Desde	hasta	
Cementerio	SO ₂ y MP10	01-ene-01	31-mar-01	Promedios horarios
Liceo A82	SO ₂	01-ene-01	31-mar-01	Promedios horarios
Cerro La Peña	WS, WD, precip, Temp, HR	01-ene-01	31-ago-01	Promedios horarios
Cerro Obligado	SO ₂ y MP10	01-ene-01	31-mar-01	Promedios horarios
	WS, WD, precip, Temp, HR	01-ene-01	31-ago-01	

También se ha recopilado la información de:

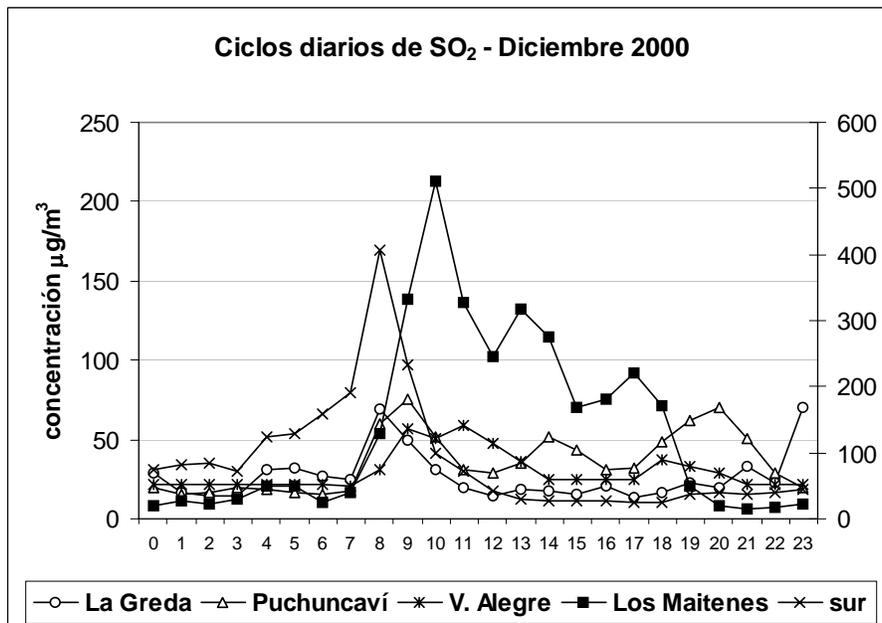
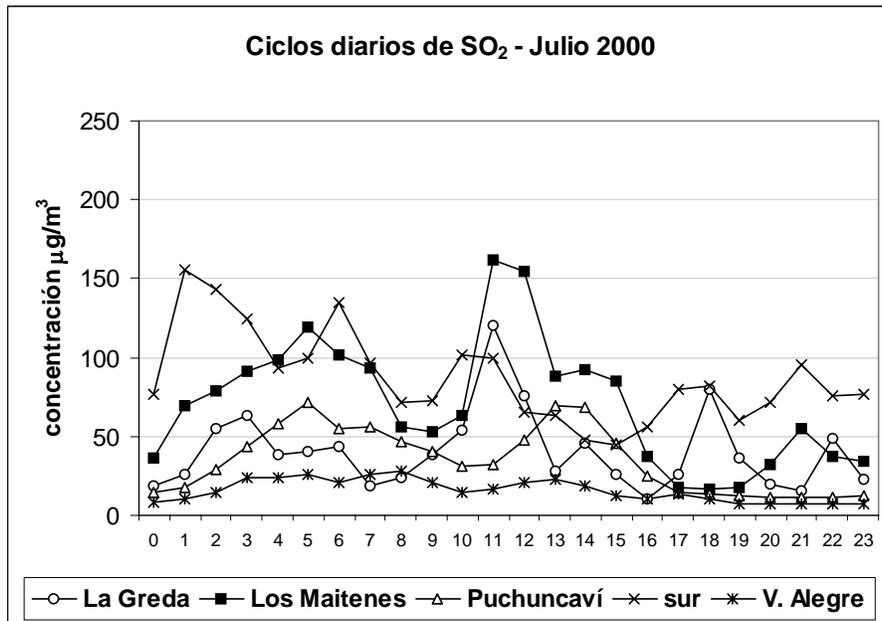
- Mediciones con tubos pasivos de SO₂ y NO₂ y BTX en red Petrox desde diciembre de 1996 a abril de 2001. (muestras de 28 días)
- Mediciones continuas de variables meteorológicas y muestras de SO₂ y MP10 en Coronel
- Muestras con tubos pasivos de SO₂ y NO₂ en Talcahuano, datos desde 1994.
- Muestras con tubos pasivos de SO₂ y NO₂ en Coronel. (enero a diciembre de 1999)
- Campañas con tubos pasivos de SO₂ en Lirquén, Comuna de Penco. (octubre de 1999 a mayo de 2000)

2) Descripción de comportamiento de variables de calidad de aire y meteorología

La información de la Base de datos validada fue procesada, resumida y presentada en gráficos y tablas. Los gráficos y tablas incluyen:

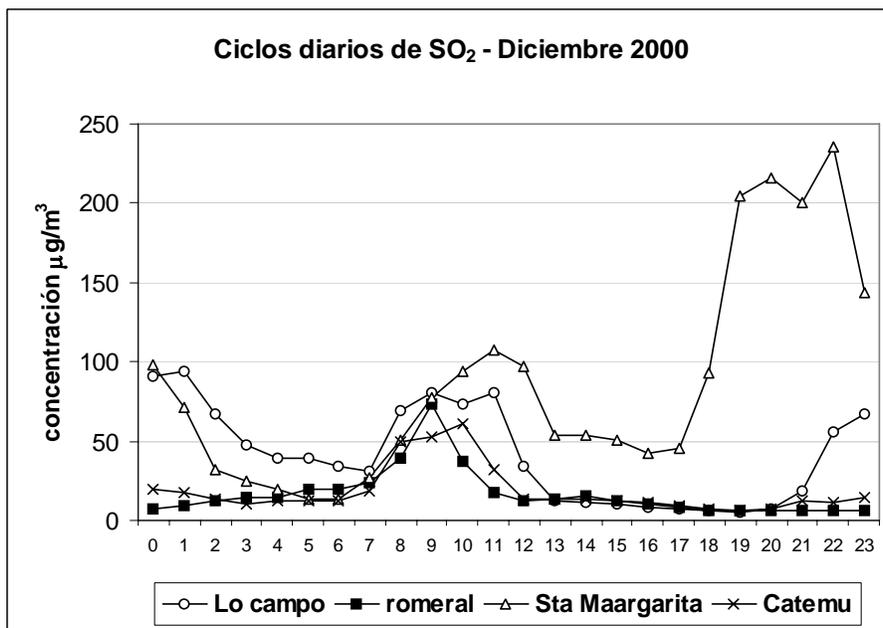
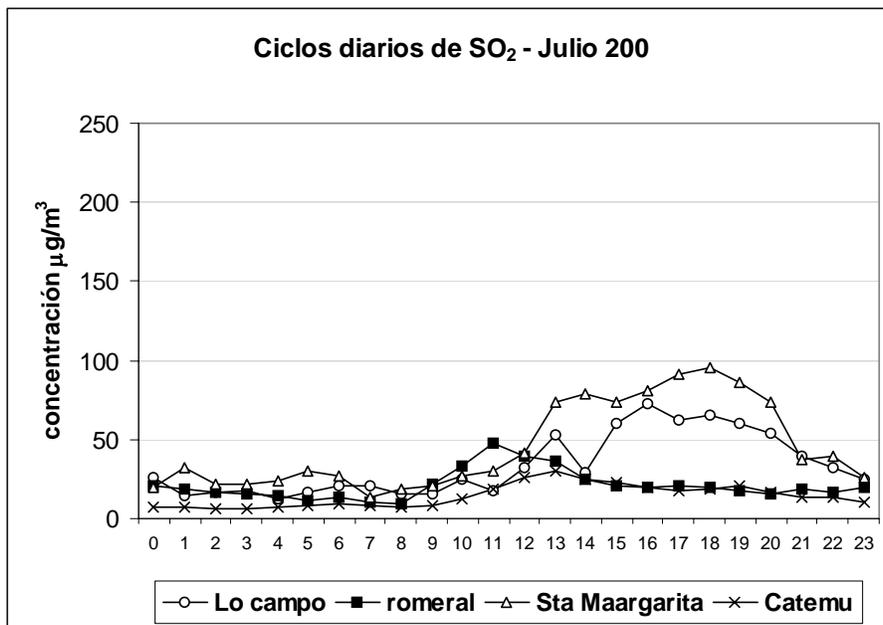
- Ciclos diarios para las variables de interés (SO₂, O₃, NO₂ y MP10) durante meses característicos de las estaciones del año.
- Tablas resumen con valores extremos, promedios, percentiles y excedencia de normas.
- Estudios de tendencias (ciclos anuales)

Ciclos diarios de SO₂ en estaciones La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y V. Alegre de Red ENAMI-Ventanas.

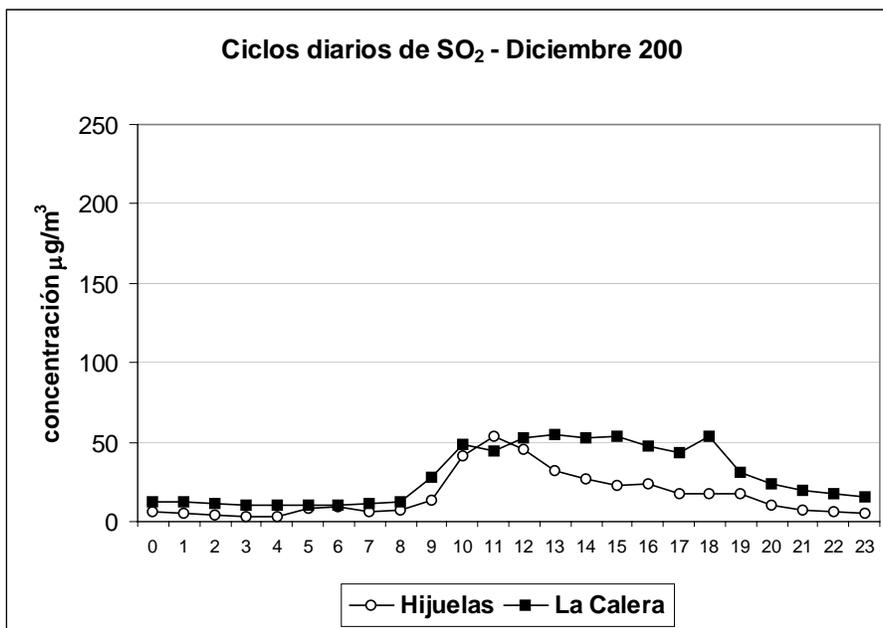
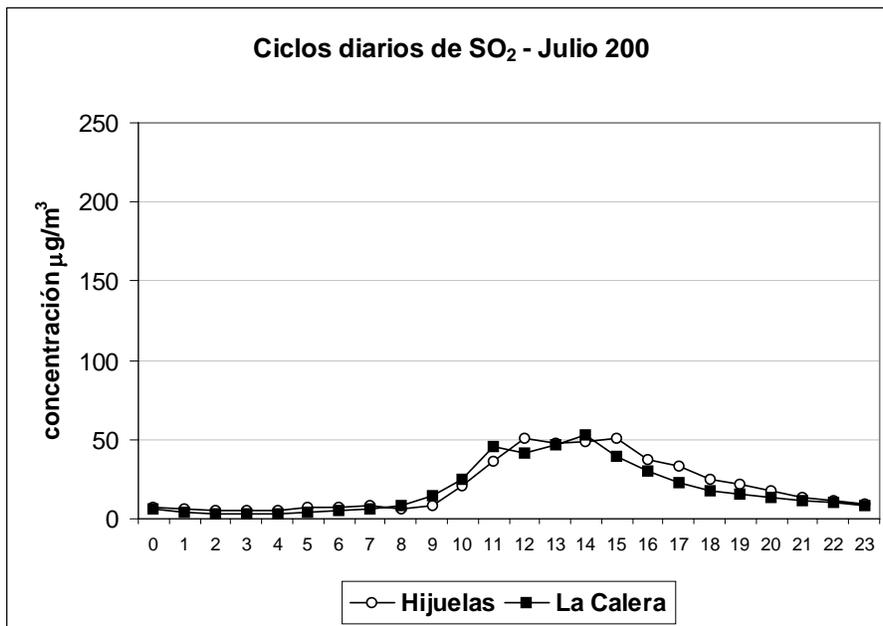


Los ciclos en Diciembre para las estaciones Los Maitenes y Sur se presentan con eje secundario, ya que los valores registrados son muy altos en comparación a los restantes. Los Maitenes alcanza un máximo de 530 µg/m³ entre las 9 y 10 AM.

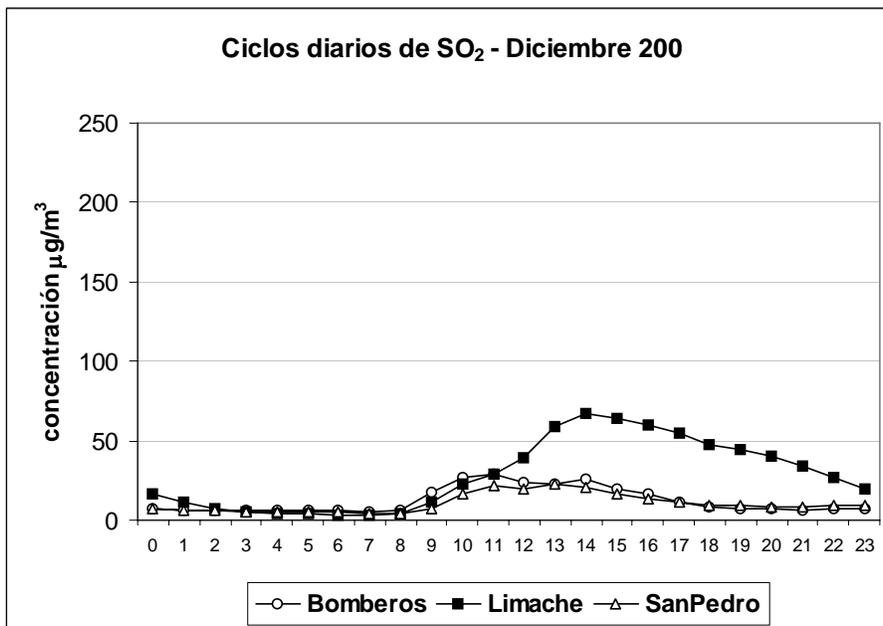
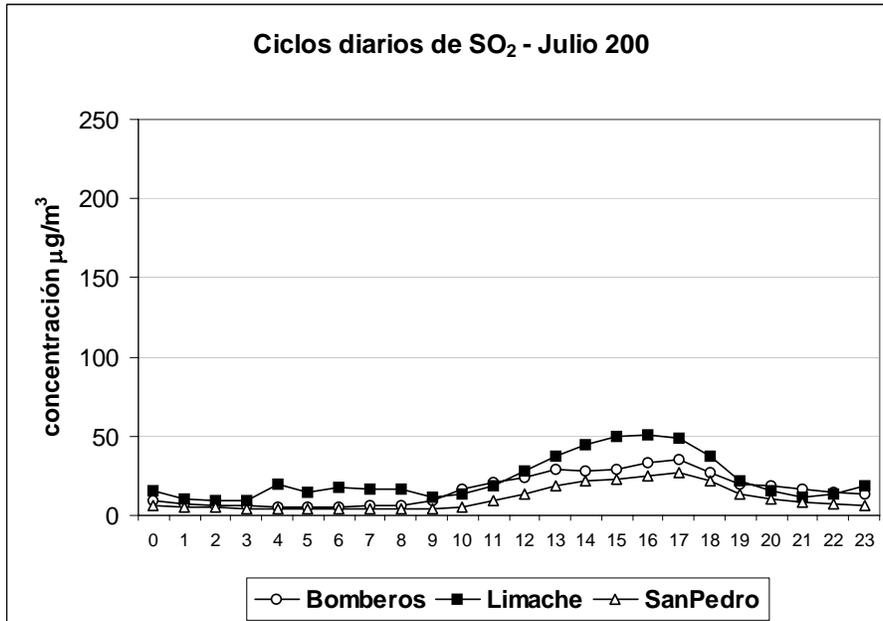
Ciclos diarios de SO₂ en estaciones Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo de Red Chagres



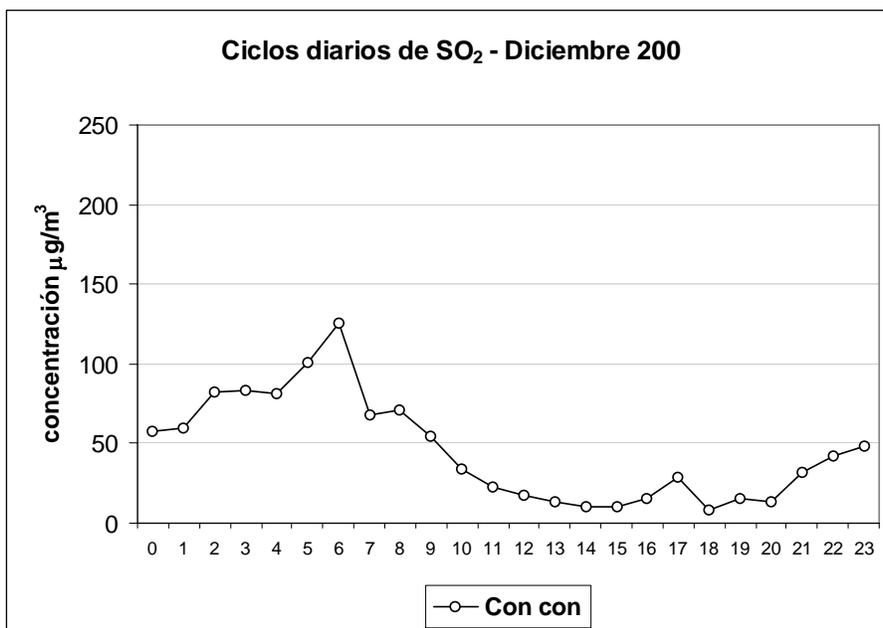
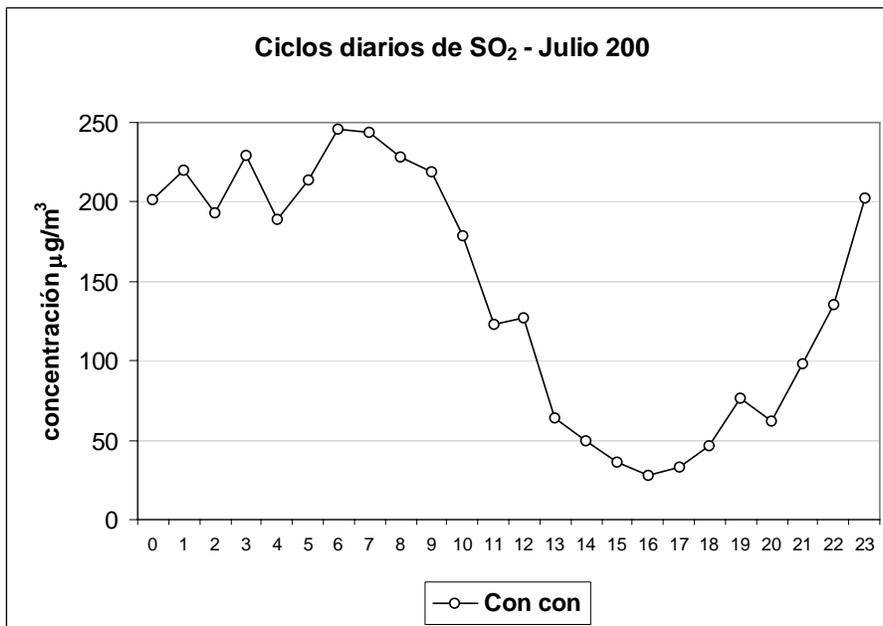
Ciclos diarios de SO₂ en estaciones Hijuelas y La Calera de Red Melón



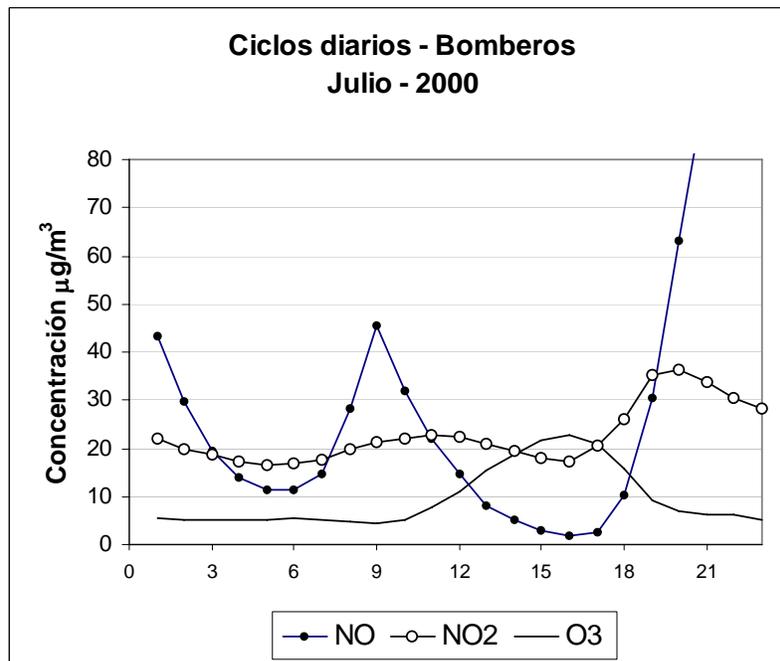
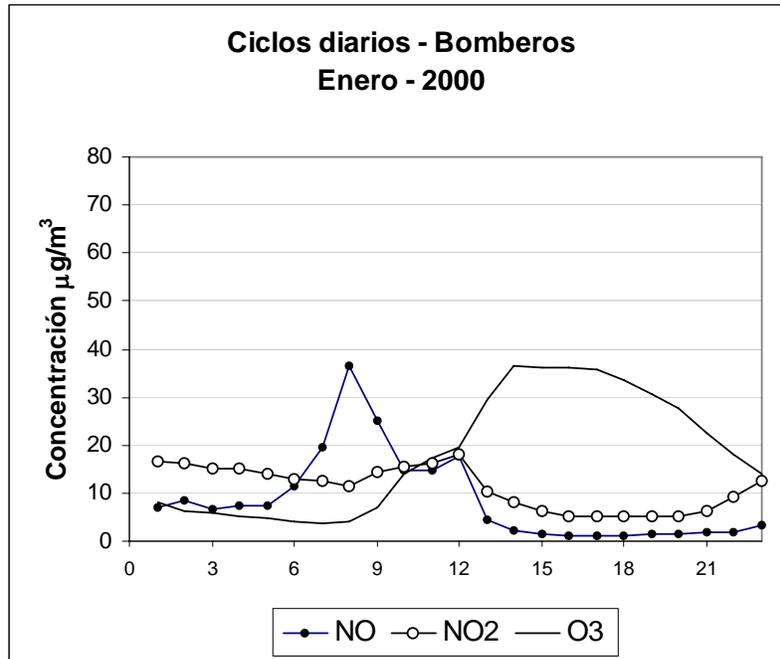
Ciclos diarios de SO₂ en estaciones Bomberos, Limache y San Pedro de Red Termoelectricas



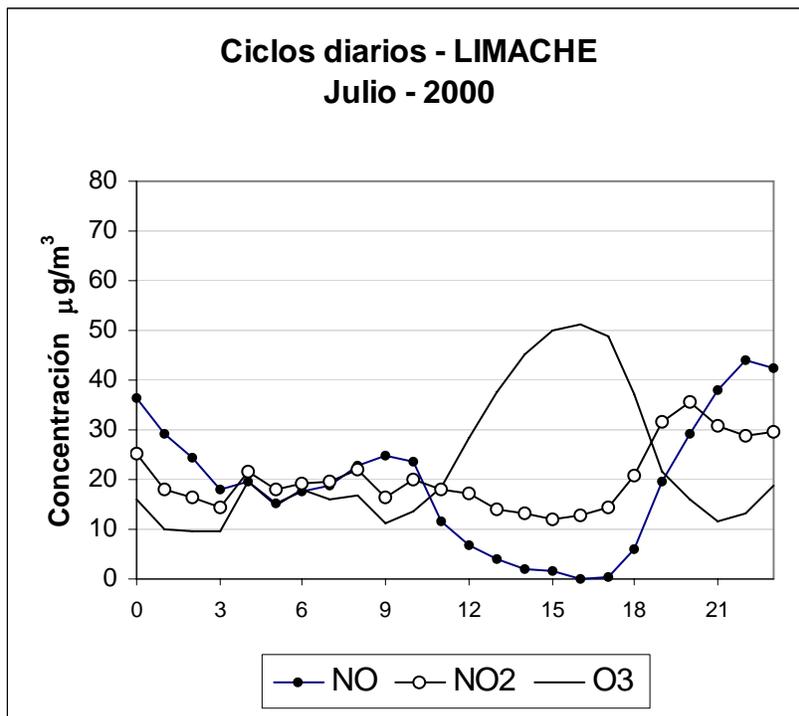
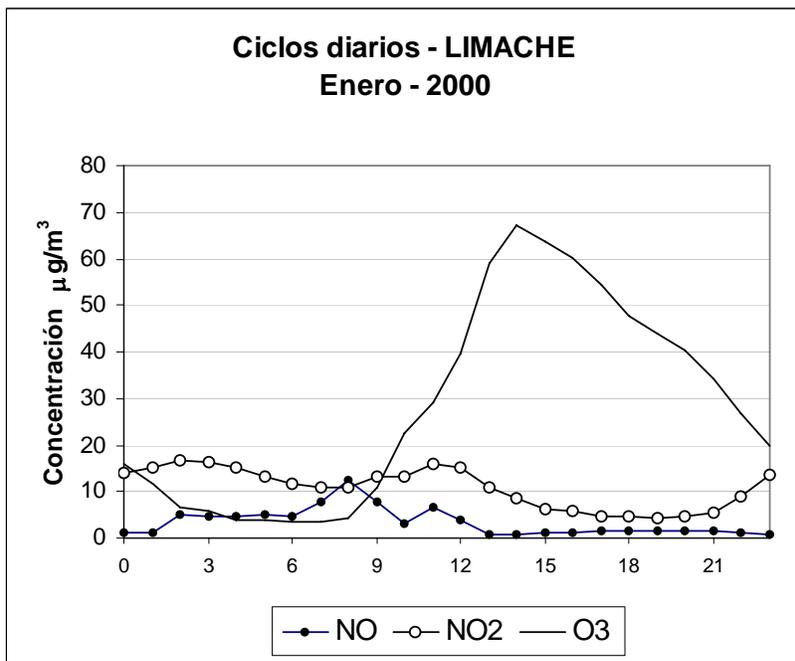
Ciclos diarios de SO₂ en estación Con Con, Red RPC



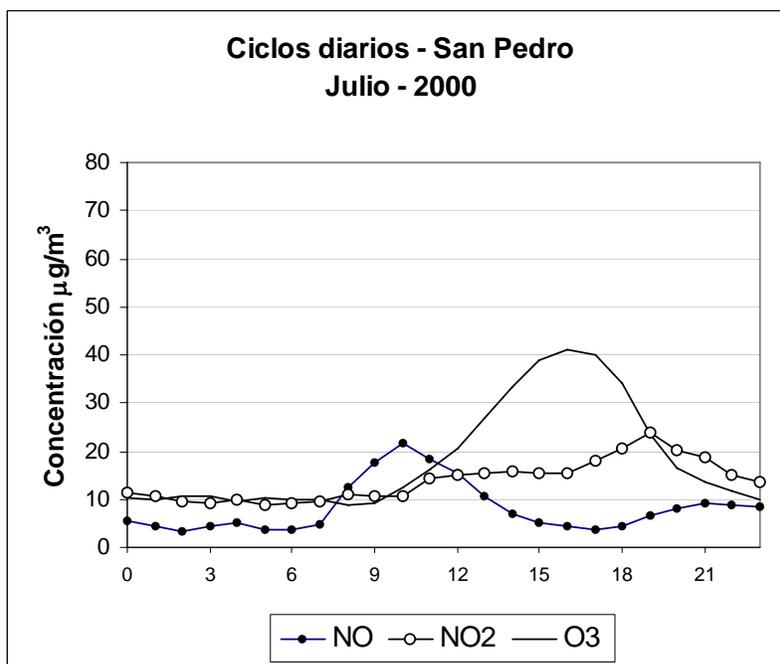
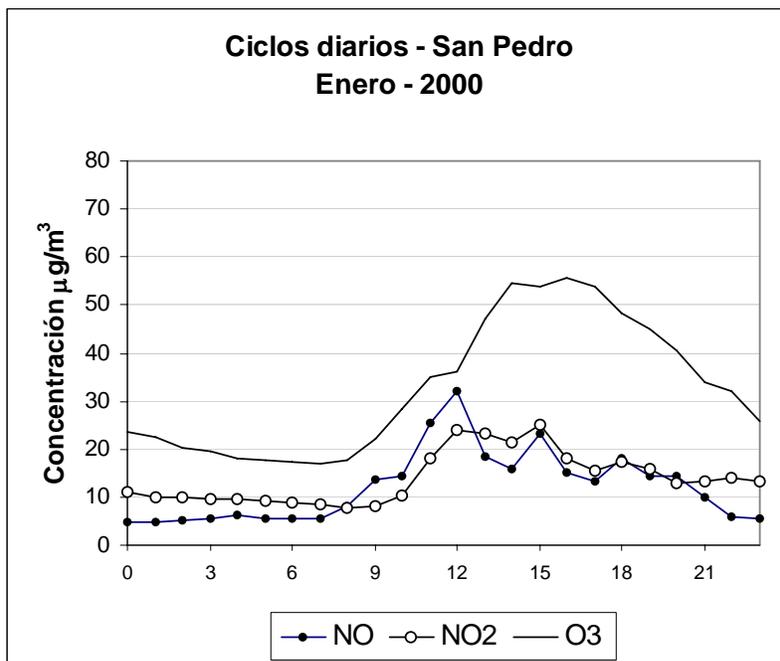
Ciclos diarios de O₃, NO y NO₂ en la estación Bomberos de Quillota, Red de termoelectricas



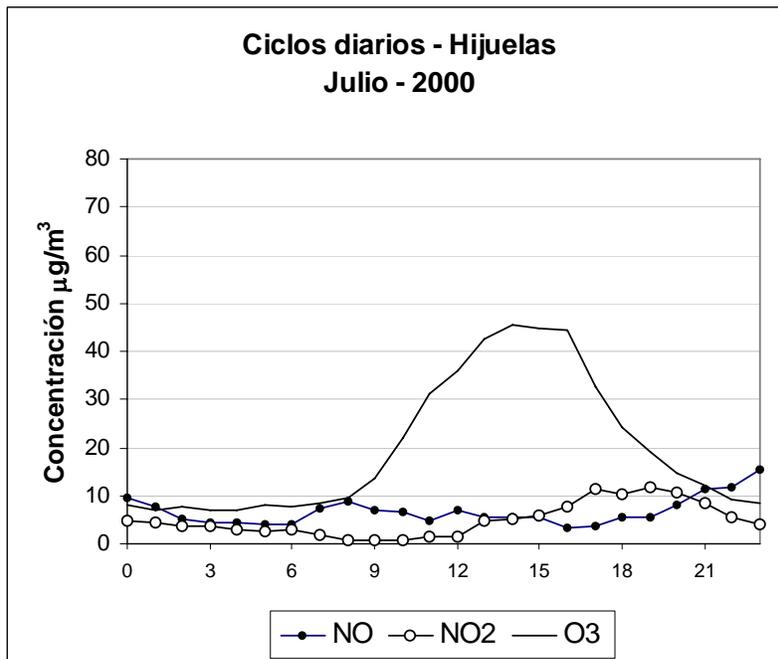
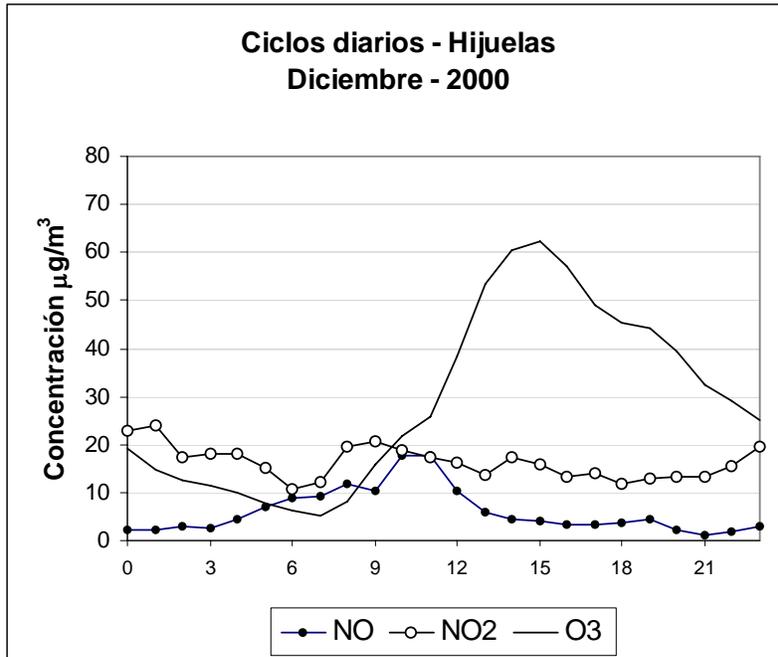
Ciclos diarios de O₃, NO y NO₂ en la estación Limache, Red de Termoelectricas



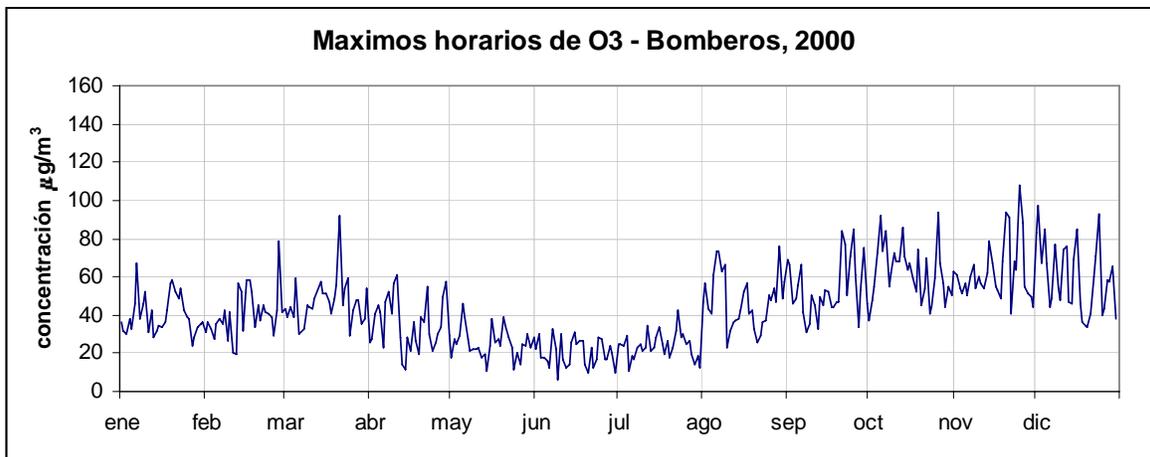
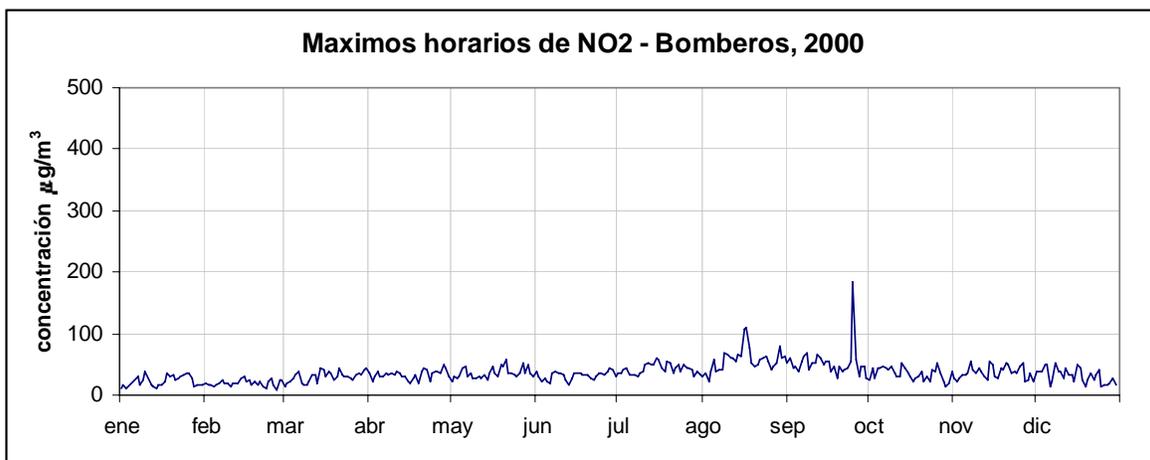
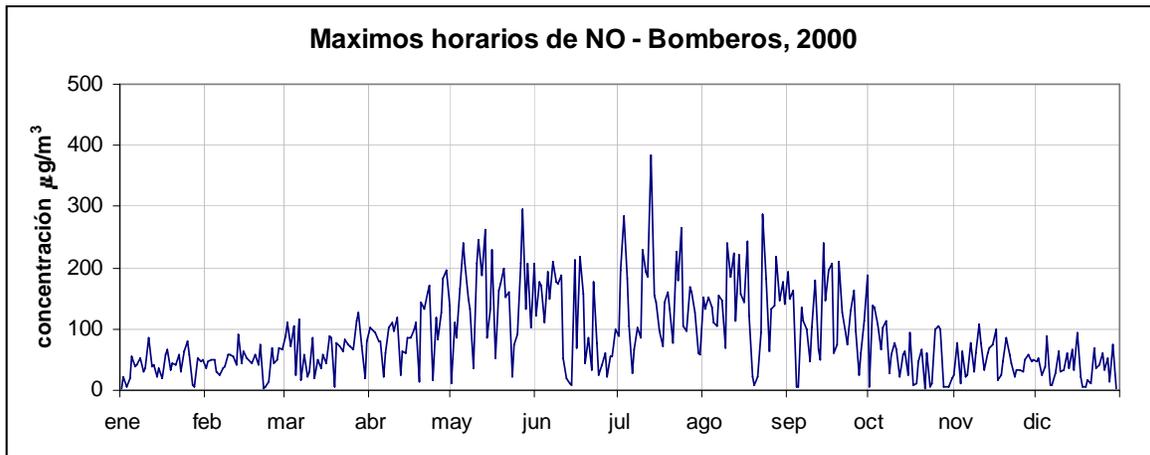
Ciclos diarios de O₃, NO y NO₂ en la estación San Pedro, Red de Termoelectricas



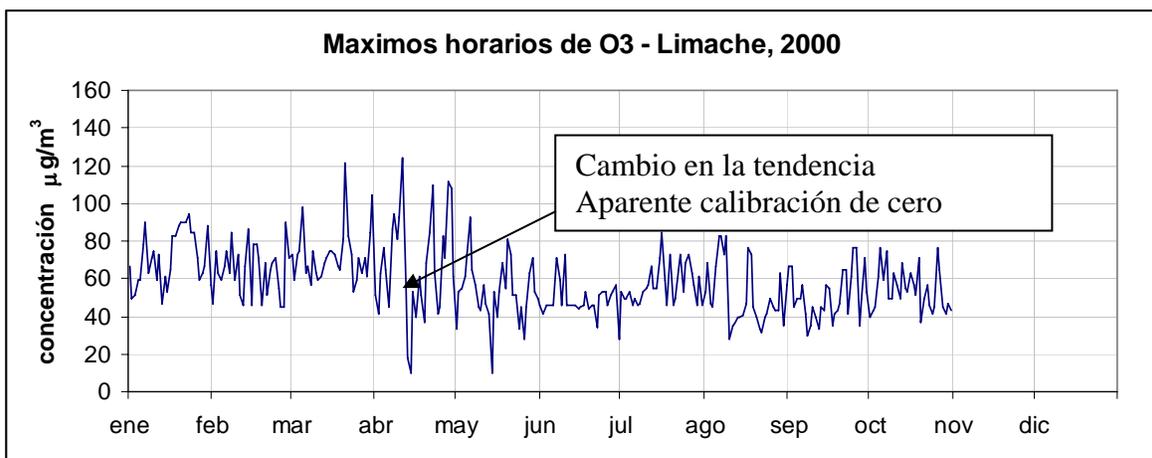
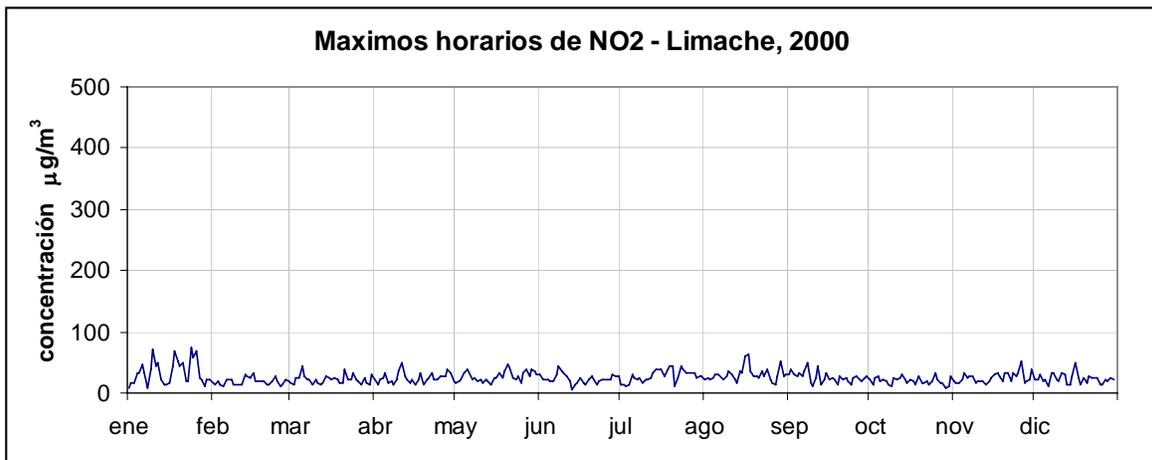
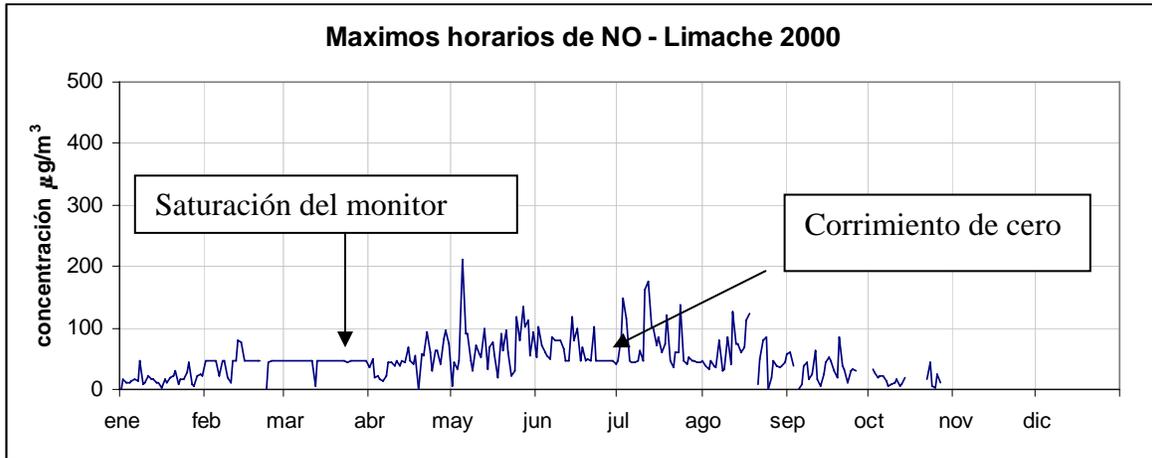
Ciclos diarios de O₃, NO y NO₂ en estación Hijuelas de Red Melón



Series de máximos horarios para cada día de NO, NO₂ y O₃ en estación Bomberos de Quillota, Año 2000

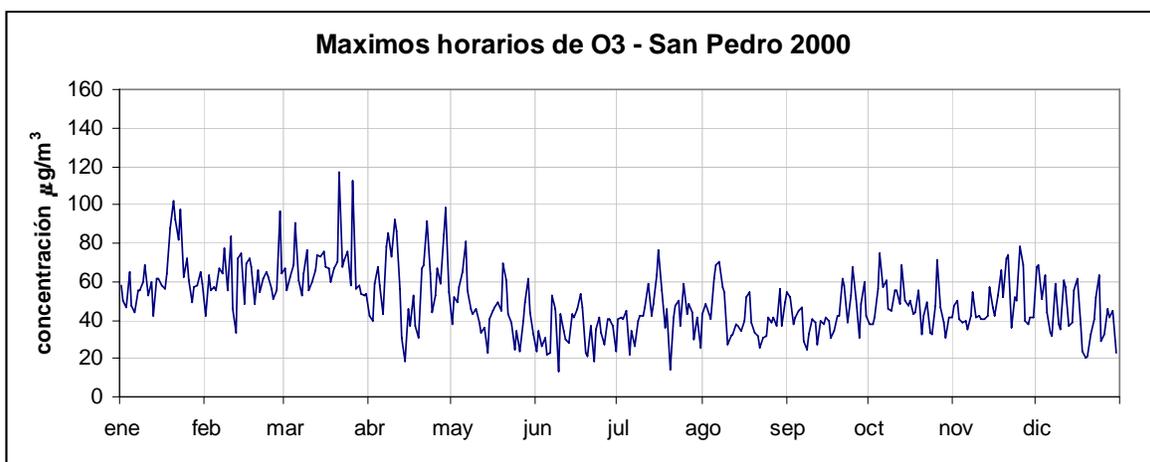
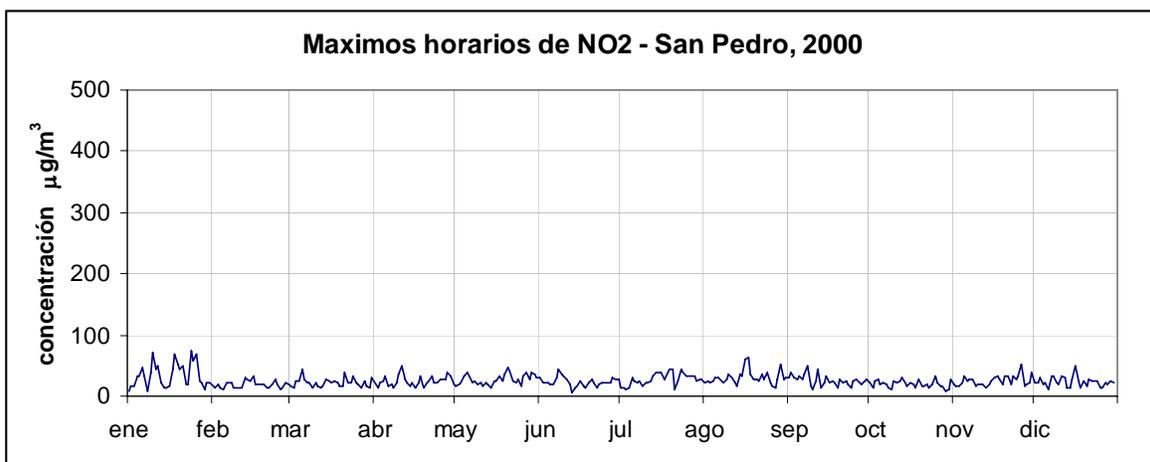
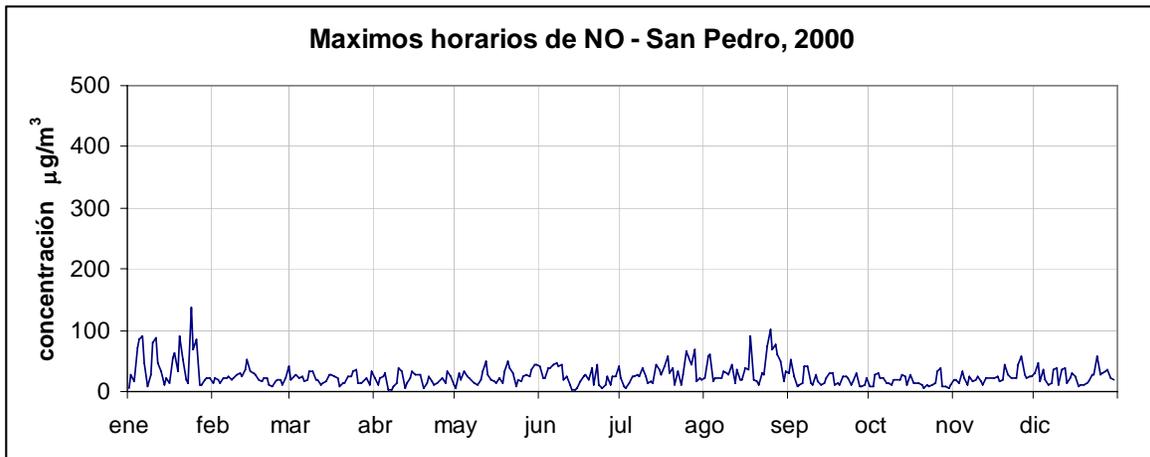


Series de máximos horarios para cada día de NO, NO₂ y O₃ en estación Limache, Año 2000

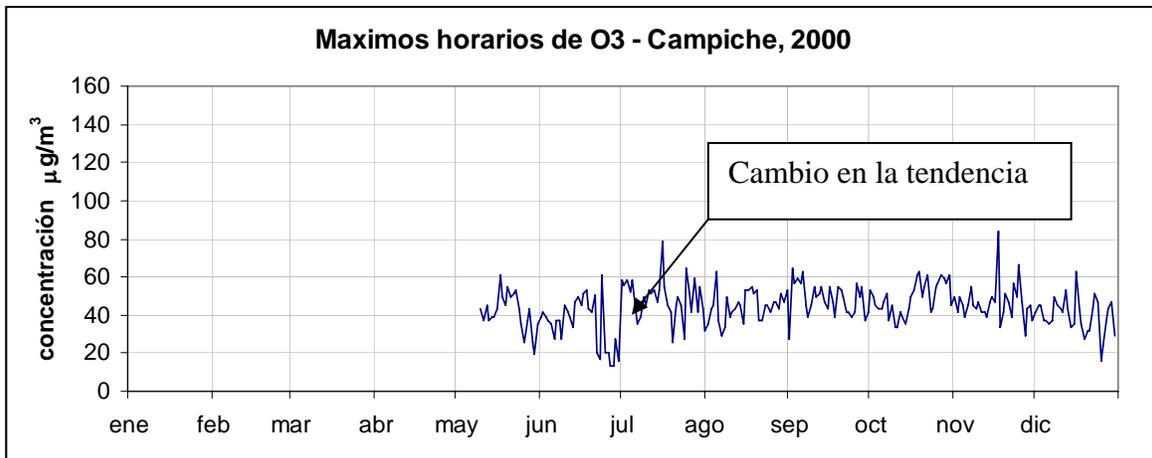
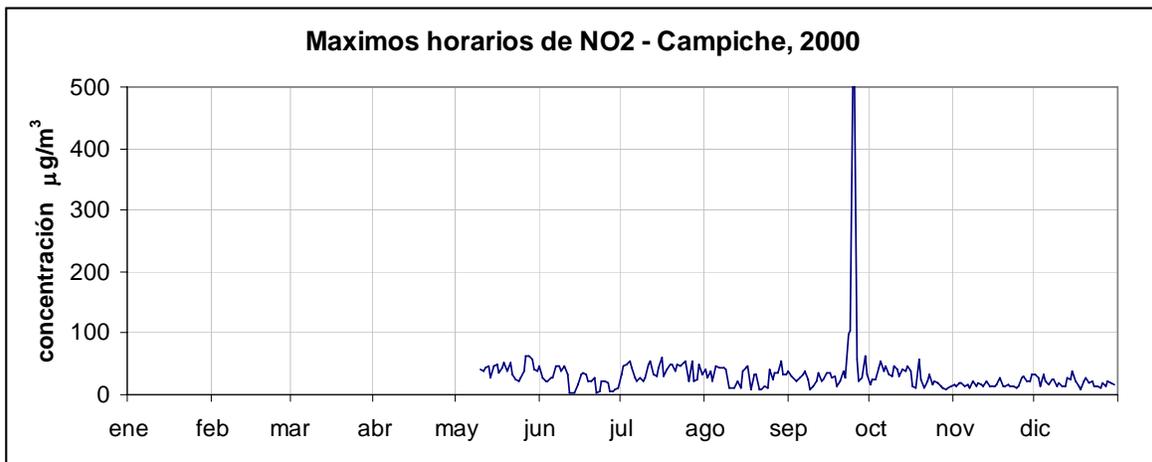
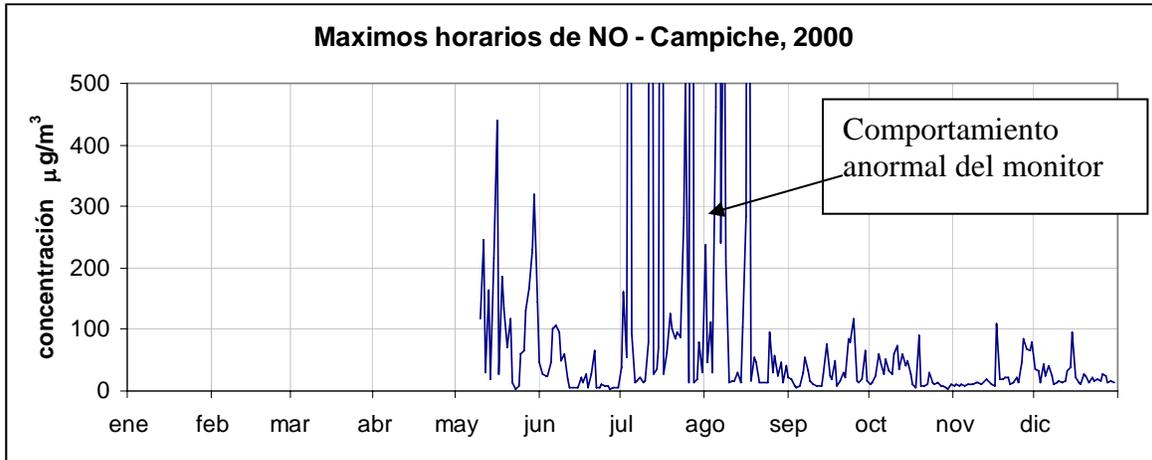


En los recuadros se ilustran algunas anomalías en el comportamiento de los valores.

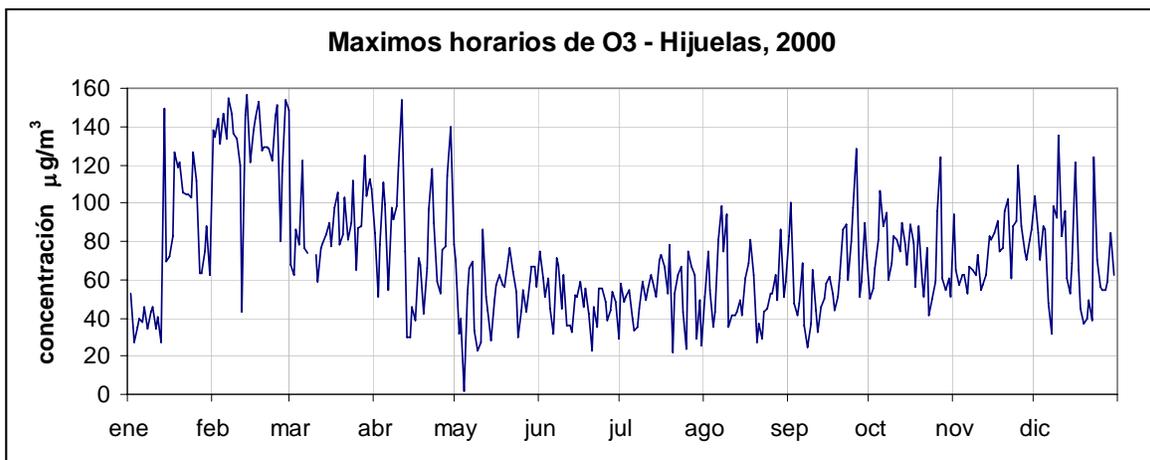
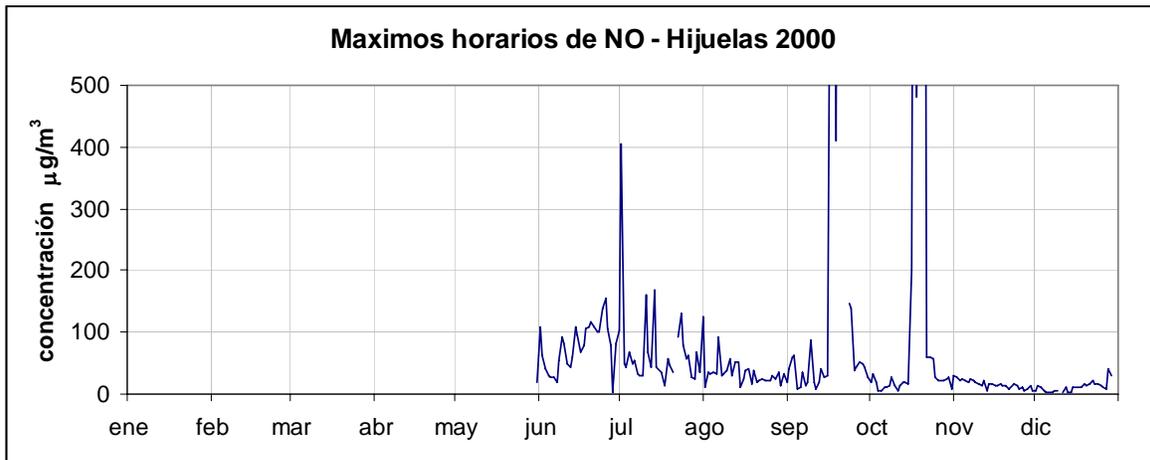
Series de máximos horarios para cada día de NO, NO₂ y O₃ en estación San Pedro, Año 2000



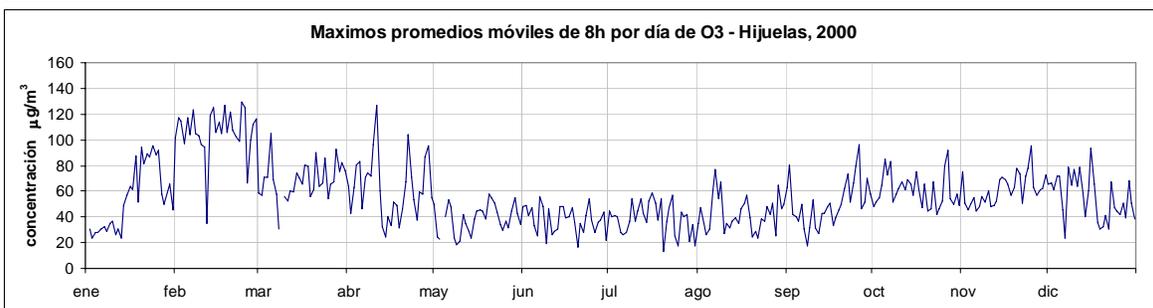
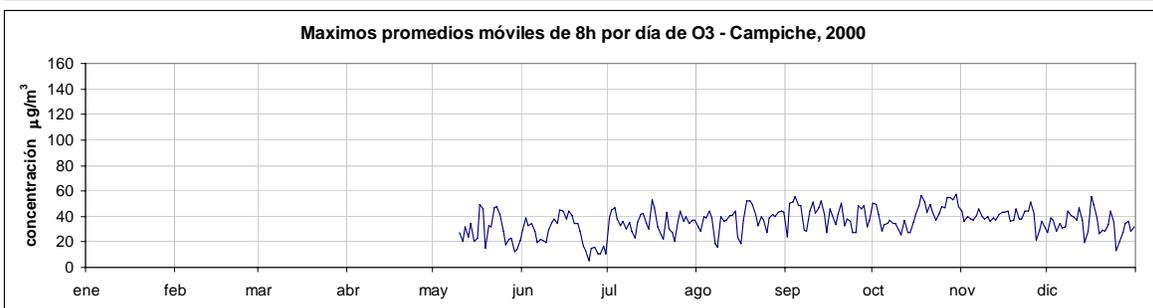
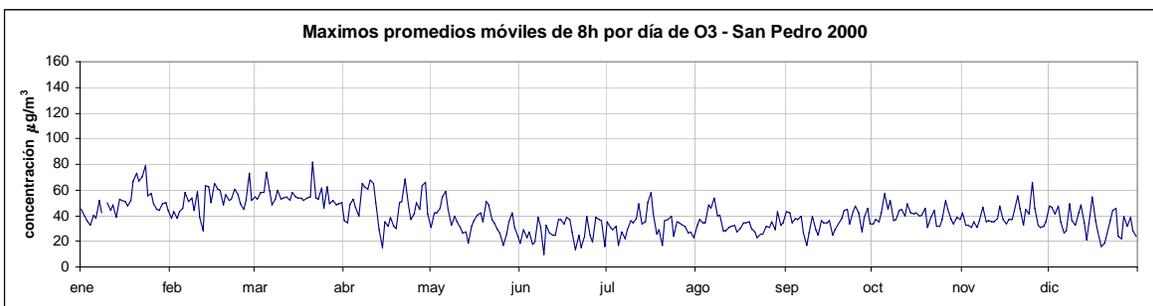
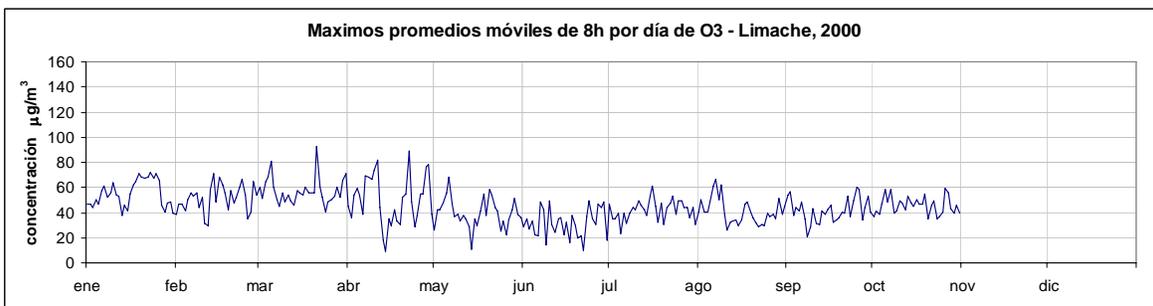
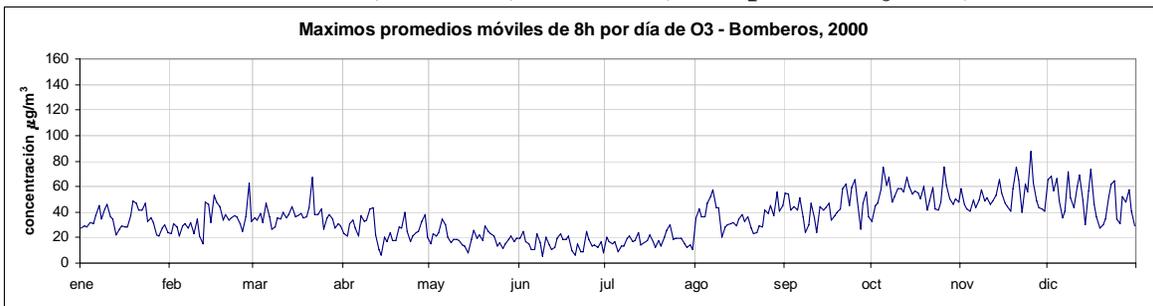
Series de máximos horarios para cada día de NO, NO₂ y O₃ en estación Campiche, Año 2000



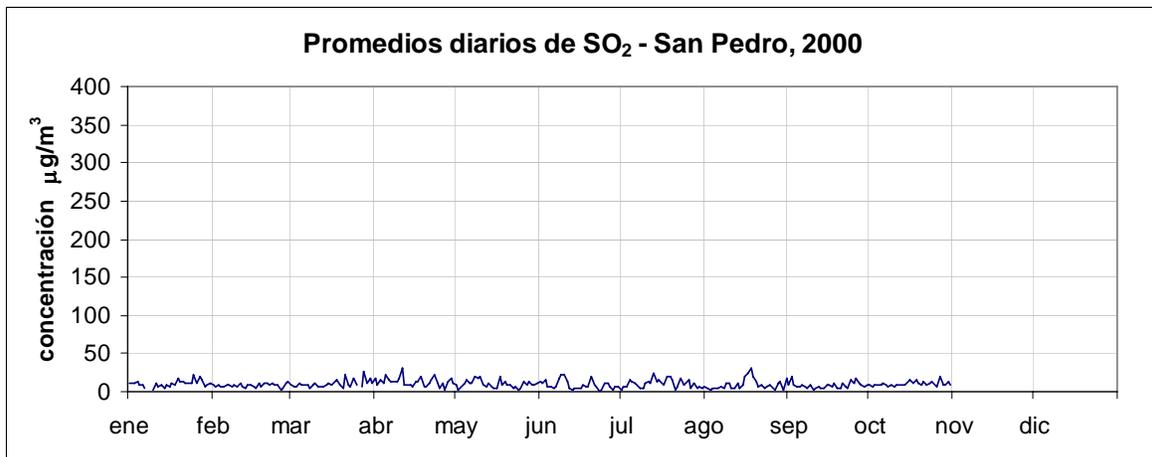
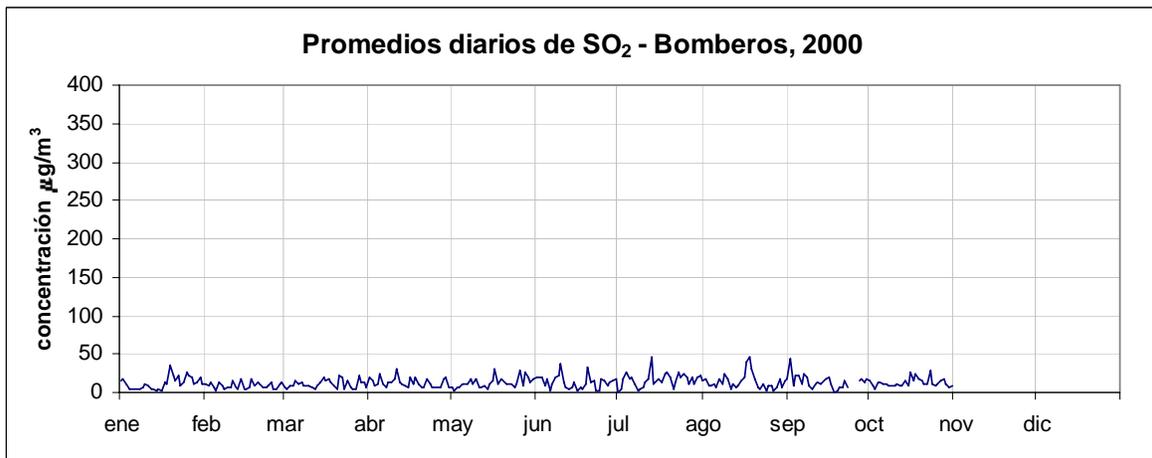
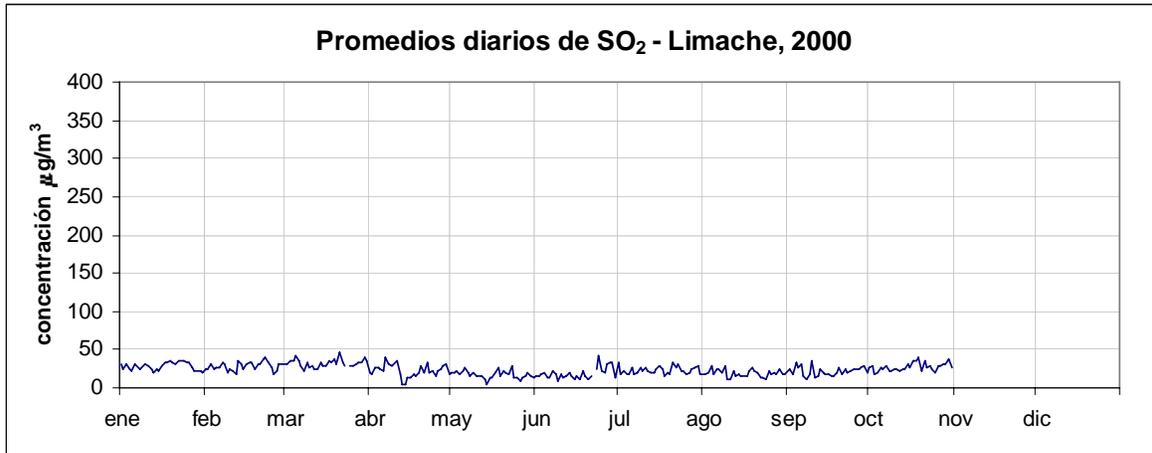
Series de máximos horarios para cada día de NO, NO₂ y O₃ en estación Hijuelas, Año 2000



Valores máximos para cada día de promedios de 8 horas de Ozono Estaciones Bomberos, Limache, San Pedro, Campiche e Hijuelas, año 2000

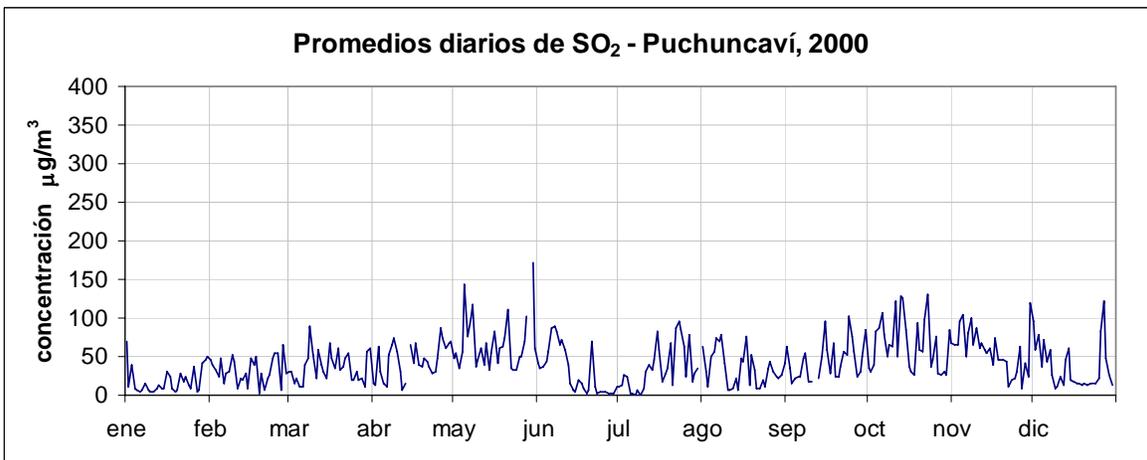
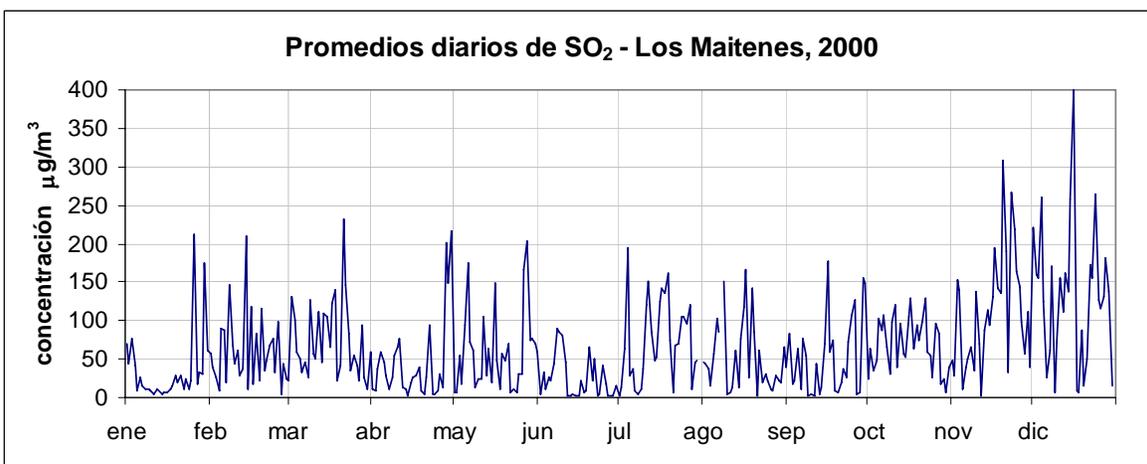
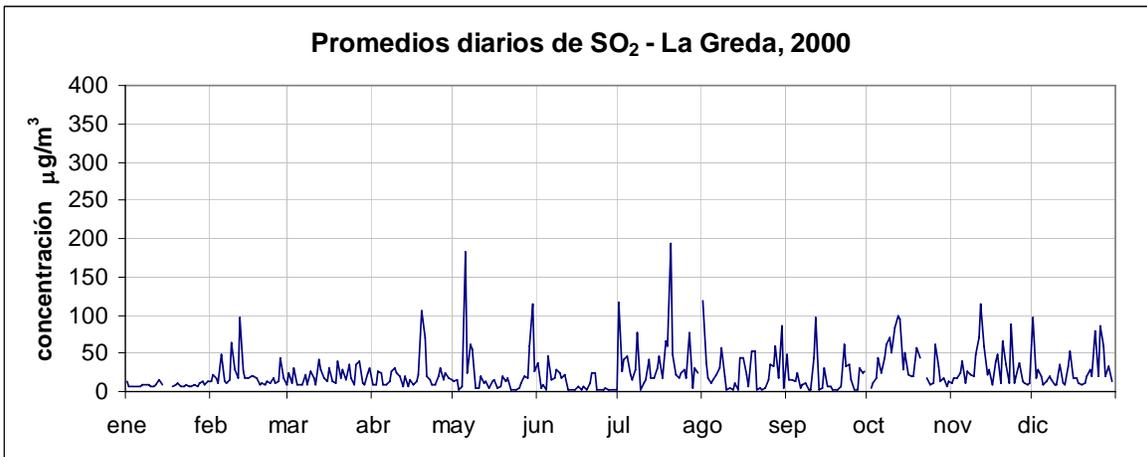


Promedios diarios de SO₂, estaciones Bomberos de Quillota, Limache y San Pedro Red Termoelectricas, año 2000

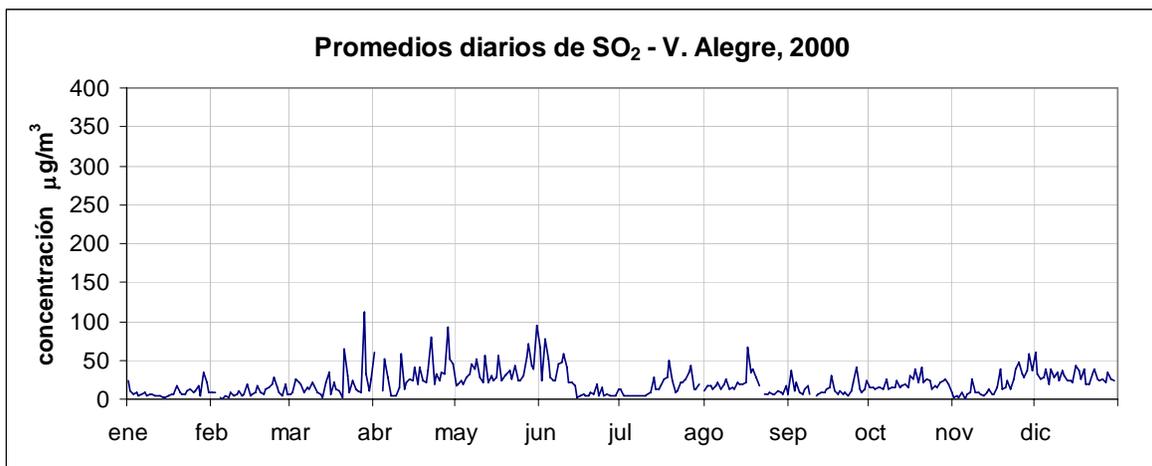
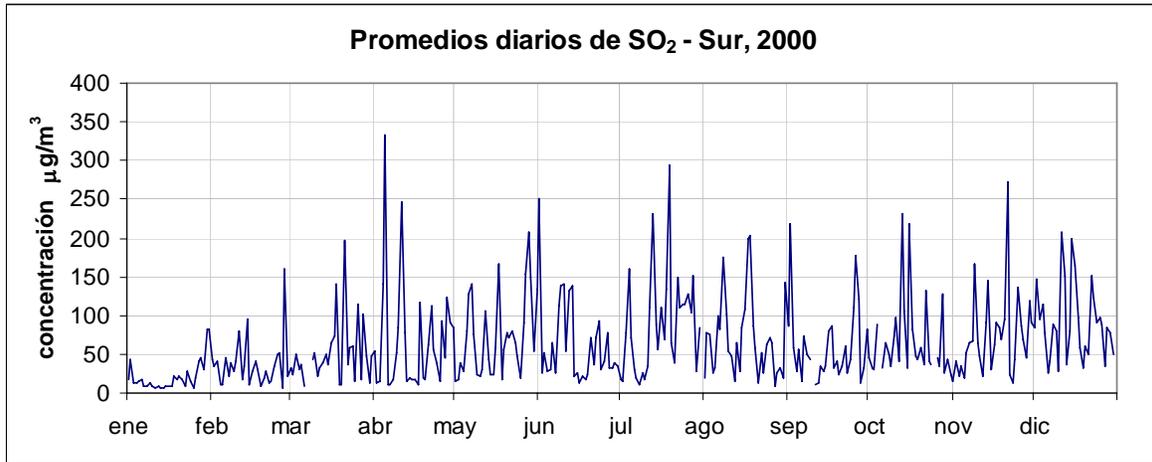


Promedios diarios para días con más del 75% de las horas válidas.

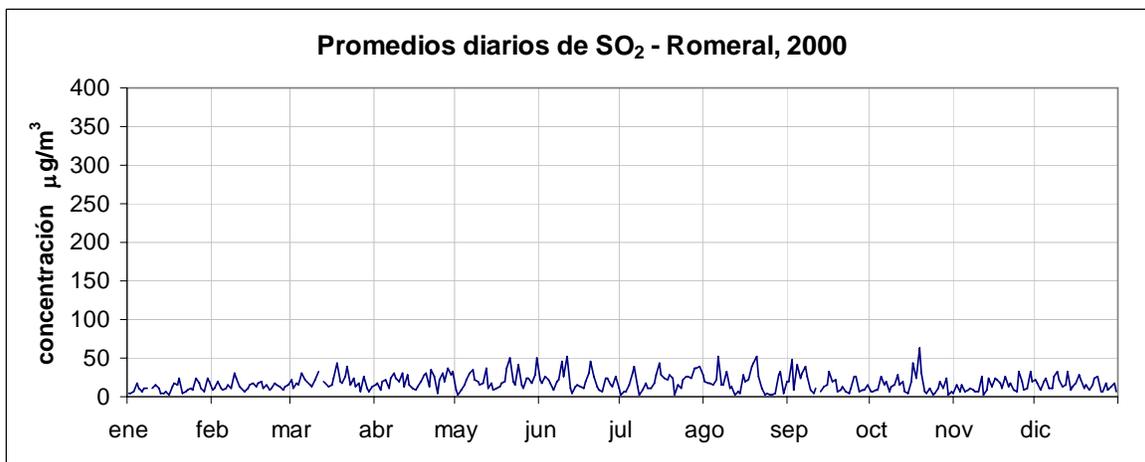
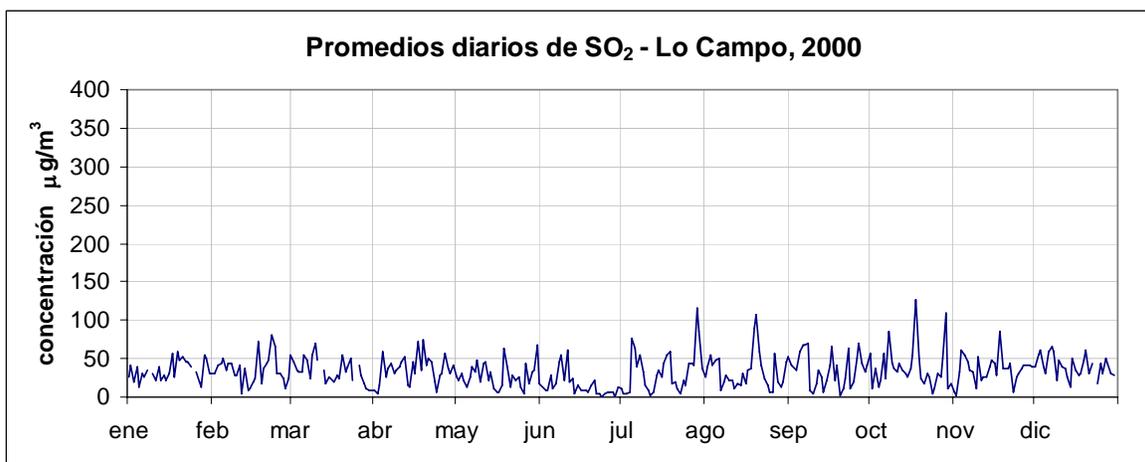
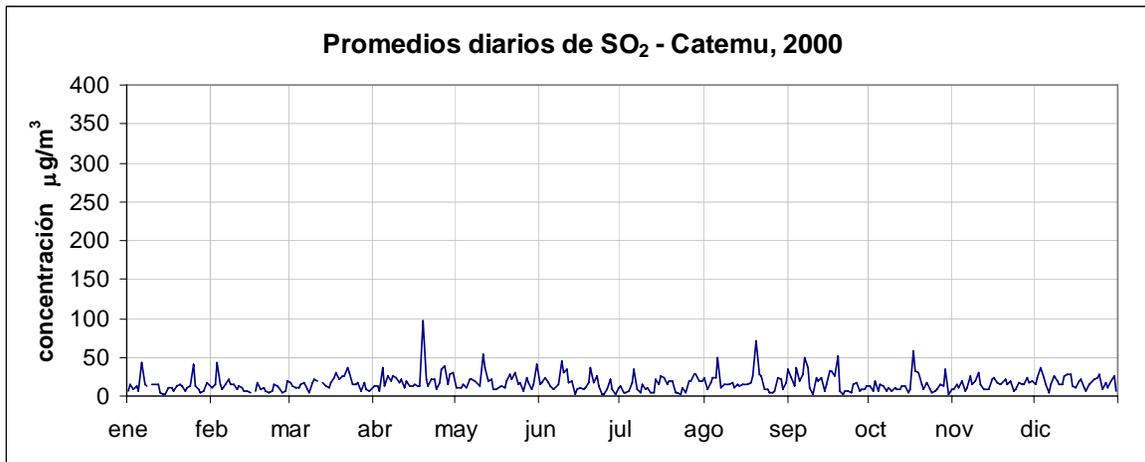
Promedios diarios de SO₂, estaciones La Greda, Los Maitenes y Puchuncaví Red ENAMI-Ventanas, año 2000



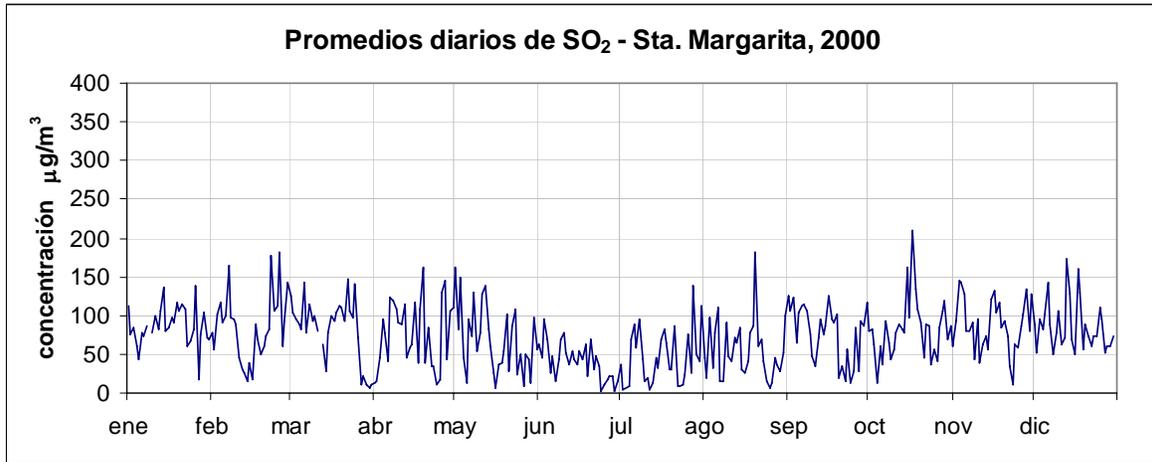
Promedios diarios de SO₂, estaciones Sur y V. Alegre Red ENAMI-Ventanas, año 2000



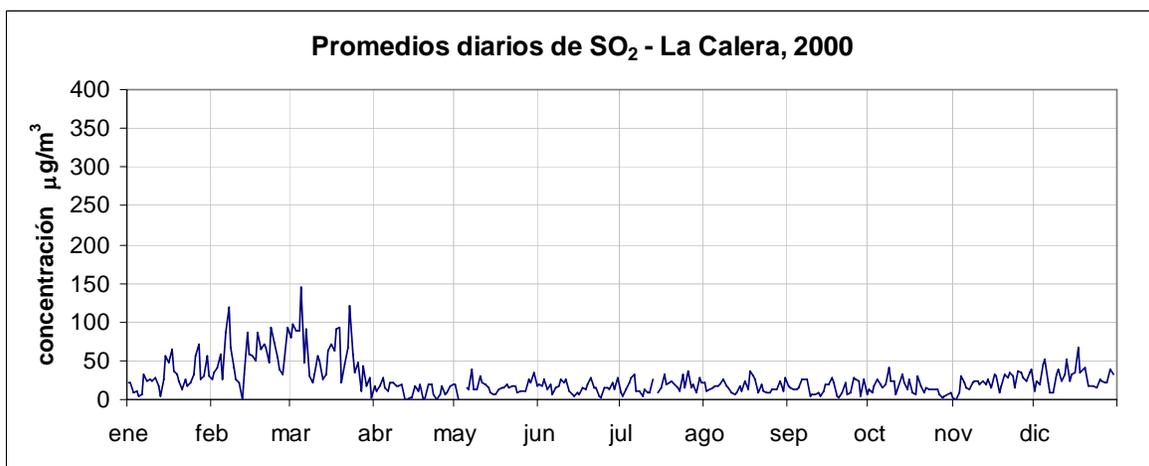
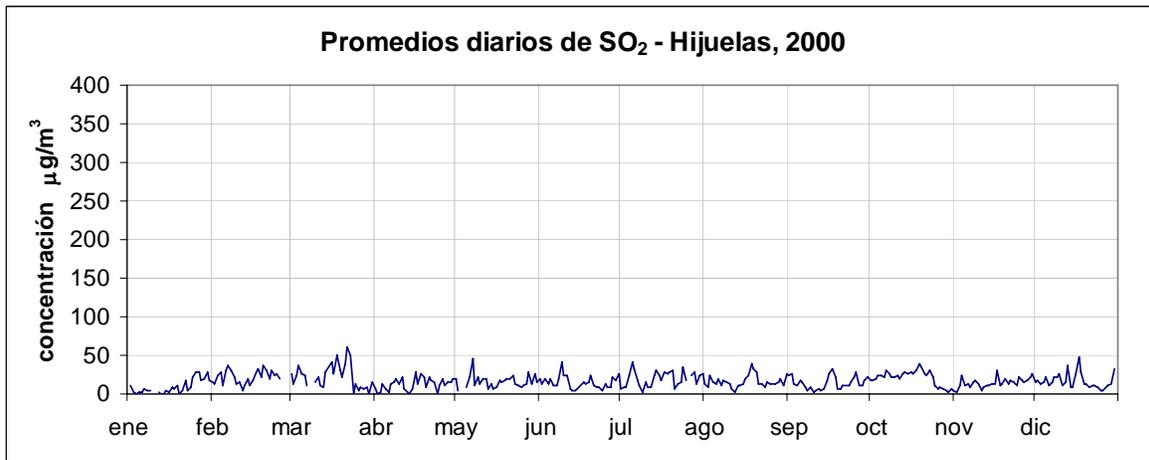
Promedios diarios de SO₂, estaciones Catemu, Lo Campo y Romeral Red Chagres, año 2000



Promedios diarios de SO₂, estación Santa Margarita Red Chagres, año 2000



Promedios diarios de SO₂, estaciones Hijuelas y La Calera Red Melón, año 2000

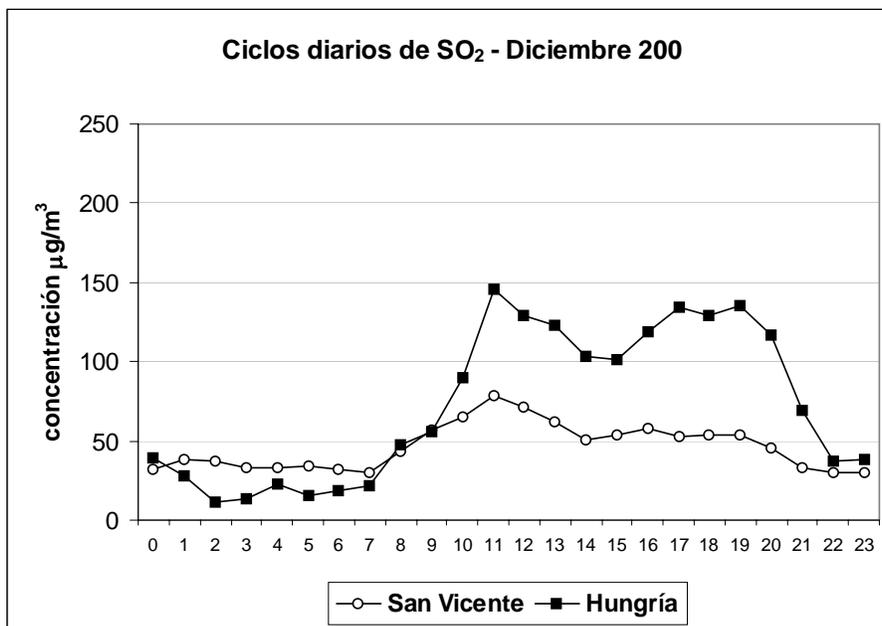
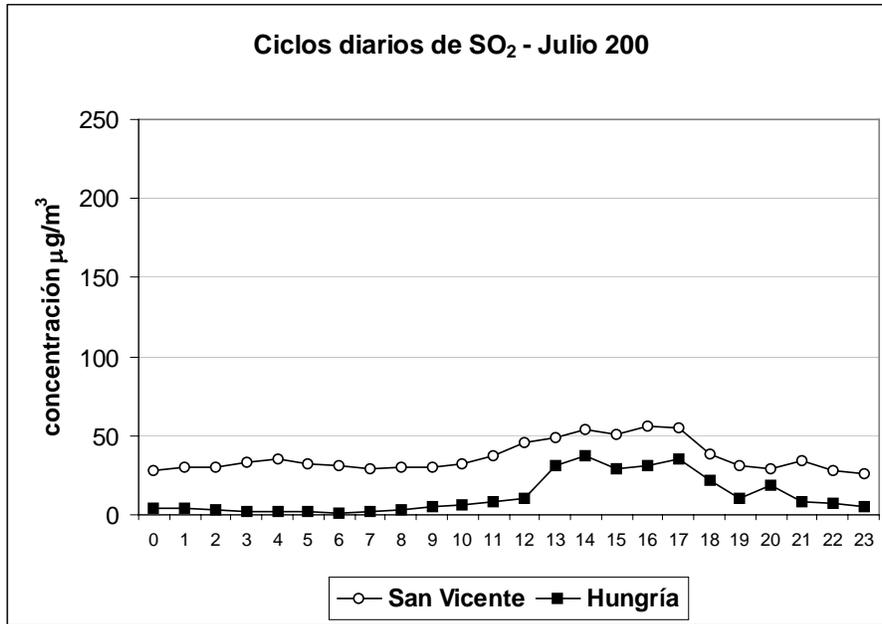


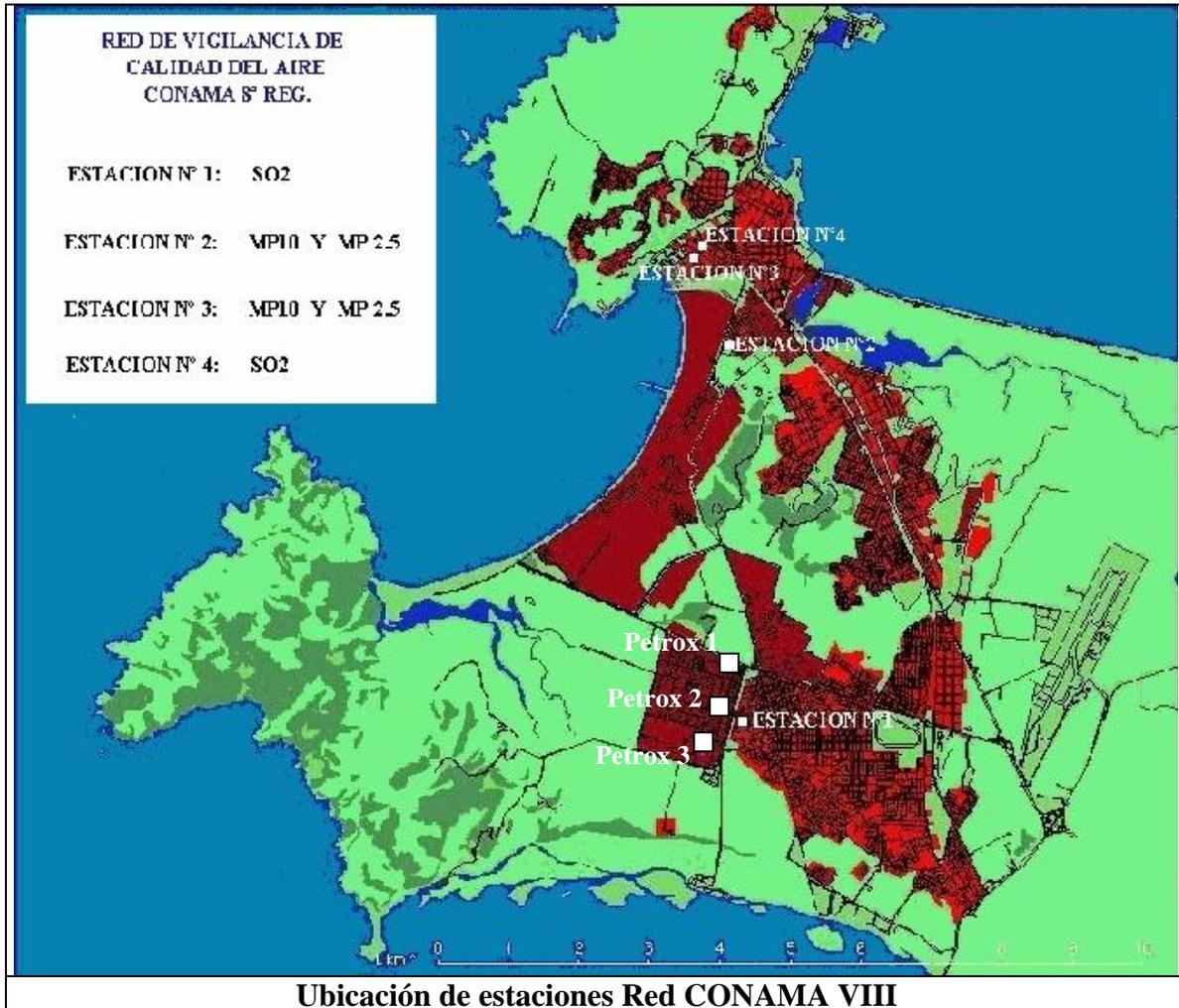
Promedios diarios de SO₂, estación Con Con Red RPC, año 2000



OCTAVA REGION

Ciclos diarios de SO₂ en octava Región Estaciones San Vicente y Hungría, Red CONAMA

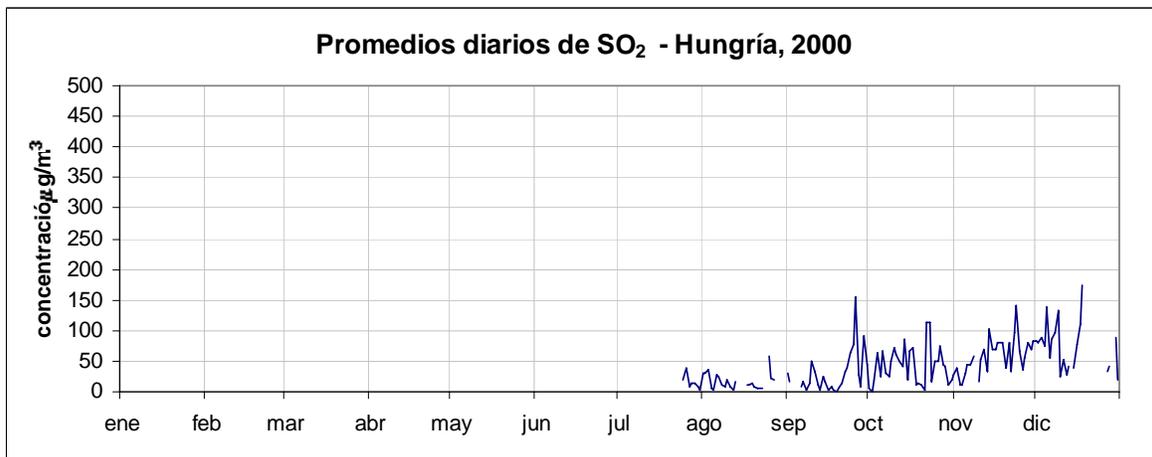
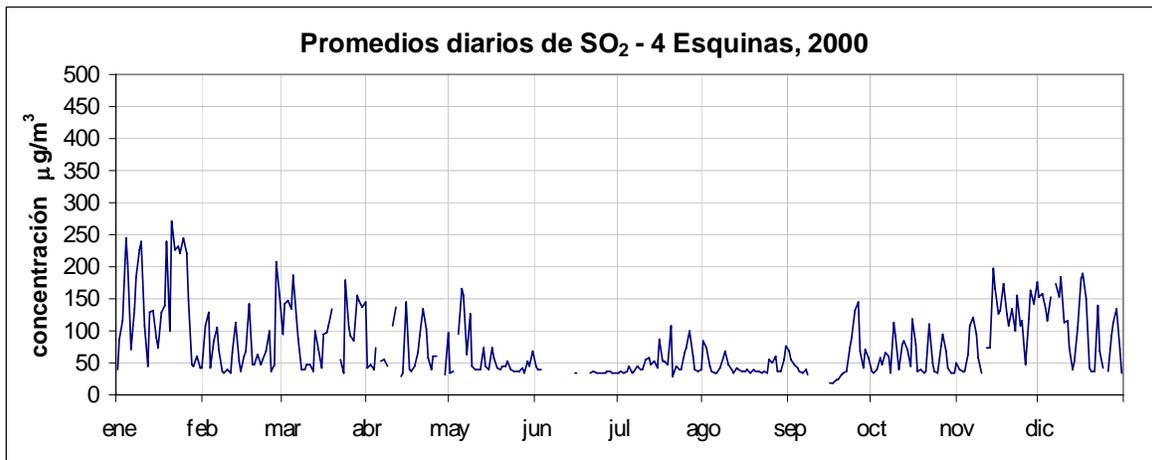
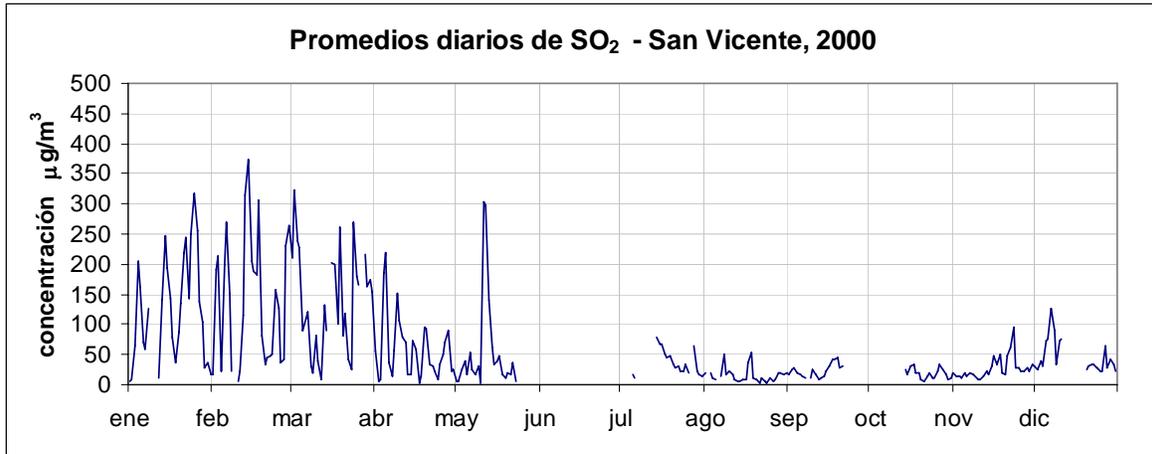




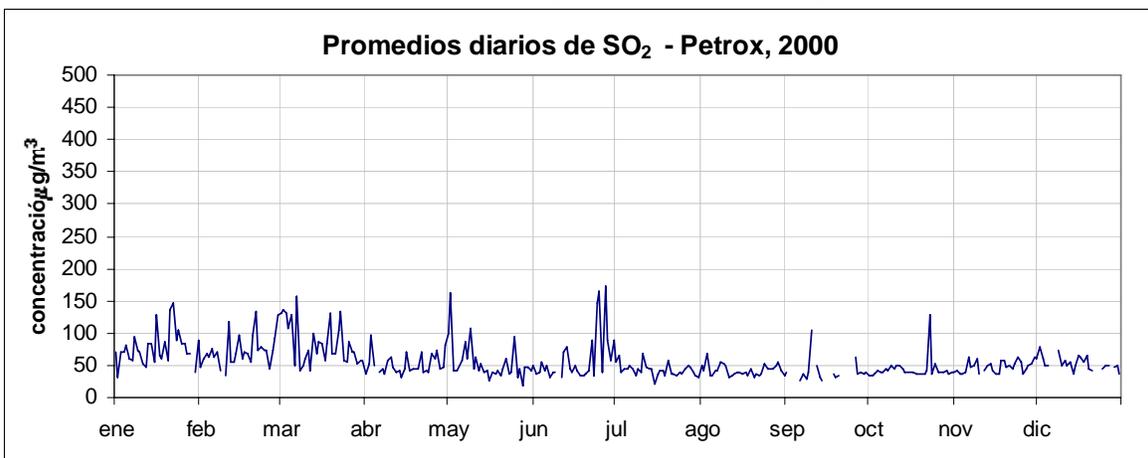
Donde Estación 1: Hungría
Estación 2: Libertad
Estación 3: San Vicente 2 = Consultorio
Estación 4: San Vicente = Bomberos

Además, se incluyen las estaciones de Petrox.

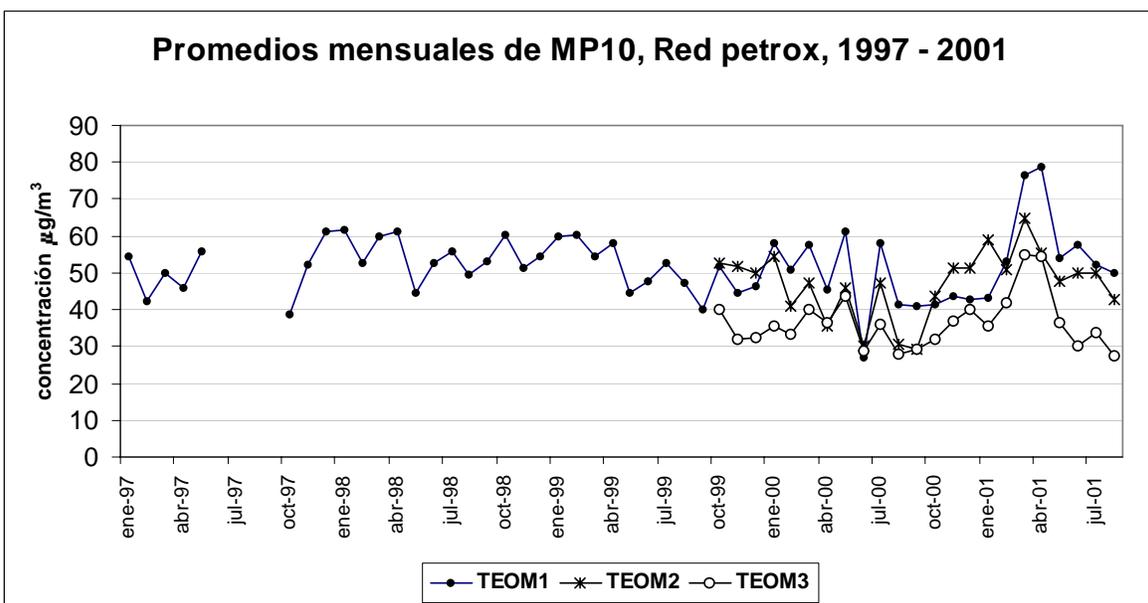
Promedios diarios de SO₂ estaciones San Vicente, 4 Esquinas y Hungría de Red CONAMA, año 2000

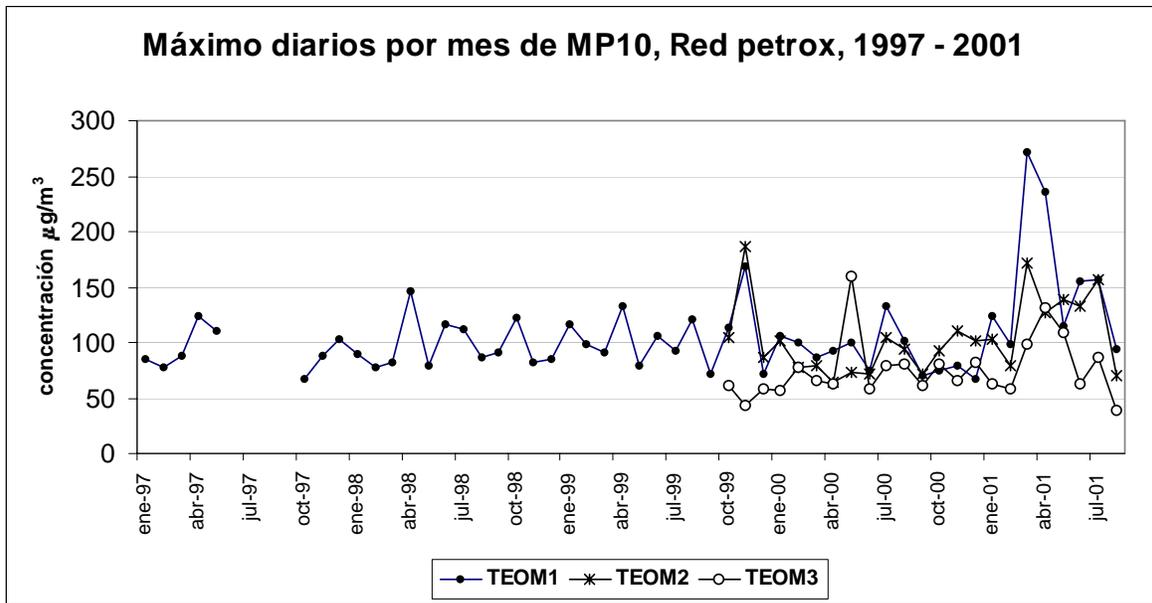


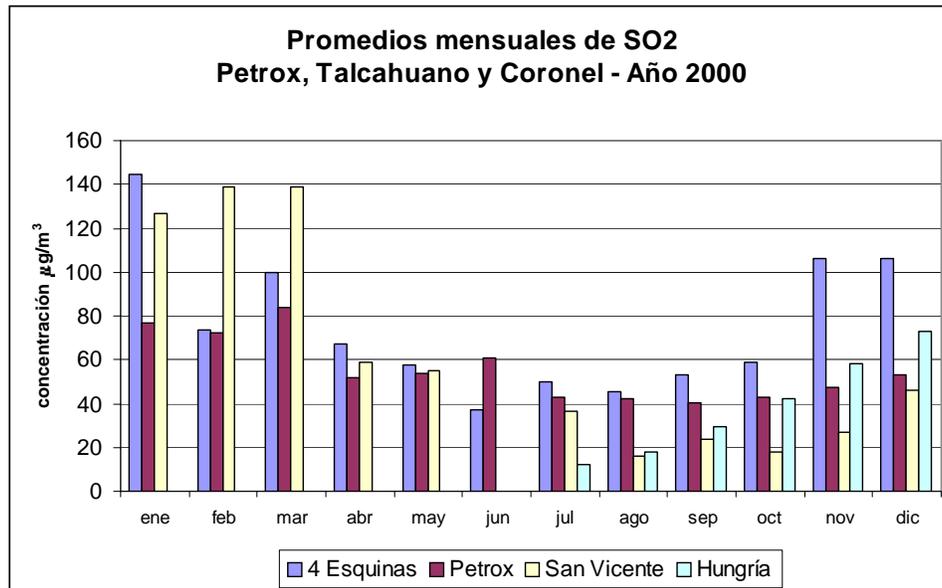
Promedios diarios de SO₂, estación de Petrox, año 2000



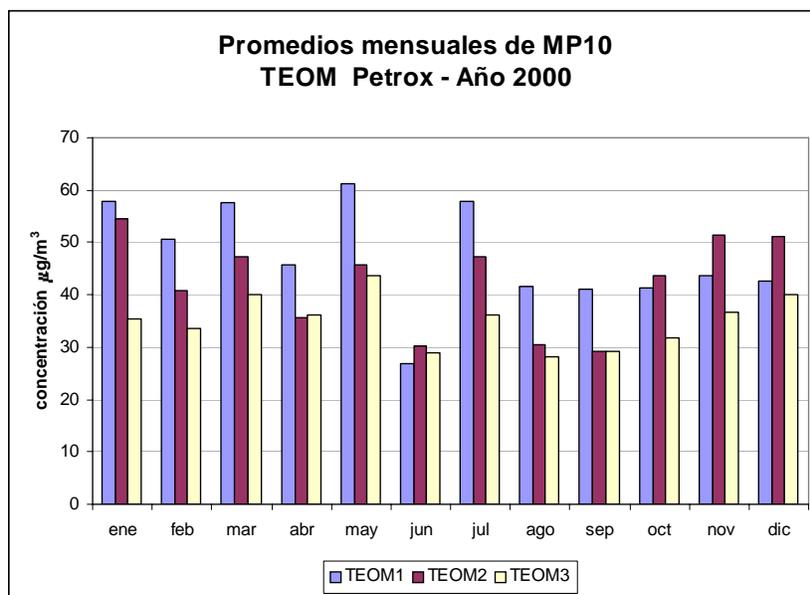
Promedios mensuales de MP10, Red petrox, 1997 - 2001







Existen diferencias de valores entre las estaciones, registrándose valores más altos en las estaciones de la red CONAMA (4 esquinas y San Vicente). Hay un ciclo anual, con promedios más altos en los meses de primavera-verano.



Para el año 2000 no se aprecia un ciclo anual muy marcado. Los promedios más bajos se registran en junio, probablemente como efecto de días lluviosos.

Tablas resumen anual para SO₂, O₃ y NO₂

V y VIII Región

SO₂ - Red Termoelectricas: Quillota - Bombero - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero	672	100.0	0.0	91.6	9.3	4.5	14.9	28.8	31.6	44.5	50.1	28	2.3	34.5	9.3	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	48.1	6.8	3.4	11.5	19.0	25.5	33.6	41.4	31	1.1	11.9	6.8	-	-
Abril	660	91.7	0.0	99.6	10.6	4.1	17.9	31.4	42.8	58.8	73.9	30	1.3	27.3	10.7	-	-
Mayo	722	97.0	0.0	93.2	16.8	11.4	26.9	40.5	54.1	62.8	69.9	31	3.8	40.6	16.7	-	-
Junio	710	98.6	0.0	116.1	12.7	7.8	19.9	32.3	41.5	55.5	71.4	30	4.2	24.3	12.6	-	-
Julio	744	100.0	0.0	215.2	14.7	7.7	23.1	41.6	52.2	76.2	88.9	31	1.9	37.6	14.7	-	-
Agosto	742	99.7	0.0	100.6	9.8	5.2	14.3	25.0	36.3	54.0	67.3	31	2.2	28.8	9.8	-	-
Septiembre	715	99.3	0.0	58.2	7.6	5.0	11.9	16.7	23.5	35.7	40.7	30	0.8	19.7	7.6	-	-
Octubre	741	99.6	0.0	85.2	7.7	4.2	11.0	16.7	23.8	46.2	65.7	31	1.6	29.3	7.7	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	64.0	8.8	6.1	13.8	20.4	26.8	36.6	39.7	30	3.2	12.7	8.8	-	-
Diciembre	743	99.9	0.0	177.3	14.8	8.6	20.8	34.6	51.3	73.6	101.8	31	2.0	39.9	14.8	-	-
Año	7913	90.3	0.0	215.2	10.9	6.0	16.7	27.3	40.2	56.0	67.7	330	0.8	40.6	10.9	-	-

SO₂ - Red Termoelectricas: Quillota - Bombero - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	261.5	12.2	7.2	17.2	26.7	40.1	60.6	70.6	31	2.7	35.1	12.2	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	92.5	8.8	6.0	11.3	17.4	27.2	43.2	51.6	29	3.0	17.0	8.8	-	-
Marzo	740	99.5	0.0	112.0	10.9	6.8	14.8	25.7	36.7	51.4	70.4	31	3.4	22.6	10.9	-	-
Abril	720	100.0	0.0	103.4	12.7	8.7	17.5	28.5	40.6	63.3	71.0	30	5.9	30.3	12.7	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	149.6	12.7	8.2	17.6	32.5	44.2	59.0	67.4	31	2.5	30.2	12.7	-	-
Junio	720	100.0	0.0	117.5	13.4	8.5	19.9	32.5	43.0	59.3	74.7	30	1.7	36.9	13.4	-	-
Julio	740	99.5	0.0	152.6	16.3	9.9	29.3	42.2	55.1	71.2	81.4	31	0.6	46.9	16.3	-	-
Agosto	743	99.9	0.0	201.4	13.6	7.8	20.7	35.8	48.6	64.2	86.2	31	1.2	45.7	13.6	-	-
Septiembre	675	93.8	0.0	150.6	14.6	11.0	23.5	31.2	39.7	55.6	80.5	27	0.9	44.2	14.3	-	-
Octubre	743	99.9	0.0	115.1	12.9	10.0	17.8	24.9	33.9	42.6	56.7	31	5.2	28.8	12.9	-	-
Noviembre																-	-
Diciembre																-	-
Año	7265	82.7	0.0	261.5	12.8	8.1	19.0	30.3	42.5	60.4	73.3	302	0.6	46.9	12.8	-	-

SO₂ - Red Termoeléctricas: LIMACHE - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	94.2	28.3	25.5	49.1	62.8	72.6	82.7	89.4	31	20.0	36.1	28.3	-	-
Febrero	690	99.1	0.0	90.3	28.4	29.4	46.0	56.9	64.8	72.6	78.9	29	17.5	39.2	28.4	-	-
Marzo	734	98.7	0.0	121.7	31.9	35.3	53.0	62.8	70.6	80.5	87.6	30	22.6	46.2	32.2	-	-
Abril	719	99.9	0.0	123.6	22.5	11.8	41.2	60.8	74.8	91.5	97.8	30	5.0	40.8	22.5	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	92.2	17.2	7.8	35.3	47.1	54.9	67.0	72.6	31	4.5	29.7	17.2	-	-
Junio	699	97.1	0.0	72.6	18.7	11.8	39.6	46.0	49.1	53.0	58.9	29	8.7	41.2	18.7	-	-
Julio	744	100.0	0.0	84.4	23.1	17.7	46.0	49.1	54.9	63.1	69.8	31	15.7	33.2	23.1	-	-
Agosto	743	99.9	0.0	82.4	18.9	13.7	35.3	43.2	54.9	68.7	74.9	31	10.3	29.6	18.9	-	-
Septiembre	715	99.3	0.0	76.5	21.7	19.6	39.2	45.1	53.0	62.8	66.7	30	10.7	35.0	21.7	-	-
Octubre	742	99.7	0.0	76.5	27.1	29.4	41.2	49.1	54.9	62.8	68.7	31	18.5	40.0	27.1	-	-
Noviembre																-	-
Diciembre																-	-
Año	7274	82.8	0.0	123.6	23.8	19.6	44.8	53.0	62.8	72.6	82.4	303	4.5	46.2	23.8	-	-

SO₂ - Red Termoeléctricas, SAN PEDRO - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	740	99.5	12.7	124.7	28.2	26.1	32.8	37.4	43.8	54.2	61.8	31	19.9	37.0	28.2	-	-
Febrero	672	100.0	0.4	61.7	10.1	9.0	13.3	18.2	21.8	29.0	34.9	28	5.9	16.7	10.1	-	-
Marzo	743	99.9	3.9	57.0	11.5	9.0	14.4	19.3	27.1	36.5	42.8	31	6.7	17.9	11.5	-	-
Abril	654	90.8	4.0	81.8	13.5	9.2	15.6	27.9	43.1	50.6	61.6	30	7.2	24.6	13.6	-	-
Mayo	721	96.9	3.5	123.1	16.0	11.7	19.9	30.7	42.1	52.6	59.5	30	9.4	28.1	16.1	-	-
Junio	699	97.1	2.4	95.9	15.4	12.0	19.5	27.4	37.4	48.0	57.0	30	8.4	22.7	15.4	-	-
Julio	744	100.0	1.5	261.9	17.0	11.3	20.1	32.9	47.9	64.1	78.5	31	7.3	36.9	17.0	-	-
Agosto	727	97.7	3.2	76.8	15.6	12.8	18.0	24.2	34.0	50.2	58.6	30	9.1	26.0	15.5	-	-
Septiembre	676	93.9	6.5	97.9	17.6	14.9	20.4	28.1	33.8	46.0	60.1	27	12.8	31.6	17.5	-	-
Octubre	740	99.5	2.0	63.3	12.9	10.0	15.6	23.5	31.9	44.0	52.8	31	7.8	21.8	12.9	-	-
Noviembre	710	98.6	2.9	67.1	15.1	11.7	22.4	31.1	39.2	46.6	51.6	30	7.5	23.0	15.1	-	-
Diciembre	673	90.5	3.4	344.3	33.1	24.4	41.5	61.1	84.5	121.3	156.3	27	17.2	83.1	33.4	-	-
Año	8499	97.0	0.4	344.3	17.2	12.5	23.8	32.0	41.6	56.7	69.4	352	5.9	83.1	17.1	-	-

SO₂ - Red Termoelectricas, SAN PEDRO - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	702	94.4	0.0	100.0	10.3	7.6	15.2	22.0	28.7	39.0	45.8	29	3.0	21.0	10.5	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	52.3	8.1	6.5	12.0	14.6	19.5	28.6	34.5	29	2.5	12.5	8.1	-	-
Marzo	731	98.3	0.0	107.5	10.4	7.6	14.4	22.2	31.3	43.3	52.2	30	3.7	26.1	10.5	-	-
Abril	717	99.6	0.0	132.7	13.0	8.6	17.3	28.3	41.4	55.1	68.9	30	2.0	31.0	13.0	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	99.4	10.0	4.9	16.1	29.0	39.2	53.7	59.0	31	2.8	20.8	10.0	-	-
Junio	718	99.7	-0.5	85.2	8.9	5.0	12.5	22.3	31.2	45.6	52.0	30	1.1	22.4	8.9	-	-
Julio	744	100.0	0.3	115.4	10.7	5.6	14.3	28.4	40.6	48.7	58.5	31	2.2	23.5	10.7	-	-
Agosto	743	99.9	-0.5	254.1	9.3	5.4	12.1	19.8	30.9	51.2	61.5	31	3.0	30.0	9.3	-	-
Septiembre	715	99.3	0.4	86.3	8.3	6.4	10.8	14.4	21.1	31.2	45.4	30	2.2	20.5	8.3	-	-
Octubre	741	99.6	0.5	62.8	10.2	9.0	13.0	15.7	19.1	27.4	32.4	31	6.2	18.8	10.2	-	-
Noviembre																-	-
Diciembre																-	-
Año	7251	82.5	-0.5	254.1	9.9	6.8	13.6	21.1	31.3	44.5	54.9	302	1.1	31.0	9.9	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, LA GREDA - 1997

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	1439.9	45.5	7.6	47.3	120.2	208.4	408.3	562.2	31	4.1	147.8	45.5	1	-
Febrero	672	100.0	0.0	2131.2	34.5	6.1	22.5	56.6	118.3	366.7	546.7	28	3.6	343.8	34.5	2	-
Marzo	744	100.0	0.0	1687.1	33.8	6.1	29.1	67.6	122.2	352.2	504.4	31	3.2	210.1	33.8	1	-
Abril	720	100.0	0.0	2673.8	70.2	9.4	49.6	175.3	331.6	715.7	917.2	30	3.0	498.2	70.2	2	1
Mayo	744	100.0	0.0	5349.1	36.3	5.6	16.0	54.0	123.9	338.7	522.9	31	3.2	320.5	36.3	1	-
Junio	720	100.0	0.0	2132.0	41.6	10.0	23.9	60.9	124.4	290.0	763.8	30	5.2	205.9	41.6	5	-
Julio	744	100.0	0.0	2147.3	39.1	11.8	36.4	78.0	162.1	286.1	416.9	31	4.6	143.0	39.1	2	-
Agosto	744	100.0	0.0	1891.6	96.7	17.9	97.3	217.4	502.9	937.6	1199.2	31	5.5	494.1	96.7	4	3
Septiembre	720	100.0	0.0	1308.5	41.5	8.1	40.1	108.3	187.5	330.7	466.0	30	4.4	167.8	41.5	3	-
Octubre	744	100.0	0.0	7296.2	48.6	7.7	26.3	63.9	163.3	374.2	584.0	31	3.3	537.7	48.6	1	1
Noviembre	720	100.0	0.0	1139.1	23.3	5.8	15.3	34.2	72.1	177.2	520.4	30	4.5	104.2	23.3	1	-
Diciembre	744	100.0	0.0	910.7	8.8	3.4	6.4	9.2	17.7	36.9	61.6	31	3.1	52.9	8.8	1	-
Año	8760	100.0	0.0	7296.2	43.4	7.2	29.2	80.8	181.3	417.4	724.6	361	3.0	537.7	43.4	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, LA GREDA - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	1065.8	11.0	6.2	8.4	13.3	27.2	59.9	118.5	31	0.1	57.7	11.0	1	-
Febrero	672	100.0	0.0	2399.3	12.5	5.7	7.6	12.3	19.4	40.3	94.1	28	0.0	101.9	12.5	1	-
Marzo	744	100.0	0.0	364.2	5.8	3.5	6.6	7.7	8.2	12.6	32.7	31	1.6	30.4	5.8	-	-
Abril	720	100.0	0.0	1582.0	11.4	6.8	7.5	7.9	18.5	57.5	94.4	30	3.1	84.3	11.4	1	-
Mayo	744	100.0	0.0	1168.9	14.1	5.4	7.9	10.5	25.3	94.4	229.6	31	3.4	119.8	14.1	1	-
Junio	720	100.0	0.0	867.0	19.9	4.2	16.2	30.7	70.0	195.6	261.6	30	3.2	149.4	19.9	-	-
Julio	744	100.0	0.0	1352.8	27.5	5.7	19.3	44.7	84.1	250.7	515.8	31	3.6	164.8	27.5	2	-
Agosto	744	100.0	2.1	1004.5	29.7	6.3	23.8	51.4	121.1	291.5	516.1	31	3.4	128.7	29.7	1	-
Septiembre	720	100.0	0.0	862.9	24.0	4.9	13.7	35.1	102.3	291.6	404.2	30	2.9	85.0	24.0	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	1249.0	35.9	5.0	35.4	89.0	159.7	304.2	447.9	31	3.3	126.5	35.9	1	-
Noviembre	720	100.0	0.0	1807.2	25.3	4.4	19.3	54.4	97.7	193.6	367.9	30	3.0	177.6	25.3	1	-
Diciembre	744	100.0	0.0	957.3	22.4	6.9	14.6	40.2	90.0	183.0	246.5	31	6.0	96.7	22.4	-	-
Año	8760	100.0	0.0	2399.3	20.0	5.9	11.7	29.0	71.5	174.3	319.0	361	0.0	177.6	20.0	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, LA GREDA - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	671.7	21.0	7.5	10.6	28.0	79.0	235.6	322.1	31	5.8	149.0	21.0	-	-
Febrero	672	100.0	0.0	400.3	18.0	11.2	17.8	29.0	57.2	125.7	155.5	28	6.1	57.8	18.0	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	1126.7	27.6	12.9	21.4	44.8	83.9	188.5	292.8	31	4.7	154.4	27.6	1	-
Abril	720	100.0	0.0	461.2	21.5	6.6	19.1	47.1	95.3	172.8	238.2	30	4.1	82.2	21.5	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	660.2	26.6	10.3	22.1	58.5	118.3	217.6	309.5	31	4.1	156.5	26.6	-	-
Junio	720	100.0	0.0	567.7	26.3	9.8	25.2	60.4	127.8	224.4	299.2	30	0.0	133.5	26.3	-	-
Julio	744	100.0	0.0	1564.2	32.2	9.3	24.8	67.0	130.3	236.3	401.8	31	4.3	121.3	32.2	2	-
Agosto	744	100.0	0.0	1064.7	30.6	5.8	21.6	52.9	128.8	272.7	521.5	31	4.0	152.4	30.6	1	-
Septiembre	696	96.7	0.0	2692.7	24.7	5.3	13.6	29.5	68.2	134.2	263.5	29	4.0	283.2	24.7	1	-
Octubre	737	99.1	2.2	702.8	14.5	9.9	15.0	25.0	43.1	64.0	95.7	31	4.4	48.2	14.5	-	-
Noviembre	713	99.0	0.1	804.5	24.1	8.7	21.9	44.9	81.3	145.0	285.5	30	4.8	99.4	24.2	-	-
Diciembre	743	99.9	4.4	1040.6	23.7	8.5	21.9	44.4	85.4	166.8	244.2	31	5.9	80.1	23.7	1	-
Año	8721	99.6	0.0	2692.7	24.3	8.6	19.5	44.2	87.9	190.9	294.2	360	0.0	283.2	24.3	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, LA GREDA, 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	698	93.8	4.7	64.9	8.7	6.7	9.2	13.7	20.1	30.0	35.9	28	6.1	14.4	8.7	-	-
Febrero	695	99.9	8.0	1086.9	22.1	10.9	19.1	28.1	43.7	89.1	204.5	29	9.3	97.4	22.1	1	-
Marzo	742	99.7	7.5	381.9	20.8	9.9	20.9	36.3	69.3	124.4	182.5	31	8.3	41.9	20.8	-	-
Abril	715	99.3	1.5	497.0	21.4	9.5	19.5	35.0	63.7	154.8	258.3	30	7.4	105.3	21.3	-	-
Mayo	744	100.0	0.9	1275.1	24.7	3.3	23.2	48.1	102.5	193.5	407.0	31	1.4	181.4	24.7	1	-
Junio	717	99.6	1.0	258.8	10.8	2.0	7.7	32.1	55.2	98.6	130.6	30	1.4	46.0	10.8	-	-
Julio	725	97.4	0.9	1081.9	40.8	6.3	35.2	97.8	232.6	345.3	508.0	30	2.9	193.6	39.6	2	-
Agosto	738	99.2	1.0	1367.6	27.2	3.9	20.8	55.7	131.5	238.7	405.5	31	1.5	118.2	27.1	1	-
Septiembre	714	99.2	1.2	1328.8	19.5	2.6	11.5	33.5	75.3	184.1	323.9	30	1.6	96.9	19.4	1	-
Octubre	701	94.2	0.0	777.0	36.0	11.0	33.0	72.0	165.0	308.0	443.0	28	4.6	98.2	36.7	-	-
Noviembre	720	100.0	6.0	1380.0	31.7	10.0	23.0	48.0	103.1	261.1	435.8	30	9.3	113.8	31.7	2	-
Diciembre	741	99.6	7.0	1690.0	26.8	14.0	23.0	38.0	84.0	167.6	248.2	30	8.1	96.3	27.4	1	-
Año	8650	98.5	0.0	1690.0	24.2	8.3	20.0	42.0	89.0	204.0	329.5	358	1.4	193.6	24.2	-	-

So₂ - Red ENAMI – Ventanas, LOS MAITENES - 1997

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	10199.3	232.9	32.8	237.6	597.6	1041.2	1898.7	2874.7	31	15.4	1044.9	232.9	14	7
Febrero	672	100.0	0.0	3002.1	162.0	23.3	208.7	499.8	846.5	1308.1	1474.9	28	10.4	468.8	162.0	12	2
Marzo	744	100.0	0.0	3702.7	174.6	22.6	185.4	495.2	937.3	1610.0	2009.6	31	12.4	767.3	174.6	12	2
Abril	720	100.0	0.0	4635.9	193.4	46.6	268.3	590.3	851.9	1309.1	1628.8	30	19.5	719.9	193.4	13	3
Mayo	744	100.0	0.0	2801.7	91.8	11.9	126.5	246.1	419.4	670.3	927.0	31	2.8	227.7	91.8	6	-
Junio	720	100.0	0.0	2290.6	59.1	3.1	61.0	131.3	227.0	507.9	938.1	30	0.0	262.3	59.1	5	-
Julio	744	100.0	0.0	1823.0	140.2	42.5	224.3	361.6	566.7	1055.7	1294.5	31	4.7	451.0	140.2	11	1
Agosto	744	100.0	0.0	7454.3	200.5	22.8	230.4	522.5	998.3	1863.2	2217.1	31	0.9	1071.4	200.5	8	5
Septiembre	720	100.0	0.0	4302.8	106.3	5.0	59.3	180.8	591.6	1370.3	1751.6	30	2.6	760.4	106.3	8	3
Octubre	744	100.0	0.0	2918.8	82.7	5.4	47.3	147.2	452.6	1078.9	1504.0	31	2.4	327.9	82.7	9	-
Noviembre	720	100.0	0.0	3675.2	138.2	10.8	107.5	360.5	718.5	1439.3	1936.7	30	6.7	553.9	138.2	15	1
Diciembre	744	100.0	0.0	2769.1	99.0	10.1	51.1	231.2	618.6	1053.5	1320.0	31	4.9	416.7	99.0	12	1
Año	8760	100.0	0.0	10199.3	140.0	16.1	138.7	367.9	705.2	1314.4	1769.1	361.0	0.0	1071.4	140.0	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, LOS MAITENES - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	3106.8	123.2	15.5	100.3	267.4	737.8	1272.8	1746.3	31	10.6	282.1	123.2	16	-
Febrero	672	100.0	0.0	6977.7	114.6	14.5	67.9	203.3	487.3	1338.0	1817.2	28	9.1	482.4	114.6	9	2
Marzo	744	100.0	0.0	2941.3	96.0	13.7	73.9	246.1	489.6	936.0	1307.5	31	7.7	300.1	96.0	7	-
Abril	720	100.0	0.0	2927.3	72.1	16.8	65.6	166.0	291.4	644.5	1006.3	30	8.4	231.5	72.1	5	-
Mayo	744	100.0	0.0	2628.4	123.4	29.8	140.6	291.9	571.5	1025.0	1396.7	31	9.2	290.4	123.4	14	-
Junio	720	100.0	0.0	1889.4	84.3	26.0	113.3	188.1	338.9	576.0	814.5	30	9.5	301.0	84.3	5	-
Julio	744	100.0	0.0	2390.1	86.2	22.9	85.7	184.8	339.1	739.2	1117.7	31	8.0	308.3	86.2	6	-
Agosto	744	100.0	0.0	4106.7	78.1	15.0	64.8	151.0	326.1	599.8	943.1	31	9.5	313.5	78.1	7	-
Septiembre	720	100.0	0.0	3067.5	73.4	7.7	47.9	181.1	452.8	662.9	892.7	30	4.9	206.6	73.4	6	-
Octubre	744	100.0	0.0	3417.8	106.7	14.4	121.8	291.1	560.0	852.1	1188.7	31	8.3	359.3	106.7	6	-
Noviembre	720	100.0	0.0	1333.3	50.9	15.4	46.4	115.8	240.9	443.6	581.3	30	5.5	181.9	50.9	2	-
Diciembre	744	100.0	0.0	951.1	57.1	11.1	77.1	158.4	254.4	479.6	564.8	31	7.6	173.1	57.1	-	-
Año	8760	100.0	0.0	6977.7	88.8	16.5	82.8	204.7	409.1	815.2	1156.7	361.0	4.9	482.4	88.8	-	-

So₂ - Red ENAMI – Ventanas, LOS MAITENES - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	1444.1	50.9	10.8	53.2	155.5	250.2	413.7	478.5	31	5.8	143.3	50.9	1	-
Febrero	672	100.0	0.0	541.9	37.9	9.2	44.4	111.0	199.2	305.2	359.7	28	10.0	96.1	37.9	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	4883.1	63.3	12.0	52.5	145.8	257.1	491.7	727.6	31	6.0	424.0	63.3	3	1
Abril	720	100.0	0.0	1523.3	59.3	11.9	61.9	159.5	262.9	486.2	733.2	30	5.0	183.0	59.3	4	-
Mayo	744	100.0	0.0	1004.3	68.1	12.8	65.7	197.9	381.2	586.2	769.8	31	4.6	281.6	68.1	1	-
Junio	720	100.0	0.0	2455.5	62.5	15.0	65.2	161.5	281.1	513.6	681.0	30	0.0	227.6	62.5	4	-
Julio	744	100.0	0.0	899.2	43.9	14.4	45.2	103.5	191.0	327.8	430.0	31	7.5	168.0	43.9	-	-
Agosto	744	100.0	0.0	2120.3	42.5	12.5	40.3	98.6	203.9	326.6	438.1	31	7.5	177.4	42.5	1	-
Septiembre	696	96.7	0.0	856.2	22.4	8.3	21.7	45.6	86.6	140.5	194.4	29	7.3	53.1	22.4	-	-
Octubre	736	98.9	3.6	1149.3	34.7	8.1	26.0	68.1	164.6	319.7	445.6	31	5.4	109.9	34.5	1	-
Noviembre	719	99.9	5.4	1296.6	49.2	12.9	43.6	117.6	238.5	492.5	609.6	30	6.4	209.1	49.1	1	-
Diciembre	742	99.7	3.7	2043.0	85.6	11.5	88.6	226.1	416.7	919.9	1045.4	31	9.7	209.6	85.5	7	-
Año	8725	99.6	0.0	4883.1	51.9	11.7	47.6	127.2	241.9	441.6	625.2	360.0	0.0	424.0	51.9	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, LOS MAITENES - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	742	99.7	0.6	2384.7	34.1	4.0	21.7	68.6	115.9	272.2	502.9	31	3.8	212.0	34.0	2	-
Febrero	692	99.4	0.9	2799.5	59.2	8.0	40.6	134.5	292.0	558.5	898.5	29	3.3	210.8	59.5	5	-
Marzo	742	99.7	0.6	1742.7	73.1	12.7	72.3	212.0	387.0	620.6	747.3	31	10.4	232.6	73.0	4	-
Abril	710	98.6	0.5	1288.4	44.1	7.3	31.4	76.6	211.5	502.4	631.2	30	2.4	216.4	44.3	2	-
Mayo	744	100.0	2.6	2161.7	59.0	13.1	65.2	141.1	278.4	468.5	626.4	31	5.6	202.7	59.0	14	-
Junio	717	99.6	1.4	547.3	26.0	3.2	28.8	68.1	119.5	270.5	346.0	30	2.7	90.7	26.0	-	-
Julio	729	98.0	1.5	1238.7	70.9	19.2	80.2	208.5	360.5	540.4	691.0	30	3.0	193.9	72.3	1	-
Agosto	735	98.8	1.4	1106.0	52.9	11.6	64.4	135.0	245.2	512.4	649.7	30	1.6	165.1	51.3	2	-
Septiembre	715	99.3	1.1	1837.0	51.2	5.6	38.1	117.2	261.1	514.4	677.0	30	1.7	177.6	51.1	3	-
Octubre	741	99.6	5.0	956.0	68.6	27.0	71.0	149.0	308.0	553.8	678.2	31	6.4	128.3	68.5	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	2252.0	110.4	10.0	100.4	326.2	672.3	977.2	1385.5	30	2.3	307.6	110.4	8	-
Diciembre	742	99.7	1.0	3783.0	135.8	14.0	103.8	405.1	901.5	1304.3	1505.7	30	5.5	399.6	131.5	19	1
Año	8729	99.4	0.0	3783.0	65.6	10.5	55.4	150.1	338.1	656.0	906.2	363	1.6	399.6	65.0	50	1

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, PUCHUNCAVI - 1997

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	2084.6	138.6	27.2	171.1	447.2	770.2	1075.2	1225.0	31	4.7	667.8	138.6	11	2
Febrero	672	100.0	0.0	2962.5	129.8	18.8	142.9	403.0	743.5	1076.2	1283.2	28	2.2	335.4	129.8	13	-
Marzo	744	100.0	0.0	1952.3	124.8	22.7	151.5	385.8	680.9	1078.9	1213.9	31	3.1	500.7	124.8	10	1
Abril	720	100.0	0.0	1517.9	102.0	20.5	128.3	299.3	532.6	788.8	910.7	30	4.2	389.5	102.0	6	1
Mayo	744	100.0	0.0	1244.3	64.7	7.5	66.2	164.3	326.0	649.1	755.9	31	1.7	235.3	64.7	3	-
Junio	720	100.0	0.0	1659.3	58.9	9.9	39.9	129.8	376.1	552.0	735.4	30	5.5	216.8	58.9	2	1
Julio	744	100.0	0.0	1474.3	92.9	24.8	108.6	238.6	458.8	726.0	946.9	31	1.3	441.2	92.9	5	-
Agosto	744	100.0	0.0	1330.0	110.5	29.8	153.6	340.7	520.8	826.9	919.8	31	0.8	418.4	110.5	5	1
Septiembre	720	100.0	0.0	1243.1	85.7	7.0	92.3	270.1	537.1	808.0	951.9	30	0.3	296.9	85.7	2	-
Octubre	744	100.0	0.0	2605.8	103.6	12.4	112.8	311.1	569.8	892.7	1145.1	31	0.8	336.9	103.6	6	-
Noviembre	720	100.0	0.0	1670.9	98.0	17.9	121.2	271.7	511.7	864.9	1022.9	30	8.6	251.5	98.0	8	-
Diciembre	744	100.0	0.0	1403.7	70.2	5.1	61.8	255.7	413.2	604.5	868.2	31	0.5	199.5	70.2	4	-
Año	8760	100.0	0.0	2962.5	98.2	15.7	112.3	287.8	539.0	845.3	1074.6	361.0	0.3	667.8	98.2	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, PUCHUNCAVI - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	1245.8	53.1	12.8	55.2	160.6	254.9	464.0	628.9	31	0.0	154.9	53.1	2	-
Febrero	672	100.0	0.0	1034.7	37.3	8.6	34.1	75.4	181.7	317.8	563.7	28	0.1	170.4	37.3	1	-
Marzo	744	100.0	0.0	937.1	44.9	12.7	51.9	123.5	222.1	348.7	453.1	31	2.0	132.1	44.9	-	-
Abril	720	100.0	0.0	828.9	41.6	7.1	43.5	102.6	206.0	436.5	535.1	30	1.4	105.2	41.6	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	2124.9	69.8	17.3	72.1	178.9	306.2	543.0	839.9	31	7.3	262.9	69.8	4	-
Junio	720	100.0	0.0	1146.5	65.5	25.7	57.3	174.9	312.7	543.2	678.9	30	6.3	189.3	65.5	2	-
Julio	744	100.0	0.0	1691.2	66.7	18.8	67.2	171.5	296.8	521.3	695.2	31	4.1	210.8	66.7	4	-
Agosto	744	100.0	0.0	1238.3	62.1	17.1	75.1	168.0	278.8	483.1	663.5	31	0.0	149.3	62.1	2	-
Septiembre	720	100.0	0.0	930.2	66.5	22.5	86.4	179.2	306.7	485.4	595.4	30	7.5	151.9	66.5	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	731.2	65.5	37.8	80.9	140.8	230.4	342.5	446.5	31	8.7	131.7	65.5	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	268.7	27.9	13.3	35.7	78.0	127.4	173.5	190.0	30	0.3	95.9	27.9	-	-
Diciembre	744	100.0	0.0	484.0	25.8	7.5	29.7	70.9	114.3	163.1	197.2	31	6.2	84.8	25.8	-	-
Año	8760	100.0	0.0	2124.9	52.4	16.3	55.6	132.6	231.2	416.1	560.0	361.0	0.0	262.9	52.4	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, PUCHUNCAVI - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	446.0	24.9	6.8	22.5	59.8	125.4	202.7	276.3	31	2.9	76.9	24.9	-	-
Febrero	672	100.0	0.0	264.8	24.4	9.2	30.6	73.2	109.2	144.6	173.5	28	3.9	56.1	24.4	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	687.3	45.8	20.1	65.1	121.5	164.5	221.9	277.2	31	16.8	85.7	45.8	-	-
Abril	720	100.0	0.0	468.7	39.2	16.5	52.0	112.0	168.8	235.1	248.9	30	5.7	92.3	39.2	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	684.7	29.6	12.2	32.4	78.0	124.1	186.4	267.2	31	3.2	77.6	29.6	-	-
Junio	720	100.0	0.0	821.3	46.8	35.1	59.7	111.2	156.3	246.5	288.5	30	0.0	152.0	46.8	-	-
Julio	744	100.0	0.0	432.5	64.9	45.6	66.0	119.4	201.5	248.1	319.1	31	34.4	128.2	64.9	-	-
Agosto	744	100.0	0.0	568.7	38.9	24.3	40.3	71.6	139.9	229.4	284.4	31	8.6	91.3	38.9	-	-
Septiembre	696	96.7	0.0	338.5	20.7	14.0	24.0	39.5	69.2	105.2	133.2	29	4.3	54.1	20.7	-	-
Octubre	738	99.2	0.1	226.2	22.2	14.3	28.1	50.5	70.3	113.5	142.6	31	0.2	56.2	22.2	-	-
Noviembre	719	99.9	2.1	301.3	23.5	8.4	34.1	65.8	110.1	157.5	191.2	30	3.6	65.9	23.5	-	-
Diciembre	743	99.9	2.3	756.3	36.8	8.0	60.0	104.0	146.8	210.3	271.4	31	4.5	115.3	36.7	-	-
Año	8728	99.6	0.0	821.3	35.0	15.9	46.7	86.5	136.1	205.3	258.4	360	0.0	152.0	35.0	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, PUCHUNCAVI - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	742	99.7	1.7	389.2	18.5	3.8	20.5	53.4	88.1	136.5	155.1	31	3.8	69.8	18.4	-	-
Febrero	695	99.9	1.7	348.7	31.9	7.2	60.5	93.8	127.5	186.2	213.7	29	3.1	65.7	31.9	-	-
Marzo	743	99.9	1.9	351.5	36.7	13.5	51.8	107.3	173.1	229.0	268.0	31	9.9	90.1	36.7	-	-
Abril	714	99.2	2.2	413.5	43.5	27.3	53.0	105.2	158.9	201.2	226.2	29	6.2	86.8	44.6	-	-
Mayo	732	98.4	26.4	1413.9	69.9	37.4	80.9	149.9	211.4	324.4	450.0	30	32.4	171.8	66.7	1	-
Junio	717	99.6	1.5	607.5	29.9	10.3	53.3	66.0	99.7	144.4	186.9	30	2.2	89.4	29.8	-	-
Julio	728	97.8	0.0	512.5	35.3	14.3	37.9	89.9	164.9	265.0	360.9	30	0.4	96.7	35.4	-	-
Agosto	738	99.2	2.1	533.5	34.1	10.4	42.5	100.7	163.1	218.7	261.6	31	6.5	78.5	34.1	-	-
Septiembre	703	97.6	2.0	521.3	44.1	23.1	48.9	94.7	163.7	265.0	361.5	28	14.8	102.1	45.1	-	-
Octubre	741	99.6	23.0	1260.0	65.5	33.0	80.0	151.0	213.0	312.8	428.4	31	25.5	130.4	65.6	1	-
Noviembre	720	100.0	6.0	727.0	57.0	31.0	79.2	135.2	201.1	301.3	454.5	30	8.5	119.3	57.0	-	-
Diciembre	742	99.7	6.0	950.0	35.9	15.0	26.8	83.8	164.7	271.2	316.4	30	8.1	121.3	36.5	-	-
Año	8715	99.2	0.0	1413.9	41.9	22.5	52.6	104.0	166.9	244.1	312.9	360	0.4	171.8	41.8	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, SUR - 1997

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	4868.4	130.6	11.8	113.0	349.9	709.4	1224.8	1826.4	31	4.4	669.6	130.6	12	2
Febrero	672	100.0	0.0	4186.6	120.5	14.5	133.9	359.2	574.4	954.5	1402.4	28	6.1	376.8	120.5	10	1
Marzo	744	100.0	0.0	4408.9	159.2	17.8	169.9	452.7	848.2	1419.9	1695.8	31	10.1	685.5	159.2	12	4
Abril	720	100.0	0.0	3367.9	180.6	42.9	247.3	570.9	797.4	1154.5	1780.6	30	12.4	579.6	180.6	8	4
Mayo	744	100.0	0.0	3403.0	143.8	36.7	209.6	388.2	614.6	977.4	1188.7	31	7.9	432.2	143.8	9	2
Junio	720	100.0	0.0	1868.7	112.3	21.7	175.6	311.4	456.5	824.3	1093.1	30	5.8	385.1	112.3	6	1
Julio	744	100.0	0.0	3390.3	191.5	66.8	285.4	475.8	747.9	1304.9	1561.0	31	30.7	713.7	191.5	8	4
Agosto	744	100.0	0.0	6091.2	228.3	45.6	340.5	589.7	887.1	1648.4	2446.0	31	16.9	1165.7	228.3	11	6
Septiembre	720	100.0	0.0	3064.3	119.9	32.7	146.2	324.3	631.8	924.1	1176.5	30	6.8	464.0	119.9	6	1
Octubre	744	100.0	0.0	1740.5	46.5	7.3	35.9	88.6	200.1	472.2	827.4	31	0.9	129.7	46.5	4	-
Noviembre	720	100.0	0.0	2175.2	59.1	3.3	42.8	154.6	312.1	612.9	925.8	30	1.2	235.1	59.1	5	-
Diciembre	744	100.0	0.0	1890.7	62.2	12.9	54.1	139.9	270.2	640.8	843.1	31	3.8	200.7	62.2	3	-
Año	8760	100.0	0.0	6091.2	129.7	20.0	154.2	363.8	644.7	1040.7	1456.4	361	0.9	1165.7	129.7	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, SUR - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	2008.1	63.2	5.7	51.2	143.6	290.7	645.8	1129.6	31	1.9	263.6	63.2	7	-
Febrero	672	100.0	0.0	5509.8	34.8	3.4	17.2	58.7	131.1	257.5	322.2	28	2.8	376.5	34.8	1	1
Marzo	744	100.0	0.0	9047.9	99.9	9.2	66.3	173.6	417.4	930.9	1786.2	31	9.3	830.5	99.9	6	1
Abril	720	100.0	0.0	2410.9	74.6	8.2	83.7	189.2	358.5	648.8	1012.2	30	2.1	281.0	74.6	6	-
Mayo	744	100.0	0.0	1619.0	126.5	32.1	168.9	383.5	639.2	873.3	1163.7	31	3.7	432.2	126.5	8	1
Junio	720	100.0	0.0	1526.7	120.4	43.8	157.3	301.7	542.8	805.4	1156.5	30	16.5	466.0	120.4	6	1
Julio	744	100.0	0.0	5862.0	123.2	30.5	128.6	288.4	466.1	854.4	1347.1	31	11.6	649.3	123.2	7	1
Agosto	744	100.0	2.4	3731.8	85.3	17.0	93.4	211.5	313.1	511.7	815.4	31	10.2	332.1	85.3	4	-
Septiembre	720	100.0	0.0	1968.0	60.6	7.7	72.9	170.5	285.7	484.8	759.7	30	3.7	199.0	60.6	2	-
Octubre	744	100.0	0.0	992.6	60.4	16.2	69.3	149.6	277.4	513.5	696.7	31	8.9	157.9	60.4	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	1671.8	27.4	8.9	29.7	63.2	115.5	212.1	263.5	30	0.7	99.5	27.4	1	-
Diciembre	744	100.0	0.0	565.6	35.3	20.1	40.1	70.6	107.3	153.4	240.1	31	16.0	119.9	35.3	-	-
Año	8760	100.0	0.0	9047.9	76.4	16.7	80.9	174.7	332.2	643.0	938.1	361	0.7	830.5	76.4	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, SUR - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	610.7	36.1	20.6	32.8	61.6	95.8	233.1	313.1	31	18.5	109.6	36.1	-	-
Febrero	672	100.0	0.0	479.4	29.1	19.6	34.0	58.0	87.1	144.1	215.7	28	6.2	67.5	29.1	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	682.4	46.1	25.4	52.4	93.3	140.6	253.5	384.7	31	7.8	104.2	46.1	-	-
Abril	720	100.0	0.0	886.0	55.4	19.1	71.4	158.0	226.6	395.0	501.1	30	8.5	141.9	55.4	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	1817.2	72.7	17.3	87.9	180.0	300.8	556.3	769.7	31	5.9	277.9	72.7	4	-
Junio	720	100.0	0.0	850.3	49.1	10.2	79.9	144.9	213.4	327.8	405.7	30	0.0	157.7	49.1	-	-
Julio	744	100.0	0.0	1587.7	60.8	15.6	80.7	147.7	261.2	414.6	621.8	31	4.4	183.5	60.8	3	-
Agosto	744	100.0	0.0	449.1	40.7	10.4	67.5	127.7	174.9	239.4	310.0	31	5.2	98.2	40.7	-	-
Septiembre	696	96.7	0.0	395.8	23.7	4.8	35.0	72.5	116.3	153.1	204.6	29	2.2	82.2	23.7	-	-
Octubre	736	98.9	0.4	316.7	17.9	3.9	19.8	42.9	88.4	138.3	218.7	31	2.5	57.8	18.0	-	-
Noviembre	714	99.2	1.1	1034.5	25.5	3.8	25.3	55.9	105.0	220.5	285.9	30	2.4	109.2	25.5	2	-
Diciembre	738	99.2	1.2	789.1	35.4	10.2	27.9	89.6	165.1	311.3	477.9	31	6.4	140.2	35.5	-	-
Año	8716	99.5	0.0	1817.2	41.3	16.6	47.7	101.4	173.4	289.8	413.9	360	0.0	277.9	41.2	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, SUR - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	740	99.5	3.0	819.4	20.9	6.7	16.0	33.1	83.5	162.7	239.6	31	5.6	82.7	20.9	1	-
Febrero	695	99.9	2.2	2111.5	36.4	8.9	35.7	75.4	158.5	300.8	357.1	29	5.5	159.9	36.4	-	-
Marzo	727	97.7	2.1	2097.0	49.8	11.6	58.4	104.5	199.9	367.3	571.7	29	9.3	196.7	50.6	2	-
Abril	713	99.0	1.3	3205.4	66.4	16.5	78.2	175.7	311.2	462.3	575.6	30	10.1	332.5	67.2	1	-
Mayo	744	100.0	8.1	893.9	72.3	26.4	102.8	187.1	309.9	453.0	541.8	31	15.9	207.9	72.3	-	-
Junio	717	99.6	7.0	1103.0	62.6	19.8	94.5	159.4	240.4	375.8	521.5	30	12.0	250.8	62.5	1	-
Julio	731	98.3	6.1	1079.5	87.2	33.5	132.3	221.2	341.9	479.6	649.1	30	9.9	293.9	88.7	2	-
Agosto	742	99.7	4.0	1155.2	69.9	22.3	98.8	175.6	283.7	437.9	576.0	31	9.7	202.7	69.7	1	-
Septiembre	700	97.2	4.2	825.8	58.6	19.4	72.4	135.1	274.0	455.6	503.8	29	11.3	219.3	59.2	-	-
Octubre	724	97.3	1.0	1707.0	66.4	34.0	63.0	114.7	228.0	475.6	605.8	29	22.8	232.2	67.6	1	-
Noviembre	715	99.3	0.0	2142.0	72.1	24.0	72.4	159.4	298.1	640.0	812.8	30	13.2	273.4	72.6	4	-
Diciembre	742	99.7	13.0	1679.0	88.6	32.0	89.0	208.9	350.0	644.0	943.8	30	26.8	208.6	90.5	5	-
Año	8690	98.9	0.0	3205.4	62.7	23.0	74.1	151.2	259.5	445.2	605.1	359	5.5	332.5	63.2	-	-

SO₂ -Red ENAMI – Ventanas, V. ALEGRE - 1997

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		
Enero	744	100.0	0.0	1912.0	89.0	9.5	65.3	246.9	536.4	908.6	1113.6	31	4.9	278.4	89.0	8	-
Febrero	672	100.0	0.0	3280.0	109.8	11.9	117.7	324.4	567.2	816.0	1065.7	28	9.1	305.2	109.8	5	-
Marzo	744	100.0	0.0	2472.1	110.9	9.4	104.6	366.3	668.8	968.9	1339.8	31	4.9	294.9	110.9	11	-
Abril	720	100.0	0.0	1582.5	102.7	14.5	131.1	329.8	544.5	801.1	1044.8	30	5.0	286.4	102.7	8	-
Mayo	744	100.0	0.0	1036.0	49.8	2.7	19.6	131.2	381.9	569.7	741.1	31	0.0	199.4	49.8	1	-
Junio	720	100.0	0.0	1931.2	41.1	2.1	14.0	79.3	226.0	574.7	735.8	30	0.5	285.1	41.1	2	-
Julio	744	100.0	0.0	2205.5	95.5	14.9	74.2	253.4	525.4	888.7	1313.6	31	3.9	296.9	95.5	6	-
Agosto	744	100.0	0.0	1973.5	88.8	13.2	80.9	236.0	453.7	940.3	1125.5	31	3.8	439.0	88.8	5	2
Septiembre	720	100.0	0.0	2834.6	47.3	8.3	37.9	91.3	229.7	357.4	529.0	30	6.9	192.2	47.3	2	-
Octubre	744	100.0	0.0	1543.5	38.8	12.1	34.4	62.5	151.4	350.7	482.0	31	3.1	155.3	38.8	1	-
Noviembre	720	100.0	1.3	1641.1	47.7	6.5	21.1	72.7	272.6	546.1	788.1	30	3.8	151.0	47.7	5	-
Diciembre	744	100.0	0.0	2327.0	70.5	7.3	38.4	158.0	403.1	653.7	1153.7	31	4.3	272.6	70.5	5	-
Año	8760	100.0	0.0	3280.0	74.2	8.4	52.9	201.0	419.7	755.2	1010.1	361	0.0	439.0	74.2	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, V. ALEGRE - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores h1998orarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	1647.3	66.3	10.6	67.7	196.0	366.0	596.2	693.1	31	9.6	166.4	66.3	-	-
Febrero	672	100.0	0.0	971.0	29.9	9.3	20.6	49.3	124.1	322.5	422.7	28	4.1	115.7	29.9	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	1454.2	32.0	5.2	22.1	79.9	151.7	296.3	480.3	31	3.6	149.1	32.0	-	-
Abril	720	100.0	0.0	1169.5	31.2	2.0	14.8	84.2	188.0	316.3	430.4	30	1.8	125.7	31.2	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	1454.8	36.8	3.1	33.6	99.6	211.3	389.1	451.0	31	1.2	124.6	36.8	-	-
Junio	720	100.0	0.0	1310.4	46.4	5.6	28.9	100.8	264.1	549.1	695.6	30	2.9	167.1	46.4	-	-
Julio	744	100.0	0.0	2767.6	55.1	13.3	37.1	110.6	217.8	560.4	862.1	31	2.3	450.4	55.1	-	-
Agosto	744	100.0	0.0	1698.3	25.9	1.9	14.1	62.0	123.5	280.4	463.8	31	1.2	163.8	25.9	-	-
Septiembre	720	100.0	0.0	1003.8	27.5	9.7	16.5	55.2	137.6	256.9	468.0	30	0.0	89.4	27.5	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	1314.4	58.8	24.9	57.3	133.2	220.8	384.2	571.6	31	10.1	207.6	58.8	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	960.1	43.7	27.4	43.3	78.5	119.8	200.5	243.9	30	24.5	117.8	43.7	-	-
Diciembre	744	100.0	0.0	609.4	42.8	24.0	55.7	85.1	127.9	223.1	282.2	31	18.8	119.9	42.8	-	-
Año	8760	100.0	0.0	2767.6	41.5	11.9	35.5	91.9	188.8	369.5	547.4	361.0	0.0	450.4	41.5	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, V. ALEGRE - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	308.8	28.2	16.2	33.1	69.7	93.3	132.2	160.6	31	11.3	54.8	28.2	-	-
Febrero	672	100.0	0.0	290.5	19.2	12.2	20.8	42.7	68.5	112.0	137.3	28	5.4	41.4	19.2	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	414.9	16.4	7.3	11.1	28.4	58.6	124.8	223.8	31	4.3	59.0	16.4	-	-
Abril	720	100.0	0.0	450.2	22.1	4.1	11.9	56.7	123.4	219.5	286.2	30	2.8	79.0	22.1	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	918.2	30.9	7.1	28.7	72.2	153.7	284.7	356.5	31	5.9	139.5	30.9	-	-
Junio	720	100.0	0.0	946.8	20.3	6.7	21.5	50.2	97.6	157.7	183.7	30	0.0	103.0	20.3	-	-
Julio	744	100.0	0.0	772.3	23.5	10.9	22.7	49.3	96.3	153.2	212.9	31	4.5	85.5	23.5	-	-
Agosto	744	100.0	0.0	484.1	20.6	8.8	16.9	41.0	85.6	147.8	201.9	31	4.9	61.9	20.6	-	-
Septiembre	696	96.7	0.0	347.3	14.4	7.6	11.1	22.6	45.0	88.2	153.4	29	6.6	36.8	14.4	-	-
Octubre	732	98.4	2.9	255.6	15.6	7.5	22.2	29.9	46.7	80.5	125.5	31	6.6	37.2	15.6	-	-
Noviembre	710	98.6	0.4	346.1	10.4	3.6	7.1	23.7	50.2	86.8	128.4	30	1.2	41.0	10.4	-	-
Diciembre	743	99.9	0.7	344.6	15.5	2.9	10.5	35.6	74.6	178.7	226.7	31	1.6	64.5	15.5	-	-
Año	8713	99.5	0.0	946.8	19.8	8.0	19.2	42.5	82.1	151.2	218.0	360	0.0	139.5	19.8	-	-

SO₂ - Red ENAMI – Ventanas, V. ALEGRE - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	742	99.7	1.1	484.5	9.2	3.5	7.1	16.5	34.3	56.6	109.7	31	2.8	34.3	9.2	-	-
Febrero	684	98.3	0.2	308.7	9.9	3.6	7.2	21.6	48.3	81.8	124.1	28	0.7	29.0	9.6	-	-
Marzo	741	99.6	0.7	444.9	19.9	4.5	13.1	48.5	104.8	192.1	274.2	31	1.5	111.9	20.0	-	-
Abril	687	95.4	0.2	598.0	31.7	20.2	27.7	59.6	117.0	238.1	322.8	28	3.8	91.9	32.6	-	-
Mayo	743	99.9	13.6	446.2	36.0	22.2	34.7	57.7	99.3	170.2	275.8	31	17.5	93.9	36.0	-	-
Junio	712	98.9	0.0	626.8	22.1	16.6	25.9	34.9	58.0	136.7	183.2	30	3.2	77.6	21.9	-	-
Julio	729	98.0	2.6	252.2	15.9	7.7	14.6	29.3	62.5	110.8	150.9	30	3.7	49.2	15.9	-	-
Agosto	726	97.6	4.2	366.8	18.0	12.6	18.7	35.9	54.7	90.2	127.2	30	5.7	67.2	18.1	-	-
Septiembre	695	96.5	1.6	262.9	13.3	6.0	13.1	23.6	42.4	96.5	133.5	29	4.2	41.4	13.4	-	-
Octubre	741	99.6	0.0	162.0	19.8	14.0	20.0	30.0	52.0	81.6	100.6	31	7.8	40.4	19.8	-	-
Noviembre	714	99.2	0.0	231.0	18.1	7.0	21.0	44.0	81.1	129.7	160.4	30	0.5	57.0	18.1	-	-
Diciembre	741	99.6	12.0	267.0	29.8	20.0	31.0	55.0	82.0	120.4	156.8	30	19.3	60.7	29.9	-	-
Año	8655	98.5	0.0	626.8	20.4	12.2	22.5	38.0	69.3	128.2	178.2	359.0	0.5	111.9	20.4	-	-

SO₂ - Red Chagres, LO CAMPO - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	683	91.8	0.2	407.0	34.7	14.5	52.1	84.7	135.5	205.4	243.9	29	12.4	60.0	34.7	-	-
Febrero	688	98.9	0.0	642.6	34.6	14.0	43.2	83.7	133.9	206.7	265.8	29	5.0	80.7	34.6	-	-
Marzo	683	91.8	0.0	452.9	33.9	16.4	47.3	85.2	126.3	180.1	243.6	29	8.6	69.3	33.9	-	-
Abril	711	98.8	0.0	496.2	35.7	15.5	47.9	85.6	147.5	223.7	254.7	30	5.3	73.3	35.7	-	-
Mayo	738	99.2	0.0	413.4	28.0	11.6	37.6	67.2	124.0	188.5	251.7	31	5.2	67.4	28.0	-	-
Junio	707	98.2	0.0	224.5	15.6	6.1	17.9	39.8	76.9	109.4	148.4	30	0.5	62.0	15.5	-	-
Julio	738	99.2	0.6	511.8	33.3	9.6	48.1	91.9	139.4	216.2	282.2	31	3.2	115.0	33.2	-	-
Agosto	739	99.3	0.0	362.2	33.2	11.9	48.3	87.1	150.0	204.9	253.3	31	5.7	107.8	33.2	-	-
Septiembre	715	99.3	0.0	467.5	36.6	14.2	51.8	95.3	153.2	239.4	269.0	30	2.2	70.7	36.6	-	-
Octubre	735	98.8	0.0	511.3	38.2	10.8	53.0	111.3	171.3	273.4	311.9	31	4.3	127.4	38.1	-	-
Noviembre	716	99.4	0.0	421.0	35.9	14.2	51.1	91.8	152.6	221.6	280.8	30	2.1	86.0	36.0	-	-
Diciembre	712	95.7	0.0	525.6	41.5	17.7	66.2	113.1	155.1	213.3	260.2	29	12.6	66.6	40.3	-	-
Año	8565	97.5	0.0	642.6	33.4	13.1	47.0	88.7	140.8	214.4	265.3	360	0.5	127.4	33.3	-	-

SO₂ - Red Chagres, LO CAMPO - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	713	95.8	2.5	291.9	29.6	15.2	36.2	65.0	105.9	159.4	211.4	30	10.0	67.1	29.6	-	-
Febrero	661	98.4	2.7	478.1	40.7	20.8	57.9	103.9	146.0	190.3	212.1	28	10.4	65.0	40.8	-	-
Marzo	730	98.1	2.9	344.4	35.2	19.1	45.4	83.6	130.1	183.8	206.6	31	14.1	54.1	35.2	-	-
Abril	657	91.3	2.1	401.3	39.7	20.1	48.5	107.5	164.9	208.7	280.6	29	11.4	90.4	39.7	-	-
Mayo	717	96.4	2.2	474.2	43.3	25.5	56.4	103.8	151.0	228.2	282.1	30	4.9	81.0	43.3	-	-
Junio	685	95.1	2.6	252.2	28.3	16.0	37.5	66.5	99.2	144.9	173.8	27	5.3	58.1	28.9	-	-
Julio	736	98.9	2.5	385.6	37.0	19.8	51.2	80.9	134.9	194.5	275.7	31	6.7	98.1	37.0	-	-
Agosto	738	99.2	2.5	371.8	27.5	13.6	37.1	61.6	95.6	164.5	213.1	31	4.2	105.7	27.5	-	-
Septiembre	699	97.1	2.6	365.4	36.4	17.8	54.5	95.1	126.5	209.6	246.9	30	6.9	93.4	36.4	-	-
Octubre	642	86.3	1.8	441.6	37.4	15.9	52.5	103.1	141.7	210.0	243.6	27	12.3	79.3	36.9	-	-
Noviembre	675	93.8	1.5	440.9	35.4	15.5	49.7	93.5	129.9	178.3	229.5	28	8.3	72.1	35.0	-	-
Diciembre	728	97.8	0.0	365.1	34.5	16.1	47.2	98.8	143.0	179.0	218.7	31	6.3	61.4	34.5	-	-
Año	8381	95.7	0.0	478.1	35.3	17.9	47.8	87.0	131.5	188.5	235.2	349.0	4.2	105.7	35.4	-	-

SO₂ - Red Chagres, ROMERAL - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	703	94.5	0.0	338.6	11.2	5.3	13.3	23.3	38.2	61.7	96.4	30	3.2	24.3	11.2	-	-
Febrero	688	98.9	0.0	391.0	13.7	7.7	18.2	28.7	42.4	72.0	101.0	29	5.7	29.6	13.7	-	-
Marzo	713	95.8	0.0	332.6	19.6	12.6	24.3	38.7	60.0	94.9	142.1	30	7.2	44.5	19.6	-	-
Abril	712	98.9	1.4	269.5	21.4	14.3	29.7	44.6	62.3	94.5	124.3	30	4.9	37.3	21.3	-	-
Mayo	739	99.3	0.0	307.0	21.4	11.3	26.7	44.5	75.6	130.1	165.3	31	2.6	50.4	21.4	-	-
Junio	709	98.5	0.0	249.1	20.2	11.2	30.8	43.8	67.3	104.9	160.5	30	3.5	51.3	20.2	-	-
Julio	736	98.9	0.0	191.0	20.9	12.7	34.5	46.4	61.7	96.2	125.2	31	2.5	42.6	20.9	-	-
Agosto	735	98.8	0.0	322.0	19.1	8.9	25.6	40.7	72.9	129.5	147.7	31	1.2	53.0	19.0	-	-
Septiembre	690	95.8	0.0	216.6	17.7	9.5	24.7	38.0	69.6	105.9	135.3	29	4.5	46.9	17.6	-	-
Octubre	736	98.9	0.0	527.0	15.3	5.8	15.4	30.4	66.1	121.0	190.3	31	1.2	62.1	15.4	-	-
Noviembre	712	98.9	0.0	331.1	14.3	6.5	16.8	28.4	45.7	93.3	166.5	30	2.1	33.5	14.3	-	-
Diciembre	739	99.3	0.0	301.2	16.7	9.8	23.8	36.1	52.5	85.4	103.5	30	5.9	33.5	17.0	-	-
Año	8612	98.0	0.0	527.0	17.7	9.3	24.0	38.3	59.6	101.8	138.7	362.0	1.2	62.1	17.7	-	-

SO₂ - Red Chagres, STA. MARGARITA - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	733	98.5	12.2	397.6	79.7	50.8	138.3	188.9	245.4	293.4	317.5	31	31.6	132.0	79.6	-	-
Febrero	651	96.9	1.9	526.3	93.1	52.5	158.9	210.2	279.6	334.1	408.6	27	54.4	161.3	92.8	-	-
Marzo	734	98.7	1.3	521.3	65.1	25.2	120.8	189.2	245.1	313.3	356.0	31	16.6	123.8	65.2	-	-
Abril	702	97.5	1.5	575.2	68.0	22.3	118.3	209.7	284.3	341.2	422.2	30	10.5	134.5	68.1	-	-
Mayo	734	98.7	1.5	588.5	64.1	23.8	89.3	191.8	279.4	402.5	466.0	31	4.8	145.8	64.0	1	-
Junio	701	97.4	1.3	489.0	34.6	15.5	47.2	86.0	126.5	220.5	251.4	29	5.2	108.7	34.5	-	-
Julio	737	99.1	2.4	465.7	46.2	24.9	62.3	110.2	161.4	242.1	284.3	31	4.1	106.3	46.2	-	-
Agosto	739	99.3	2.4	513.2	58.5	26.2	93.1	156.3	241.9	305.0	342.0	31	7.4	120.1	58.5	-	-
Septiembre	707	98.2	2.2	514.4	51.5	22.8	78.3	128.8	198.6	293.4	354.4	30	6.3	99.7	51.4	-	-
Octubre	645	86.7	3.7	711.3	75.5	29.9	129.2	204.2	274.5	359.6	441.8	27	32.0	166.0	76.3	1	-
Noviembre	682	94.7	1.6	595.2	89.7	40.6	162.0	254.6	306.0	387.4	441.0	28	17.1	179.7	89.0	-	-
Diciembre	731	98.3	3.0	520.0	89.3	49.5	159.1	229.7	290.8	358.5	415.9	31	29.5	165.5	89.9	-	-
Año	8496	97.0	1.3	711.3	67.6	29.3	115.3	189.1	257.3	332.3	394.5	353.0	4.1	179.7	67.7	-	-

SO₂ - Red Chagres, STA. MARGARITA - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	705	94.8	0.7	583.0	86.3	38.3	165.3	237.3	309.7	350.2	396.4	30	18.3	138.8	86.6	-	-
Febrero	688	102.4	0.7	566.3	85.1	33.1	159.6	252.2	306.8	395.6	450.7	29	14.3	181.1	84.7	-	-
Marzo	710	95.4	1.0	677.2	84.1	30.5	160.0	256.5	304.9	367.2	428.8	30	7.2	147.4	83.7	-	-
Abril	711	98.8	1.0	560.2	75.9	25.9	121.0	247.3	320.7	418.8	475.5	30	10.5	162.8	76.1	-	-
Mayo	737	99.1	2.6	1138.1	68.7	22.2	104.7	221.8	301.1	438.6	490.7	31	6.6	162.9	68.6	1	-
Junio	706	98.1	0.1	623.9	41.3	15.0	60.0	117.3	185.4	259.1	312.4	30	1.6	95.5	41.1	-	-
Julio	740	99.5	0.9	653.0	45.1	15.4	56.1	129.8	199.6	299.1	334.0	31	4.1	137.4	45.2	-	-
Agosto	739	99.3	0.9	524.8	55.8	22.0	77.8	146.0	234.0	333.4	396.1	31	6.8	182.2	55.7	-	-
Septiembre	714	99.2	0.8	572.2	77.8	35.2	130.7	227.3	304.8	406.8	443.6	30	11.9	125.8	77.7	-	-
Octubre	734	98.7	2.5	1034.8	81.7	26.8	143.9	242.5	321.2	415.1	496.5	31	12.6	210.1	81.8	1	-
Noviembre	713	99.0	2.2	724.3	87.2	35.5	163.2	246.2	324.4	421.8	439.5	30	10.1	145.8	87.2	-	-
Diciembre	737	99.1	0.7	925.4	86.1	33.4	167.0	246.2	302.0	374.0	402.3	30	50.3	173.8	86.8	-	-
Año	8634	98.3	0.1	1138.1	72.8	26.2	125.2	223.9	296.8	380.5	441.2	363	1.6	210.1	72.8	2	-

SO₂ - Red Chagres, Catemu - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	706	94.9	0.0	444.1	12.6	5.4	12.6	21.6	43.4	93.5	129.7	30	2.4	42.3	12.6	-	-
Febrero	664	98.8	0.0	585.5	12.2	6.2	13.9	20.5	35.2	82.3	131.6	28	4.5	42.5	12.1	-	-
Marzo	709	95.3	0.0	221.7	16.8	10.0	21.0	33.5	60.1	92.4	127.7	30	4.4	37.4	16.7	-	-
Abril	709	98.5	0.0	557.0	21.8	13.8	25.6	39.0	65.7	115.8	184.3	30	6.7	97.2	21.8	-	-
Mayo	729	98.0	0.2	468.3	18.6	10.1	24.4	40.1	61.3	92.9	140.6	31	7.5	53.2	18.6	-	-
Junio	707	98.2	0.0	259.1	16.1	6.9	25.8	41.4	59.3	88.3	111.8	30	2.5	45.4	16.0	-	-
Julio	740	99.5	0.0	101.0	14.1	7.3	23.2	37.2	47.6	71.7	81.9	31	2.3	34.1	14.1	-	-
Agosto	737	99.1	0.8	410.7	18.6	10.5	25.9	39.8	61.0	96.0	109.7	31	3.7	71.0	18.6	-	-
Septiembre	715	99.3	0.1	290.3	19.5	9.4	24.9	43.2	77.0	123.0	152.9	30	2.6	52.3	19.4	-	-
Octubre	734	98.7	0.0	299.9	13.6	6.6	14.7	26.6	51.3	108.7	140.2	31	1.2	58.1	13.6	-	-
Noviembre	714	99.2	0.0	295.3	15.7	8.7	18.3	29.4	51.2	88.7	155.0	30	5.4	31.1	15.7	-	-
Diciembre	739	99.3	0.0	334.8	18.4	10.8	22.5	36.1	54.9	98.5	146.0	30	5.0	35.5	18.7	-	-
Año	8603	97.9	0.0	585.5	16.5	8.5	21.1	35.7	56.5	95.7	138.7	362.0	1.2	97.2	16.5	-	-

SO₂ - Red Melón, HIJUELAS - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																	
Febrero																	
Marzo																	
Abril																	
Mayo																	
Junio	720	100.0	0.0	133.3	7.5	0.0	14.1	28.1	39.8	59.5	67.5	30	0.0	22.8	7.5	-	-
Julio	697	93.7	0.0	127.1	8.5	5.5	8.6	28.0	36.9	62.4	66.2	27	0.0	23.3	8.2	-	-
Agosto	729	98.0	0.0	381.8	8.3	5.6	8.4	17.3	33.6	46.1	56.8	30	2.6	37.5	8.3	-	-
Septiembre	718	99.7	0.0	116.4	3.1	0.0	0.0	14.1	22.8	30.4	37.9	30	0.0	15.3	3.1	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	119.4	3.3	0.0	0.0	13.3	22.7	32.2	38.1	31	0.0	17.1	3.3	-	-
Noviembre	719	99.9	0.0	533.5	8.7	5.6	8.7	17.3	31.9	46.2	60.7	30	0.6	37.4	8.7	-	-
Diciembre	689	92.6	0.0	107.5	2.8	0.0	0.0	8.5	18.2	30.3	43.0	28	0.0	7.9	2.7	-	-
Año	7151	81.6	0.0	533.5	9.8	0.0	13.1	28.8	47.1	74.1	96.8	293	0.0	75.1	9.7	-	-

SO₂ - Red Melón, HIJUELAS - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	689	92.6	0.0	135.4	9.3	0.0	17.3	24.0	43.3	70.5	89.7	28	0.0	28.7	9.5	-	-
Febrero	642	92.2	0.0	171.0	21.5	11.4	32.4	63.2	84.3	119.5	132.3	26	4.2	36.6	21.9	-	-
Marzo	696	93.5	0.0	450.0	22.4	5.6	35.3	66.5	100.0	144.6	191.0	29	0.0	59.9	22.4	-	-
Abril	720	100.0	0.0	164.0	12.2	0.0	25.4	39.6	56.9	76.8	89.3	30	0.5	27.4	12.2	-	-
Mayo	722	97.0	0.0	248.6	16.0	4.4	23.8	44.7	60.6	103.7	113.3	29	3.7	45.8	16.3	-	-
Junio	719	99.9	2.6	148.4	14.7	6.0	22.0	41.3	55.2	75.2	101.3	30	3.8	41.5	14.7	-	-
Julio	726	97.6	2.6	162.2	20.4	10.5	34.0	57.6	73.3	94.2	121.7	30	3.1	41.6	19.9	-	-
Agosto	742	99.7	0.0	136.1	16.2	10.5	23.5	39.2	54.9	75.9	87.9	31	3.1	39.4	16.2	-	-
Septiembre	719	99.9	0.0	225.8	14.1	8.3	19.7	35.2	48.1	63.7	75.9	30	2.0	31.9	14.1	-	-
Octubre	741	99.6	0.0	118.3	21.2	19.6	27.0	41.9	56.8	78.7	87.9	31	1.3	40.1	21.2	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	198.9	14.5	5.2	23.5	39.2	60.2	93.2	107.3	30	3.2	30.3	14.5	-	-
Diciembre	736	98.9	0.0	193.6	16.4	5.2	26.2	47.1	66.1	95.0	122.8	30	4.3	48.2	16.8	-	-
Año	8572	97.6	0.0	450.0	16.6	7.8	25.5	44.7	62.8	91.6	115.1	354	0.0	59.9	16.6	-	-

SO₂ - Red Melón, LA CALERA - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio	719	99.9	0.0	215.1	6.4	0.0	11.2	22.6	25.2	40.3	112.7	30	0.0	35.9	6.4	-	-
Julio	695	93.4	0.0	58.1	7.3	0.0	11.5	32.7	38.9	39.6	39.8	28	0.0	38.2	7.5	-	-
Agosto	720	96.8	0.0	586.1	18.1	13.7	30.6	38.8	39.2	39.8	42.6	30	9.2	35.5	18.1	-	-
Septiembre	719	99.9	0.0	145.4	19.7	14.0	25.4	39.4	59.3	85.1	116.1	30	9.0	35.8	19.7	-	-
Octubre	733	98.5	0.0	143.1	20.9	14.0	28.8	43.2	65.4	92.2	116.0	30	9.1	45.7	21.1	-	-
Noviembre	706	98.1	0.0	598.3	17.8	11.6	17.3	31.7	40.9	71.6	97.1	29	0.7	51.7	17.8	-	-
Diciembre	665	89.4	0.0	307.6	19.0	0.0	31.1	57.8	99.7	145.2	173.9	27	0.5	67.3	19.0	-	-
Año	7113	81.2	0.0	598.3	17.4	11.2	24.0	39.4	62.2	107.8	135.0	290.0	0.0	92.4	17.4	-	-

SO₂ - Red Melón, LA CALERA - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	594.4	29.1	11.5	44.3	85.9	126.7	182.8	223.7	31	3.8	70.9	29.1	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	748.5	55.2	11.5	91.2	175.3	244.4	377.5	447.0	29	0.2	119.4	55.2	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	631.3	57.0	8.6	90.5	174.2	298.8	431.7	504.2	31	3.0	144.6	57.0	-	-
Abril	720	100.0	0.0	149.0	12.5	0.0	25.5	48.4	68.0	107.5	120.0	30	0.0	27.1	12.5	-	-
Mayo	714	96.0	0.0	202.3	16.2	7.5	26.3	47.5	62.5	79.3	109.4	29	0.0	39.6	16.5	-	-
Junio	720	100.0	0.0	107.8	15.4	8.6	24.1	42.6	56.0	69.8	82.5	30	1.2	28.1	15.4	-	-
Julio	734	98.7	0.0	222.4	18.1	9.2	31.7	48.2	64.5	87.8	100.5	30	4.5	36.0	17.7	-	-
Agosto	739	99.3	0.0	135.5	16.4	9.9	26.0	41.4	52.9	77.4	97.5	31	5.5	36.7	16.4	-	-
Septiembre	708	98.3	0.0	152.0	14.9	6.4	22.4	43.5	61.7	84.1	102.3	30	2.1	28.3	14.9	-	-
Octubre	742	99.7	0.0	171.6	16.0	8.6	20.9	34.5	60.1	86.4	95.0	31	2.4	41.5	16.0	-	-
Noviembre	719	99.9	0.0	200.9	23.0	11.5	34.0	54.2	75.2	106.7	138.4	30	1.0	39.0	23.0	-	-
Diciembre	740	99.5	0.0	261.4	28.5	15.4	43.7	68.1	97.4	135.2	153.0	30	8.3	67.5	29.2	-	-
Año	8720	99.3	0.0	748.5	25.2	9.2	33.8	61.0	100.7	174.6	247.3	362	0.0	144.6	25.2	-	-

SO₂ - Estación CONCON - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril	709	98.5	2.6	1768.8	95.1	36.6	116.1	228.1	393.0	682.5	737.3	30	13.3	296.9	94.1	-	-
Mayo	744	100.0	2.6	1123.0	89.0	40.0	118.7	224.1	361.0	552.0	643.2	31	5.2	256.5	89.0	-	-
Junio	706	98.1	2.6	1202.8	101.3	28.8	160.7	314.3	466.1	645.2	755.5	29	4.8	345.2	101.6	-	-
Julio	744	100.0	2.6	1711.2	143.6	73.3	235.5	369.2	505.2	647.0	817.9	31	15.1	355.2	143.6	-	-
Agosto	742	99.7	5.2	651.5	74.5	36.6	115.1	203.8	279.9	384.6	427.9	31	9.7	195.5	74.5	-	-
Septiembre	718	99.7	2.6	716.9	45.5	20.9	65.4	107.3	168.7	237.2	297.3	30	4.4	122.8	45.4	-	-
Octubre	744	100.0	2.6	722.2	43.8	13.1	53.3	123.2	214.6	362.2	450.0	31	3.6	170.6	43.8	-	-
Noviembre	719	99.9	0.0	476.2	36.8	13.1	49.7	94.2	164.8	246.0	310.9	30	9.5	95.5	36.8	-	-
Diciembre	743	99.9	2.6	1023.1	45.7	15.7	65.4	117.7	185.0	259.8	315.5	30	6.3	155.4	46.7	-	-
Año	6569	74.8	0.0	1768.8	75.0	26.2	102.6	207.8	316.6	491.0	620.6	273	3.6	355.2	75.2	-	-

O3 - Red Termoelectricas, BOMBEROS - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero	671	99.9	0.0	83.1	26.9	23.5	44.4	55.0	64.3	73.9	79.3	28	13.4	51.5	26.9	-	-
Marzo	744	100.0	1.4	119.7	23.2	17.1	41.9	52.5	61.9	75.0	82.0	31	13.6	37.3	23.2	-	-
Abril	675	93.8	0.0	116.0	20.5	11.3	41.5	54.2	64.5	78.3	82.5	30	10.1	36.6	20.4	-	-
Mayo	721	96.9	0.0	126.0	17.3	12.3	30.1	40.3	47.3	58.8	66.3	31	4.9	32.5	17.2	-	-
Junio	710	98.6	0.6	70.9	14.8	10.7	25.0	33.4	40.9	49.8	52.3	30	4.6	28.6	14.9	-	-
Julio	744	100.0	1.6	83.6	16.5	8.4	33.4	42.1	47.8	58.4	63.4	31	9.6	28.1	16.5	-	-
Agosto	742	99.7	0.6	75.0	17.1	11.9	29.4	40.2	49.6	59.5	62.9	31	8.0	27.2	17.1	-	-
Septiembre	716	99.4	1.5	79.9	22.1	20.8	34.8	47.4	53.1	62.2	70.2	30	4.7	37.4	22.1	-	-
Octubre	741	99.6	1.5	75.1	25.3	27.1	39.1	45.6	50.0	57.5	63.3	31	14.9	36.7	25.3	-	-
Noviembre	720	100.0	1.7	66.8	21.9	23.1	33.4	39.9	43.3	49.8	53.3	30	13.9	31.6	21.9	-	-
Diciembre	743	99.9	1.3	57.4	20.1	20.1	30.9	37.7	42.0	45.5	49.4	31	13.9	26.3	20.1	-	-
Año	7927	90.5	0.0	126.0	20.5	16.8	35.3	44.3	52.4	63.9	70.8	330	4.6	51.5	20.4	-	-

O3 - Red Termoelectricas, BOMBEROS - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	1.0	67.2	17.9	15.5	30.3	37.0	43.0	51.3	53.8	31	12.6	23.6	17.9	-	-
Febrero	696	100.0	0.8	79.0	17.1	14.1	30.0	37.3	45.4	54.3	57.7	29	6.8	28.1	17.1	-	-
Marzo	740	99.5	1.1	91.8	17.7	13.9	32.4	40.4	45.8	53.6	57.9	31	12.7	26.6	17.7	-	-
Abril	720	100.0	0.9	61.3	13.2	9.9	21.8	29.3	38.8	47.2	51.4	30	4.8	22.9	13.2	-	-
Mayo	744	100.0	1.1	45.8	10.3	7.2	18.2	22.8	26.0	33.1	37.2	31	4.1	18.0	10.3	-	-
Junio	720	100.0	0.0	32.8	9.0	6.8	14.6	19.6	22.9	26.3	28.5	30	2.7	17.5	9.0	-	-
Julio	740	99.5	0.6	42.1	9.4	7.0	16.0	21.1	24.0	28.4	31.9	31	4.6	17.1	9.3	-	-
Agosto	743	99.9	0.6	75.7	18.3	13.3	33.0	41.6	49.4	59.8	67.1	31	8.6	28.2	18.3	-	-
Septiembre	720	100.0	1.2	85.0	23.6	21.0	41.1	48.5	56.8	68.2	72.0	30	12.5	37.3	23.6	-	-
Octubre	743	99.9	1.9	93.9	32.6	33.6	49.3	58.3	66.3	73.6	81.7	31	22.4	44.7	32.6	-	-
Noviembre	720	100.0	0.7	108.2	28.5	25.6	47.9	55.8	63.0	77.7	88.4	30	20.4	41.5	28.5	-	-
Diciembre	744	100.0	0.4	97.6	27.2	23.3	44.2	56.7	67.6	76.2	80.2	30	16.2	36.7	27.4	-	-
Año	8774	99.9	0.0	108.2	18.7	13.4	32.9	43.7	52.5	63.4	71.4	365	2.7	44.7	18.7	-	-

O3 - LIMACHE, 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	94.2	28.3	25.5	49.1	62.8	72.6	82.7	89.4	31	20.0	36.1	28.3	-	-
Febrero	690	99.1	0.0	90.3	28.4	29.4	46.0	56.9	64.8	72.6	78.9	29	17.5	39.2	28.4	-	-
Marzo	734	98.7	0.0	121.7	31.9	35.3	53.0	62.8	70.6	80.5	87.6	30	22.6	46.2	32.2	-	-
Abril	719	99.9	0.0	123.6	22.5	11.8	41.2	60.8	74.8	91.5	97.8	30	5.0	40.8	22.5	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	92.2	17.2	7.8	35.3	47.1	54.9	67.0	72.6	31	4.5	29.7	17.2	-	-
Junio	699	97.1	0.0	72.6	18.7	11.8	39.6	46.0	49.1	53.0	58.9	29	8.7	41.2	18.7	-	-
Julio	744	100.0	0.0	84.4	23.1	17.7	46.0	49.1	54.9	63.1	69.8	31	15.7	33.2	23.1	-	-
Agosto	743	99.9	0.0	82.4	18.9	13.7	35.3	43.2	54.9	68.7	74.9	31	10.3	29.6	18.9	-	-
Septiembre	715	99.3	0.0	76.5	21.7	19.6	39.2	45.1	53.0	62.8	66.7	30	10.7	35.0	21.7	-	-
Octubre	742	99.7	0.0	76.5	27.1	29.4	41.2	49.1	54.9	62.8	68.7	31	18.5	40.0	27.1	-	-
Noviembre																-	-
Diciembre																-	-
Año	7274	82.8	0.0	123.6	23.8	19.6	44.8	53.0	62.8	72.6	82.4	303	4.5	46.2	23.8	-	-

O3 - SAN PEDRO - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	740	99.5	0.8	69.9	24.0	21.9	37.5	45.1	50.7	56.0	58.3	31	18.9	31.5	23.9	-	-
Febrero	672	100.0	0.8	81.4	24.1	20.8	40.1	47.7	54.9	62.4	67.6	28	13.9	44.3	24.1	-	-
Marzo	743	99.9	-0.5	111.6	21.4	14.7	40.3	50.5	61.6	68.9	76.9	31	11.7	34.4	21.4	-	-
Abril	655	91.0	-0.4	105.4	22.4	14.9	39.6	50.9	59.7	74.0	78.4	30	13.8	40.0	22.4	-	-
Mayo	722	97.0	-0.4	123.6	20.8	14.8	37.0	46.2	53.9	62.4	67.4	30	8.2	33.1	21.1	-	-
Junio	700	97.2	0.0	91.1	16.5	11.4	27.3	37.0	44.1	51.4	57.4	30	9.6	26.3	16.5	-	-
Julio	744	100.0	0.0	80.0	23.1	17.6	41.1	49.0	55.0	65.6	71.0	31	11.6	37.9	23.1	-	-
Agosto	723	97.2	0.0	86.0	23.1	18.4	38.5	48.0	56.1	61.8	70.3	30	8.9	36.7	22.8	-	-
Septiembre	669	92.9	2.5	122.4	28.3	25.5	43.3	52.9	60.6	68.6	72.6	27	11.9	40.0	28.3	-	-
Octubre	741	99.6	2.0	90.7	32.1	30.7	50.4	57.5	66.2	74.1	78.7	31	20.6	46.5	32.1	-	-
Noviembre	720	100.0	4.4	89.4	31.3	30.5	48.7	56.0	63.8	70.2	75.0	30	22.6	43.3	31.3	-	-
Diciembre	672	90.3	2.0	88.2	29.5	25.4	45.0	55.5	62.1	70.6	74.3	27	21.1	38.5	29.4	-	-
Año	8501	97.0	-0.5	123.6	24.7	20.6	41.4	50.6	58.1	67.1	73.0	352	8.2	46.5	24.6	-	-

O3 - SAN PEDRO - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	702	94.4	6.2	102.2	32.8	29.3	46.1	55.3	61.6	76.6	88.3	29	23.1	47.9	32.5	-	-
Febrero	696	100.0	5.1	96.5	32.6	28.2	48.3	56.5	63.9	68.5	74.7	29	18.8	45.8	32.6	-	-
Marzo	733	98.5	9.2	116.9	33.0	25.1	51.6	58.3	64.8	73.1	77.5	30	25.1	43.0	32.8	-	-
Abril	718	99.7	5.8	98.9	27.1	21.6	40.3	54.2	66.7	75.5	83.3	30	12.3	46.7	27.1	-	-
Mayo	744	100.0	1.6	80.9	20.5	17.2	32.7	42.0	48.7	57.2	62.8	31	9.9	34.5	20.5	-	-
Junio	719	99.9	0.3	53.3	16.3	13.6	27.9	35.2	39.4	43.2	45.7	30	4.6	32.5	16.3	-	-
Julio	744	100.0	0.2	76.9	18.2	14.6	30.4	39.2	44.2	50.2	58.7	31	6.6	33.5	18.2	-	-
Agosto	743	99.9	0.0	69.9	18.0	13.7	30.8	36.7	42.9	52.3	57.8	31	10.8	28.7	18.0	-	-
Septiembre	716	99.4	0.0	68.1	20.0	18.3	33.6	39.3	44.4	51.8	55.3	30	8.7	34.2	20.0	-	-
Octubre	742	99.7	0.5	74.7	24.1	25.2	37.7	43.1	48.0	56.3	61.1	31	18.0	34.2	24.1	-	-
Noviembre	717	99.6	0.0	78.5	21.6	19.1	35.2	41.2	48.2	61.2	68.2	30	15.3	30.7	21.6	-	-
Diciembre	744	100.0	0.0	68.6	18.9	15.2	31.9	38.6	48.6	57.1	61.0	30	10.5	26.6	19.1	-	-
Año	8718	99.2	0.0	116.9	23.5	20.1	37.0	46.5	55.1	64.5	71.2	362	4.6	47.9	23.5	-	-

O3 - HIJUELAS- 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio	720	100.0	0.0	145.2	10.6	6.3	12.3	20.5	47.1	61.7	65.6	30	2.3	41.9	10.6	-	-
Julio	704	94.6	0.0	168.1	33.1	27.0	52.5	68.7	82.1	109.6	122.4	28	5.3	93.7	32.5	2	-
Agosto	730	98.1	0.0	155.5	35.4	31.5	53.0	64.8	77.0	107.5	124.0	30	17.1	91.2	35.4	-	-
Septiembre	669	92.9	0.0	78.5	28.1	25.2	42.3	48.9	55.2	65.6	67.9	28	14.1	42.7	28.1	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	80.3	27.8	25.2	42.2	50.6	57.5	64.6	69.7	31	12.0	41.7	27.8	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	73.7	30.5	25.8	47.6	56.4	63.2	68.8	69.8	30	19.3	39.2	30.5	-	-
Diciembre	689	92.6	0.0	85.7	32.1	25.4	52.8	64.4	70.1	75.4	79.4	28	21.8	39.8	32.2	-	-
Año	4976	56.8	0.0	168.1	28.2	23.1	45.9	57.3	66.6	77.7	90.6	204	2.3	93.7	28.1	2	-

O3 - HIJUELAS- 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	720	96.8	0.0	149.5	27.4	18.5	45.8	67.2	87.2	103.4	112.6	30	13.5	45.7	27.4	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	156.1	52.7	42.9	100.5	123.5	135.1	144.3	147.2	29	15.2	73.4	52.7	-	-
Marzo	696	93.5	0.0	125.1	35.3	25.7	63.3	78.6	88.0	102.9	111.9	29	26.6	49.8	35.3	-	-
Abril	720	100.0	0.0	154.0	34.4	25.4	52.9	74.2	91.1	113.2	119.6	30	17.0	62.6	34.4	-	-
Mayo	705	94.8	-0.4	86.1	19.7	14.1	33.4	47.7	55.9	62.2	66.9	29	10.6	27.6	19.8	-	-
Junio	719	99.9	3.9	74.8	22.4	18.3	37.5	45.9	53.2	59.3	62.8	30	11.2	41.2	22.5	-	-
Julio	730	98.1	0.0	78.5	19.8	13.7	35.3	47.2	56.9	63.6	66.7	30	7.7	31.3	19.7	-	-
Agosto	743	99.9	0.0	98.1	21.2	13.7	37.3	49.1	60.8	74.6	79.7	31	9.6	37.7	21.2	-	-
Septiembre	720	100.0	0.0	128.7	28.0	23.7	44.5	57.1	70.8	85.6	94.1	30	9.2	47.9	28.0	-	-
Octubre	740	99.5	0.3	123.6	36.9	35.3	53.6	66.7	79.1	88.3	94.8	31	26.5	48.7	36.9	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	119.7	32.3	25.5	54.9	68.7	78.5	87.5	93.8	30	24.0	48.2	32.3	-	-
Diciembre	740	99.5	0.0	135.4	29.0	21.6	47.1	62.8	76.6	90.7	97.4	30	11.5	46.0	29.1	-	-
Año	8649	98.5	-0.4	156.1	29.9	21.6	49.1	66.3	82.4	106.8	123.2	359	7.7	73.4	29.9	-	-

O3 - CAMPICHE - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo	512	68.8	0.0	60.8	16.3	11.8	31.4	41.0	44.1	51.0	53.0	21	6.0	41.0	16.5	-	-
Junio	659	91.5	0.0	60.7	17.1	13.3	33.4	39.2	41.2	45.1	49.1	26	6.1	39.8	17.8	-	-
Julio	714	96.0	0.0	78.5	20.2	15.7	34.5	43.2	49.1	54.9	58.1	29	8.7	35.1	20.2	-	-
Agosto	721	96.9	0.0	62.8	21.3	17.7	37.3	43.2	47.1	52.2	53.0	30	7.8	36.3	21.1	-	-
Septiembre	701	97.4	0.0	64.8	26.9	27.5	43.2	49.1	51.0	56.9	58.9	28	13.5	45.2	26.7	-	-
Octubre	738	99.2	0.0	62.8	28.9	31.4	45.1	51.0	53.3	56.9	58.9	31	12.9	50.7	28.8	-	-
Noviembre	719	99.9	2.0	84.4	24.2	23.5	37.3	43.2	45.1	49.1	50.7	30	13.5	34.3	24.2	-	-
Diciembre	741	99.6	0.0	62.8	21.7	21.6	33.4	39.2	43.2	47.1	51.0	30	7.4	32.8	21.7	-	-
Año	5505	62.7	0.0	84.4	22.4	19.6	37.3	43.2	49.1	53.0	56.9	225	6.0	50.7	22.4	-	-

O3 - UCV - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero	562	83.6	0.0	78.5	23.2	19.6	39.2	49.1	56.9	66.3	72.6	23	11.0	46.0	23.3	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	125.0	25.3	19.6	45.1	56.9	68.7	80.5	87.4	31	16.7	45.7	25.3	-	-
Abril	651	90.4	0.0	123.6	25.5	19.6	45.1	58.9	66.7	84.4	95.2	30	12.8	53.5	25.6	-	-
Mayo	713	95.8	0.0	84.4	22.4	15.7	41.2	51.0	62.8	72.6	76.3	30	9.1	39.4	22.2	-	-
Junio	710	98.6	0.0	84.4	17.8	11.8	33.4	43.2	49.1	56.9	66.3	30	6.8	32.0	17.7	-	-
Julio	665	89.4	0.0	100.1	22.5	15.7	41.2	50.2	56.9	68.1	73.5	27	12.5	34.3	22.3	-	-
Agosto																-	-
Septiembre																-	-
Octubre																-	-
Noviembre																-	-
Diciembre																-	-
Año	4045	46.2	0.0	125.0	22.8	17.7	41.2	51.0	60.8	72.6	80.5	171.0	6.8	53.5	22.7	-	-

O3 - UCV - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio																-	-
Julio																-	-
Agosto																-	-
Septiembre																-	-
Octubre																-	-
Noviembre	656	91.1	0.6	98.1	25.6	21.6	42.5	51.0	58.9	68.7	76.4	27	18.6	37.9	25.5	-	-
Diciembre	738	99.2	0.0	86.3	25.3	21.6	41.2	51.6	60.8	69.2	78.5	30	16.0	34.6	25.5	-	-
Año	1394	15.9	0.0	98.1	25.5	21.6	41.2	51.0	59.3	69.0	78.5	57.0	16.0	37.9	25.5	-	-

NO2 - Red Termoelectricas, Quillota Bomberos - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero	670	99.7	0.0	30.1	9.4	9.4	13.2	16.9	18.8	20.7	20.7	28	6.1	14.3	9.4	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	73.3	16.3	15.0	24.4	30.1	35.7	41.4	51.1	31	7.4	30.7	16.3	-	-
Abril	653	90.7	0.0	79.0	20.9	18.8	30.1	39.5	47.0	56.4	62.1	30	9.3	42.6	21.1	-	-
Mayo	722	97.0	3.5	68.4	25.9	24.7	33.8	38.7	42.2	48.7	50.8	31	18.2	34.6	25.9	-	-
Junio	710	98.6	0.0	77.6	21.5	20.3	28.8	33.7	39.4	46.7	54.5	30	10.0	39.5	21.5	-	-
Julio	744	100.0	0.0	74.1	16.9	15.0	25.4	31.7	37.3	40.3	43.6	31	9.8	29.0	16.9	-	-
Agosto	712	95.7	0.0	41.1	12.0	11.4	19.2	22.7	24.9	30.9	35.8	29	6.3	19.8	12.0	-	-
Septiembre	692	96.1	0.0	36.9	11.4	10.2	15.9	19.8	22.4	25.7	27.7	28	7.4	16.6	11.3	-	-
Octubre	741	99.6	0.6	52.1	14.3	12.4	20.0	24.4	28.2	36.0	41.2	31	7.5	21.1	14.3	-	-
Noviembre	720	100.0	0.3	33.2	9.8	8.3	13.5	17.4	20.0	22.8	24.1	30	6.5	14.4	9.8	-	-
Diciembre	743	99.9	2.2	55.2	9.9	8.7	14.1	17.1	19.6	24.1	28.2	31	6.7	13.8	9.9	-	-
Año	7851	89.6	0.0	79.0	15.3	13.2	22.6	28.8	35.5	41.4	47.0	326	6.1	42.6	15.4	-	-

NO2 - Red Termoelectricas, Quillota Bomberos - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	2.3	39.2	11.4	9.6	16.6	21.0	26.0	30.5	32.2	31	5.6	18.2	11.4	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	30.0	9.5	8.7	13.7	16.6	19.6	23.6	25.6	29	4.7	16.4	9.5	-	-
Marzo	740	99.5	0.0	45.0	13.8	12.4	19.7	24.5	28.8	33.7	39.1	31	7.7	23.0	13.8	-	-
Abril	720	100.0	0.0	48.4	17.1	16.4	23.3	28.7	32.3	37.3	39.7	30	9.5	26.1	17.1	-	-
Mayo	744	100.0	1.3	58.6	17.8	17.0	23.6	28.4	33.2	38.3	46.7	31	7.3	24.7	17.8	-	-
Junio	720	100.0	0.0	43.3	18.0	17.0	24.5	29.2	32.4	36.5	37.6	30	8.7	26.0	18.0	-	-
Julio	740	99.5	3.6	59.4	22.9	21.4	29.7	35.7	40.5	48.0	52.4	31	12.2	31.1	22.9	-	-
Agosto	743	99.9	6.8	109.2	32.0	29.8	42.9	51.6	58.0	67.1	79.3	31	16.9	61.1	32.0	-	-
Septiembre	720	100.0	0.0	183.5	23.3	21.1	32.9	40.6	47.1	57.7	61.7	30	12.9	37.6	23.3	-	-
Octubre	743	99.9	1.9	51.7	15.1	12.8	21.1	28.0	34.7	41.1	44.0	31	8.5	24.5	15.1	-	-
Noviembre	720	100.0	3.0	56.1	16.5	14.8	23.9	29.4	35.1	41.5	46.9	30	10.5	27.6	16.5	-	-
Diciembre	707	95.0	0.0	51.4	13.6	10.6	21.1	26.5	33.2	39.1	44.6	29	6.7	24.2	13.8	-	-
Año	8737	99.5	0.0	183.5	17.6	15.4	25.2	32.1	38.7	47.4	54.1	364	4.7	61.1	17.6	-	-

NO2 - Red Termoelectricas, Limache - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	739	99.3	1.9	47.0	10.8	9.4	15.0	18.8	22.8	28.2	30.1	31	5.3	15.9	10.8	-	-
Febrero	683	98.1	1.9	46.0	13.3	9.4	16.9	43.6	46.0	46.0	46.0	29	8.1	19.8	13.2	-	-
Marzo	725	97.4	1.9	46.0	16.0	11.3	22.6	46.0	46.0	46.0	46.0	30	9.3	26.7	16.1	-	-
Abril	719	99.9	0.0	47.0	14.1	11.3	20.7	26.3	32.0	35.7	39.5	30	7.5	23.6	14.1	-	-
Mayo	744	100.0	1.9	62.1	15.3	13.2	22.6	28.2	35.7	45.1	50.8	31	5.7	22.3	15.3	-	-
Junio	700	97.2	0.0	54.5	17.9	15.0	28.2	46.0	46.0	46.0	46.0	29	10.9	29.3	18.0	-	-
Julio	744	100.0	0.0	62.1	20.4	15.0	37.6	46.0	46.0	46.1	48.9	31	7.4	31.8	20.4	-	-
Agosto	743	99.9	0.0	97.8	17.3	15.0	24.4	32.0	37.6	48.9	52.7	31	9.9	34.0	17.3	-	-
Septiembre	715	99.3	1.9	60.2	15.7	13.2	22.6	30.1	37.6	44.6	50.5	30	8.2	24.0	15.7	-	-
Octubre	742	99.7	1.9	46.0	10.9	9.4	15.0	20.7	24.4	30.1	35.7	31	6.4	15.1	10.9	-	-
Noviembre																-	-
Diciembre																-	-
Año	7254	82.6	0.0	97.8	15.2	11.3	22.6	30.1	46.0	46.0	46.0	303	5.3	34.0	15.2	-	-

NO2 - Red Termoelectricas, San Pedro - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	741	99.6	0.0	15.0	5.5	5.6	7.5	9.4	11.3	11.3	13.2	31	3.5	8.4	5.5	-	-
Febrero	672	100.0	0.0	11.3	3.5	3.8	5.6	5.6	7.5	7.5	9.4	28	1.5	5.3	3.5	-	-
Marzo	743	99.9	0.0	33.9	7.5	5.6	13.2	16.9	20.7	26.6	28.3	31	2.7	13.3	7.5	-	-
Abril	654	90.8	5.6	71.5	21.5	18.8	30.1	37.6	43.3	52.7	59.1	30	12.6	41.6	21.8	-	-
Mayo	721	96.9	1.9	65.8	23.6	20.7	32.0	39.5	45.1	50.0	52.7	30	13.4	34.9	23.6	-	-
Junio	675	93.8	1.9	270.8	32.0	28.2	41.4	52.7	67.7	92.1	111.5	29	10.5	63.2	32.0	-	-
Julio	743	99.9	1.9	52.7	15.0	13.2	20.7	26.3	30.1	33.9	40.6	31	6.4	26.6	15.0	-	-
Agosto	723	97.2	0.0	56.4	12.0	11.3	16.9	20.7	26.3	30.1	31.6	30	4.3	19.5	12.0	-	-
Septiembre	666	92.5	0.0	30.1	8.3	7.5	11.3	15.0	18.3	22.0	23.2	27	2.6	13.1	8.2	-	-
Octubre	734	98.7	1.9	39.5	8.6	7.5	11.3	15.0	16.9	20.7	22.6	31	4.8	14.5	8.6	-	-
Noviembre	719	99.9	1.9	18.8	6.5	5.6	9.4	9.4	11.3	15.0	15.0	30	4.7	9.6	6.5	-	-
Diciembre	672	90.3	1.9	33.9	7.7	7.1	9.4	13.2	15.0	18.0	20.7	27	5.2	10.7	7.8	-	-
Año	8463	96.6	0.0	270.8	12.6	9.4	18.8	28.2	35.7	45.1	54.5	351	1.5	63.2	12.7	-	-

NO₂ - Red Termoelectricas, San Pedro - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	697	93.7	1.9	73.3	13.9	9.4	18.8	30.1	39.9	52.7	56.5	29	4.6	26.6	13.9	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	33.9	8.8	7.5	11.3	15.0	18.8	22.6	24.4	29	3.7	16.1	8.8	-	-
Marzo	731	98.3	0.0	43.3	9.9	7.5	15.0	18.8	21.7	26.3	30.1	30	4.4	18.1	10.0	-	-
Abril	717	99.6	0.0	48.9	11.6	9.4	15.0	20.7	24.4	30.1	33.9	30	6.6	20.5	11.6	-	-
Mayo	744	100.0	0.0	47.0	11.5	9.4	16.9	20.7	24.4	30.4	34.9	31	4.9	17.4	11.5	-	-
Junio	719	99.9	1.9	43.3	11.6	9.4	16.9	20.7	24.4	29.4	32.0	30	3.6	22.5	11.6	-	-
Julio	739	99.3	0.0	43.3	13.8	13.2	20.7	24.4	30.1	35.7	37.6	31	4.4	22.3	13.8	-	-
Agosto	741	99.6	0.0	62.1	14.1	13.2	20.7	24.4	30.1	35.7	37.6	31	7.1	26.1	14.1	-	-
Septiembre	715	99.3	0.0	48.9	10.8	9.4	16.9	20.7	24.4	30.1	33.9	30	2.4	21.2	10.8	-	-
Octubre	739	99.3	0.0	33.9	7.3	5.6	11.3	13.2	16.9	20.7	24.4	31	3.4	9.7	7.4	-	-
Noviembre	705	97.9	0.0	52.7	10.7	9.4	15.0	18.8	22.6	28.2	32.0	29	5.6	18.2	10.8	-	-
Diciembre	717	96.4	0.0	48.9	10.5	9.4	15.0	18.8	22.6	26.3	30.1	30	5.5	21.1	10.5	-	-
Año	8660	98.6	0.0	73.3	11.2	9.4	16.9	20.7	24.4	32.0	37.6	361	2.4	26.6	11.2	-	-

NO₂ - Red PACSA, Campiche - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo	508	68.3	1.9	63.9	19.7	18.8	30.1	35.7	41.4	48.9	52.7	21	6.5	34.9	19.6	-	-
Junio	658	91.4	0.0	47.0	10.7	7.5	18.8	25.0	30.1	37.6	40.3	26	1.6	26.4	10.8	-	-
Julio	735	98.8	7.1	58.9	19.0	17.7	22.8	30.1	38.7	47.4	51.0	31	13.9	24.6	19.0	-	-
Agosto	699	94.0	1.9	54.5	11.7	8.7	15.7	24.4	30.1	39.4	43.2	29	6.2	18.1	11.9	-	-
Septiembre	711	98.8	0.0	645.1	16.9	11.3	22.6	32.0	40.5	62.1	84.6	29	3.8	92.9	16.8	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	56.4	11.9	9.4	16.9	24.4	32.0	39.5	41.4	31	3.6	22.1	11.9	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	33.9	8.1	7.5	11.3	13.2	16.9	22.6	22.6	30	5.3	12.3	8.1	-	-
Diciembre	744	100.0	0.0	37.6	8.3	7.5	11.3	15.0	18.8	24.4	27.4	30	5.2	14.6	8.3	-	-
Año	5519	62.8	0.0	645.1	13.0	9.5	19.3	26.3	33.0	41.5	48.9	227	1.6	92.9	13.1	-	-

NO₂ - Red Melón, Hijuelas - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio	720	100.0	0.0	32.0	2.9	0.0	5.6	11.3	17.0	24.4	24.6	30	0.0	12.1	2.9	-	-
Julio	704	94.6	0.0	36.9	4.9	0.0	11.9	16.3	20.2	24.0	26.1	28	0.0	16.0	4.9	-	-
Agosto	744	100.0	0.0	1120.2	29.5	26.6	36.0	42.5	50.2	57.2	66.6	31	1.7	109.9	29.5	-	-
Septiembre	720	100.0	0.0	96.1	1.0	0.0	0.0	4.0	6.1	12.4	17.8	30	0.0	6.8	1.0	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	1647.0	87.6	17.7	51.4	142.3	542.1	934.8	1394.1	31	4.4	759.1	87.6	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	89.7	13.2	8.3	22.3	34.2	43.4	62.6	70.3	30	3.4	35.6	13.2	-	-
Diciembre	715	96.1	0.0	71.6	16.3	12.1	30.4	38.7	47.0	61.3	66.5	30	4.7	29.7	16.2	-	-
Año	5067	57.8	0.0	1647.0	22.6	6.0	24.6	34.6	48.9	123.1	295.2	207	0.0	759.1	22.7	-	-

NO2 - Red Melón, Hijuelas - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	37.3	6.5	6.3	10.7	14.5	16.9	21.1	25.7	31	0.0	10.6	6.5	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	37.6	7.5	6.3	12.3	16.5	20.3	24.7	27.4	29	3.2	12.8	7.5	-	-
Marzo	711	95.6	0.0	60.2	8.8	7.8	14.9	17.2	20.5	24.0	25.2	29	2.1	16.6	9.0	-	-
Abril	720	100.0	0.0	62.5	10.0	8.3	18.3	23.2	27.3	35.3	41.5	30	0.2	21.1	10.0	-	-
Mayo	714	96.0	0.0	50.8	13.9	13.2	20.7	26.3	32.0	35.7	39.5	29	3.5	22.8	14.1	-	-
Junio	718	99.7	0.0	48.9	11.2	9.4	16.9	20.7	26.3	33.9	37.6	30	2.4	24.8	11.2	-	-
Julio	730	98.1	0.0	41.4	12.4	11.3	18.8	24.4	28.2	30.1	33.9	30	3.3	19.0	12.3	-	-
Agosto	721	96.9	0.0	37.6	10.5	9.4	16.9	20.7	24.4	28.2	30.1	29	1.5	20.5	10.6	-	-
Septiembre	716	99.4	0.0	41.4	12.5	11.3	18.8	22.6	28.2	32.0	35.4	30	1.4	22.2	12.4	-	-
Octubre	742	99.7	0.0	48.9	9.6	7.5	13.2	16.9	20.7	26.3	30.1	31	3.5	19.1	9.6	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	33.9	9.2	7.5	13.2	16.9	20.7	24.4	27.8	30	3.3	14.7	9.2	-	-
Diciembre	727	97.7	1.2	45.1	11.5	9.4	16.9	20.7	24.4	32.0	33.9	30	4.1	19.0	11.6	-	-
Año	8659	98.6	0.0	62.5	10.3	9.4	15.8	20.7	24.4	30.1	33.9	358	0.0	24.8	10.3	-	-

NO2 - Red Melón, La Calera - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio	720	100.0	0.0	262.7	88.5	82.7	99.6	113.0	132.8	153.3	172.5	30	72.9	111.9	88.5	-	-
Julio	744	100.0	0.0	193.6	78.9	76.4	85.7	95.1	105.2	118.4	133.7	31	60.2	95.5	78.9	-	-
Agosto	720	96.8	0.0	576.5	73.0	80.7	91.9	99.4	111.2	124.4	153.4	30	11.4	107.0	73.0	-	-
Septiembre	720	100.0	0.0	100.7	10.0	6.1	18.1	24.6	34.3	44.1	53.3	30	1.8	32.4	10.0	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	185.8	17.8	8.0	26.2	47.2	86.1	120.6	129.0	31	2.9	113.7	17.8	-	-
Noviembre	720	100.0	0.0	449.4	32.1	23.7	47.7	74.8	113.5	128.3	146.2	30	1.2	127.5	32.1	-	-
Diciembre	665	89.4	0.0	80.2	13.7	12.1	20.4	26.6	32.9	41.9	46.6	27	6.1	27.5	13.4	-	-
Año	5033	57.5	0.0	576.5	45.2	32.1	82.3	93.4	106.2	126.2	140.0	205	1.2	127.5	45.3	-	-

NO2 - Red Melón, La Calera - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Días ¹	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	1 h	24 h
Enero	744	100.0	0.0	75.2	14.3	12.7	22.6	27.4	33.7	42.1	49.9	31	0.0	31.4	14.3	-	-
Febrero	696	100.0	0.0	75.0	15.7	14.2	22.7	29.1	34.1	46.5	50.2	29	7.6	25.1	15.7	-	-
Marzo	744	100.0	0.0	89.0	18.4	16.5	25.6	32.3	39.2	51.1	58.6	31	6.6	32.9	18.4	-	-
Abril	720	100.0	0.0	50.9	13.3	12.4	20.2	25.6	31.1	36.4	39.1	30	2.7	25.0	13.3	-	-
Mayo	714	96.0	0.0	85.8	28.4	26.3	37.1	46.7	55.2	67.0	72.1	29	3.5	38.8	28.8	-	-
Junio	720	100.0	0.0	75.1	23.0	21.6	31.0	38.0	45.1	53.8	61.1	30	6.0	41.5	23.0	-	-
Julio	735	98.8	2.7	59.4	25.7	23.7	33.2	41.3	46.6	51.7	54.0	30	15.7	33.1	25.7	-	-
Agosto	740	99.5	4.9	127.5	34.6	31.5	45.9	56.6	65.1	78.5	92.0	31	19.1	54.6	34.6	-	-
Septiembre	711	98.8	0.9	96.4	31.2	30.1	44.5	51.9	57.9	68.7	77.5	30	11.4	47.7	31.3	-	-
Octubre	742	99.7	3.9	102.2	27.6	26.1	37.7	44.5	51.0	60.4	67.4	31	13.5	39.3	27.7	-	-
Noviembre	720	100.0	4.3	92.2	29.5	27.4	37.5	43.2	52.0	57.9	63.7	30	21.1	41.6	29.5	-	-
Diciembre	740	99.5	2.5	75.3	26.0	23.9	35.3	40.6	47.2	56.9	66.4	30	12.3	40.2	26.4	-	-
Año	8726	99.3	0.0	127.5	24.0	22.2	34.1	42.2	50.4	59.6	67.8	362	0.0	54.6	24.1	-	-

SO2 - 4 ESQUINAS - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	Días ¹	ppb	ppb	ppb			
Enero																-	-
Febrero	552	82.1	1.3	596.2	57.1	12.7	58.3	190.5	334.7	412.8	458.0	23	4.5	178.2	57.3	-	-
Marzo	736	98.9	2.4	801.0	57.4	16.2	60.4	164.9	280.9	446.8	563.4	30	5.7	190.3	57.1	-	-
Abril	712	98.9	0.3	322.6	21.7	10.4	26.8	46.3	77.4	130.9	201.5	29	1.4	72.8	22.1	-	-
Mayo	732	98.4	0.3	206.9	26.0	24.5	36.5	42.5	57.0	91.5	121.2	30	5.9	49.5	25.3	-	-
Junio	715	99.3	0.3	224.5	35.2	33.2	58.4	69.3	81.5	108.6	122.1	30	3.2	74.2	35.2	-	-
Julio	732	98.4	1.1	159.8	15.8	10.0	19.5	33.5	48.7	73.1	103.7	30	3.3	32.5	16.0	-	-
Agosto	742	99.7	1.3	320.5	31.5	14.6	35.1	68.3	136.7	207.9	252.9	31	5.8	89.1	31.6	-	-
Septiembre	719	99.9	0.3	567.7	45.2	10.3	62.1	142.9	213.5	323.5	434.6	30	1.5	138.5	45.2	-	-
Octubre	738	99.2	0.3	1004.3	137.6	71.2	252.3	362.5	449.7	589.3	655.8	31	4.6	310.0	137.7	1	-
Noviembre	685	95.1	0.3	588.3	86.8	40.2	147.3	258.8	340.8	432.9	459.5	29	2.8	188.6	87.7	-	-
Diciembre	726	97.6	2.0	816.4	157.6	119.8	260.3	360.1	430.9	506.2	577.4	30	5.8	368.3	157.3	-	1
Año	7789	88.9	0.3	1004.3	61.2	20.0	80.4	184.0	293.1	410.3	479.5	319	1.4	368.3	61.4	1	1

SO2 - 4 ESQUINAS - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	Días ¹	ppb	ppb	ppb			
Enero	740	99.5	0.9	612.0	112.1	52.8	218.1	310.7	390.5	471.5	509.3	31	4.5	289.6	111.6	-	-
Febrero	670	99.7	0.7	846.1	91.9	26.0	178.0	282.6	395.0	452.3	508.9	28	5.8	313.9	92.0	-	-
Marzo	703	94.5	0.3	694.5	57.9	15.8	71.4	189.1	305.0	401.0	483.6	29	2.6	218.3	58.0	-	-
Abril	621	86.3	0.9	716.5	71.2	20.1	94.6	208.3	353.6	524.3	656.9	26	5.5	196.5	70.8	-	-
Mayo	706	94.9	1.4	484.0	33.0	16.7	34.4	62.9	126.2	235.4	278.8	29	4.3	149.1	33.5	-	-
Junio	631	87.6	0.8	227.2	21.8	14.4	27.6	39.7	59.4	124.1	145.6	25	10.0	55.5	21.6	-	-
Julio	724	97.3	1.9	453.4	35.3	16.9	43.1	73.0	136.3	235.6	269.7	30	10.7	109.1	35.7	-	-
Agosto	706	94.9	0.3	323.8	14.2	5.6	14.7	25.9	44.9	101.1	173.2	29	2.7	95.1	14.2	-	-
Septiembre	706	98.1	0.7	348.0	28.3	8.4	30.9	79.1	135.7	227.6	279.1	30	2.5	135.1	27.9	-	-
Octubre	732	98.4	0.6	409.1	36.9	13.7	52.0	99.7	157.3	234.4	297.0	31	4.7	213.7	37.9	-	-
Noviembre	629	87.4	1.2	469.7	67.0	25.0	119.9	201.4	253.5	345.6	374.3	26	8.2	191.6	67.7	-	-
Diciembre	736	98.9	0.1	728.7	119.6	64.9	199.9	321.5	410.2	535.9	611.8	31	2.9	265.3	119.3	-	-
Año	8304	94.8	0.1	846.1	57.7	16.7	77.8	180.9	277.1	399.1	470.0	341	2.5	313.9	58.0	-	-

SO2 - BOMBEROS - 1998

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	Días ¹	ppb	ppb	ppb			
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio																-	-
Julio																-	-
Agosto	132	17.7	0.5	344.7	31.8	16.6	41.6	83.9	106.1	178.5	222.0	5	8.8	76.4	33.6	-	-
Septiembre	720	100.0	0.0	413.5	25.0	12.7	30.6	56.4	92.1	150.8	228.6	30	2.9	148.2	25.0	-	-
Octubre	741	99.6	0.3	1066.5	98.2	35.2	143.2	270.7	389.1	597.9	799.1	31	14.3	294.9	97.9	2	-
Noviembre	699	97.1	0.7	1148.3	94.9	41.0	127.5	239.4	355.8	616.3	754.2	30	15.7	307.3	95.7	2	-
Diciembre	633	85.1	0.0	999.2	89.3	30.1	131.5	223.3	357.6	665.9	802.3	25	9.3	400.0	90.3	-	1
Año	2925	33.4	0.0	1148.3	74.5	25.1	100.0	185.3	320.0	538.4	692.2	117	2.9	400.0	75.1	4	1

SO2 - BOMBEROS - 1999

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom	1 h	24 h
	No.	%	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	Días ¹	ppb	ppb	ppb			
Enero	738	99.2	0.3	1112.3	97.9	38.8	135.8	272.3	421.2	626.3	691.7	31	8.4	279.8	97.3	1	-
Febrero	669	99.6	0.9	773.0	120.8	67.4	188.8	293.7	447.9	596.5	633.9	28	5.9	284.3	121.0	-	-
Marzo	720	96.8	2.2	1315.4	101.2	39.5	117.4	227.7	414.8	724.6	952.9	30	21.9	513.7	104.0	2	1
Abril	618	85.8	1.7	1208.7	109.0	36.6	141.2	312.8	452.0	704.3	940.7	26	9.8	333.1	109.7	2	-
Mayo	729	98.0	4.9	863.0	61.2	33.1	69.9	116.9	207.1	450.2	557.4	30	8.5	170.7	61.0	-	-
Junio	720	100.0	8.6	442.9	31.6	21.5	35.6	53.5	85.5	142.5	206.5	30	11.8	126.3	31.6	-	-
Julio	743	99.9	2.3	609.3	35.5	21.4	47.9	76.1	113.9	156.2	186.7	31	9.7	98.1	35.5	-	-
Agosto	732	98.4	1.5	759.9	26.6	13.2	30.8	49.9	81.3	169.0	194.8	30	5.2	162.8	26.9	-	-
Septiembre	698	96.9	0.8	321.6	24.2	14.8	32.5	53.5	73.8	104.3	133.2	29	5.1	97.6	24.1	-	-
Octubre	738	99.2	1.7	878.0	60.6	29.5	74.7	134.8	226.0	362.3	613.9	31	5.7	298.3	60.5	-	-
Noviembre	688	95.6	0.6	920.8	82.0	37.1	99.1	208.1	311.1	545.9	649.5	28	11.5	302.3	75.1	-	-
Diciembre	681	91.5	0.3	797.0	101.2	39.9	155.7	283.6	409.3	545.3	648.6	28	7.7	239.9	102.8	-	-
Año	8474	96.7	0.3	1315.4	70.0	29.4	81.6	168.9	290.2	509.1	641.2	348	5.1	513.7	69.9	5	1

SO2 - SAN VICENTE - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	Días ¹	ppb	ppb	ppb	1 h	24 h
Enero	696	93.5	1.4	820.8	126.9	55.7	229.5	373.7	496.1	580.0	650.0	28	5.5	317.7	126.0	-	-
Febrero	680	101.2	1.8	1061.6	138.8	46.6	181.5	418.0	677.0	869.9	978.1	28	6.1	374.4	140.0	4	1
Marzo	711	95.6	1.7	1106.6	139.0	63.2	225.4	412.1	572.5	663.1	769.3	29	8.3	323.3	140.6	1	-
Abril	708	98.3	0.7	872.9	58.8	24.4	76.0	137.1	220.0	414.1	522.9	30	4.0	218.9	58.3	-	-
Mayo	543	73.0	0.7	794.1	55.1	20.0	56.9	126.7	218.7	461.9	627.0	23	3.5	302.4	54.7	-	-
Junio																-	-
Julio	553	74.3	6.9	173.2	36.3	26.2	55.1	77.5	91.2	113.1	132.7	20	12.0	78.0	35.7	-	-
Agosto	689	92.6	1.3	177.7	15.9	10.4	21.6	31.8	48.3	70.4	79.9	29	3.5	52.6	15.5	-	-
Septiembre	469	65.1	1.3	73.5	23.8	20.3	34.4	41.5	45.8	53.1	56.2	20	9.8	45.7	23.2	-	-
Octubre	435	58.5	0.4	114.2	18.1	9.5	32.2	44.9	59.3	66.9	80.2	18	5.3	32.7	18.2	-	-
Noviembre	718	99.7	1.4	314.3	26.7	21.3	31.7	49.6	88.5	133.3	160.8	30	7.2	96.7	26.6	-	-
Diciembre	575	77.3	19.1	373.8	46.1	30.4	53.8	93.3	138.8	193.4	221.6	22	22.2	127.6	47.3	-	-
Año	6777	77.2	0.4	1106.6	66.2	24.9	72.7	154.6	313.1	527.6	657.6	277	3.5	374.4	66.2	5	1

SO2 - HUNGRÍA - 2000

Mes	Datos de 1h disponibles		Valores horarios			Percentiles (valores horarios)						Promedios de 24 horas				Excedencia Normas ²	
			Min	Max	Prom	50%	80%	90%	95%	98%	99%	No.	Min	Max	Prom		
	No.	%	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	Días ¹	ppb	ppb	ppb	1 h	24 h
Enero																-	-
Febrero																-	-
Marzo																-	-
Abril																-	-
Mayo																-	-
Junio																-	-
Julio	209	28.1	0.0	175.9	12.4	5.1	11.4	24.5	64.8	99.8	133.8	7	3.2	37.7	14.9	-	-
Agosto	606	81.5	0.0	415.0	17.8	6.0	18.3	35.0	79.0	137.4	177.6	23	1.9	59.0	16.4	-	-
Septiembre	660	91.7	0.0	587.7	29.4	6.9	25.2	87.8	151.7	267.9	371.3	27	0.5	153.4	29.6	-	-
Octubre	744	100.0	0.0	716.4	42.5	9.4	70.4	120.3	195.3	295.9	361.1	31	1.0	113.7	42.5	-	-
Noviembre	713	99.0	0.0	621.5	58.1	22.3	101.8	161.9	213.9	302.0	325.2	29	10.5	141.5	58.7	-	-
Diciembre	540	72.6	1.1	554.0	73.0	31.3	130.3	199.6	275.5	371.8	397.8	20	24.2	173.3	77.1	-	-
Año	3472	39.5	0.0	716.4	41.8	10.3	64.3	126.4	190.2	292.5	358.7	137	0.5	173.3	42.6	-	-

A.2 Anexo Listado de referencias.

A continuación se presenta una lista con las referencias que aportan información relevante.

Estas referencias han sido ordenadas por:

- Referencias bibliográficas de estudios de calidad de aire
- Referencias de trabajos de titulación (memorias y tesis)
- Publicaciones en revistas o presentaciones en seminarios
- Referencias de inventario de emisiones
- Referencias de los estudios y declaraciones de impacto ambiental

Con ✓ se indica aquellas referencias encontradas en la bibliotecas de CONAMA Central o de las oficinas regionales, disponibles en CENMA, disponibles en Internet o disponibles en las bibliotecas de las Universidades de Chile, Santiago, Universidad de Valparaíso.

Con ✓C se indica que son comentadas y se presentan el Apéndice A1.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AIRE

	N ^a	Nombre Estudio	Encargado por	Ejecutado por	Fecha
✓	1	“Informe Final del Análisis de la Calidad del Aire en Centrales Termoeléctricas. San Isidro – Nehuenco”.	CONAMA V Región.	SGA Soluciona	Septiembre 2000
✓	3	“Evaluación de la Contaminación Atmosférica en los Componentes Anhídrido Sulfuroso y NO ₂ en la Comuna de Talcahuano”. Tubos Pasivos.	CONAMA VIII Región	U. de Concepción	Jun93 – Ago94 Ago94 – Abr95
✓	4	Estudio “Diagnóstico de la Calidad del Aire de Rancagua”.			Ene, Ago, Sep96
	5	“Sistemas de Evaluación de Emisiones a la Atmósfera en Zonas Industriales de Chile: Caso Talcahuano”.			Septiembre 95
	6	“Evaluación Económica de los Objetivos de Calidad del Aire para el SO ₂ , NO ₂ , las Partículas Finas y en Suspensión y el Plomo”. Segundo Informe Provisional.		Institute for Environmental Studies. Amsterdam	Abril 97
✓	7	Informe “Estudio para la Generación de Información de Soporte Económico para la Elaboración del Plan de Descontaminación de Caletones”.		SGA. Ltda.	1997
✓	8	“Propuesta de Implementación de Normas Atmosféricas para Fuentes Fijas a Nivel Nacional y Recopilación de Información de Soporte Económico para la Dictación de una Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas”.	CONAMA	Consultoría e Ing. Ambiental. AMBAR.	Marzo 2001
	9	“Programa de Establecimientos de Normas de Calidad Ambiental”.		TESAM S.A.	Marzo 96
✓C	10	“Diagnóstico de la Calidad del Aire en la V Región P – 979”. Informe Final.	Ministerio de Minería	CIMM – Ambiental.	Diciembre 94
✓C	11	“Diagnóstico de la Calidad del Aire en el Area Geográfica que Comprende las Ciudades de Valparaiso y Viña del Mar”. Trabajo de Titulación.		Marcelo Corral Fuentes. U. de Valparaiso de Chile	Mayo 2000
	12	“Plan de Recuperación Ambiental de Talcahuano”. (PRAT).		CONAMA VIII Región	Noviembre 96
✓	13	“Diagnóstico de la Calidad del Aire en la V Región”.	Ministerio de Minería	CIMM	1994
	14	Proyecto “Diagnóstico y Aplicación de Metodologías para Determinar Emisiones Gaseosas Industriales y Calidad del Aire. Región de Valparaiso”.	Ministerio de Economía	CADE – IDEPE	1997
	15	Proyecto “Diagnóstico y Aplicación de Metodologías para Determinar Emisiones Gaseosas Industriales y Calidad del Aire. V Región”. Informe final.	Ministerio de Economía	CADE – IDEPE	1996
✓	16	“Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación de la R.M”. Stgo., Chile.		CONAMA R.M.	1997
	17	“Plan de Recuperación Ambiental de Talcahuano”. (PRAT).		CONAMA VIII Región	1996
✓	18	“Monitoreo de SO ₂ Mediante Tubos Pasivos en la Localidad de Lirquén, Comuna de Penco”. Informe Final.	CONAMA, Región del Bío Bío	U. de Concepción	Agosto 2000
	19	“Diagnóstico y Aplicación de Metodologías para Determinar Emisiones	CONAMA.	Dames & Moor	Agosto 95

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Diagnóstico Integral de la Contaminación Atmosférica en la Macrozona Central de Chile.

Año 2001: Diagnóstico Preliminar

	Nº	Nombre Estudio	Encargado por	Ejecutado por	Fecha
		Gaseosas Industriales y Calidad del Aire". VIII Región.			
	20	Proyecto "Diagnóstico y Aplicación de Metodologías para Determinar Emisiones Gaseosas Industriales y Calidad del Aire. V Región".	MINECOM	CADE – IDEPE	Abril 97
	21	"Preparación de Antecedentes Técnicos – Científicos para Normas/ Recomendación Medio Ambiental de Compuestos Orgánicos Volátiles".	CONAMA	U. de Concepción	Diciembre 98
	22	"Propuesta de Normas de Emisión para Industrias de la R.M."	CONAMA R.M.	Tesam – Radian	1999
	23	"Protección del Medio Ambiente". Seminario AIC – Tecniberia. Cap. III.		CEPAL	1990
✓C	24	"Diagnóstico, Evaluación y Proposiciones de Mejoramiento de Redes de Monitoreo de Agua y Aire".	CONAMA	S.G.S. Eco Care	May96 – Ene98
✓C	25	2º Fase "Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile". Primer Informe de Avance (versión corregida).	CONAMA	CENMA	Noviembre 2000
	26	"Metodología para Estimación y Reducción de Emisiones de Polvo de Calles".		INTEC Chile	Junio 94
✓	27	2º Fase "Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile". Segundo Informe de Avance.	CONAMA	CENMA	Diciembre 2000
	28	"Determinación de Factores de Emisión para Vehículos Livianos y Medianos". Informe Final.	CONAMA R.M.	U. de Chile	Septiembre 96
✓	29	"Programa Prioritario Nº2. Análisis de Factores de Emisión de Fuentes Fijas y Móviles. Sub-Programa Fuentes Móviles". Informe Final.	CONAMA	CENMA	Diciembre 97
	30	"Análisis de la Política Ambiental Nacional en la Producción, Distribución y Consumo de Combustibles; Informe Nº2 Caracterización del Mercado de Combustibles". Rev.1.		CADE – IDEPE	Junio 96
	31	"Informe Estudio de Mercado Tipo Gasolina Usada"	CNE	BST Consulting Group	Mayo 98
✓	32	"Análisis de Factores de Emisión de Fuente Fijas Fija y Móviles". 1º Informe Final.	CONAMA	CENMA	Diciembre 97
	33	"Estudio de Clasificación y Caracterización de las Fuentes Estacionarias de la R.M. Denominados Procesos en la base de Datos de PROCEF".	U. de Chile	PRICA	Septiembre 95
✓	34	"Diagnóstico Ambiental Planta Cemento Melón", (La Calera).		CICA. Ing. Consultores	1994
✓	35	"Informe Técnico Planta Industrial Cemento Melón".		SIGA. Ing. Consultores	Abril 97
✓	36	"Análisis de Factores de Emisión de Fuentes Fijas y Móviles". Informe Final. Programa Prioritario Nº2.		CENMA	Abril 2000
	37	"Estudio de Clasificación y Caracterización de las Fuentes Estacionarias de la R.M. Denominados Procesos en la base de Datos de PROCEF".		PRICA	Septiembre 95
	38	"Programa Prioritario Nº2. Sub Programa Fuentes Móviles".	CONAMA	CENMA	Diciembre 97

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Diagnóstico Integral de la Contaminación Atmosférica en la Macrozona Central de Chile.

Año 2001: Diagnóstico Preliminar

	Nº	Nombre Estudio	Encargado por	Ejecutado por	Fecha
✓	39	“Programa Prioritario Nº2. Sub Programa Fuentes Móviles”. (Disponible en CONAMA, CENMA)	CONAMA	CENMA	Diciembre 96
	40	“Análisis de la Política Ambiental Nacional en la Producción. Distribución y Consumo de Combustibles”.		CADE – IDEPE	1997
✓	41	“2º Fase Estudio de la Calidad del Aire en regiones Urbano – Industriales de Chile”. Informe Final.		CENMA	Mayo 2001
	42	“Análisis Crítico Red de Conteo de Flujos de Tráfico del Gran Santiago”.	SECTRA – UOCT	DICTUC – U.C	1999
	43	“Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano de Ciudades Intermedias”.		SECTRA	1997 – 2000
	44	“Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano del Gran Valparaíso”.	SECTRA	Fernández y De Cea Ingenieros Ltda.	1998 – 2000
	45	“Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano de la Ciudad de Temuco”.		SECTRA	1998
	46	“Modelo de Transportes para Simulación del Sistema de Transporte Urbano del Gran Valparaíso”		SECTRA	
✓C	47	“Actualización del Inventario de Emisiones de la R.M.”.	CONAMA	CENMA	Diciembre 2000
✓	48	Proyecto “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile”.		COSUDE	1997 – 1998
✓	49	Estudio “Diagnóstico de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile, V Región”.	CONAMA	Claudio Corvalán Robert y Marcelo Corral Fuentes	Agosto 99
✓	50	Proyecto COSUDE “ Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile para la Ciudad de Rancagua”.	CONAMA	CONAMA VI	1997 – 1998
	51	“Estudio de la calidad del Aire de Rancagua”.	Municipalidad de Rancagua	S.G.S. Eco Care	Abril 96
	52	“Programa de Implementación del PRAT”.		CONAMA VIII Región	Enero 96
✓C	53	“Proyecto Planta Ácido Sulfúrico Fundición Caletones”.		CODELCO Chile	Enero 94
✓	54	“Caracterización Físicoquímica del Material Particulado Inorgánico Primario. Distribución por tamaño y Modelo Receptor”.	CONAMA R.M.	Paulo Artaxo	1999
	55	“Metodologías para la Caracterización de la Calidad Ambiental”.	CONAMA	TESAM S.A	1996
	56	“Estudio para la Generación de Información de Soporte técnico – Científica Necesaria para la Elaboración del Plan de Descontaminación de Caletones”.	CONAMA	SGA Ltda.	1996
✓	57	“Dispersión regional de Azufre Oxidado en Chile Central Usando el Sistema HIRLAM – MATCH”-	CONAMA	Gallardo L., Olivares G., Aguallo A.	2000
✓	58	“Concentraciones Atmosféricas de SO ₂ en el Gran Valparaíso y Rancagua Versus Megafuentes de SO ₂ ”.	CONAMA	Santana c., Corbalán c.	2000
	59	“Informe de Seguimiento y Control al Plan de Descontaminación al Área		CONAMA VI Región.	1999

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Diagnóstico Integral de la Contaminación Atmosférica en la Macrozona Central de Chile.

Año 2001: Diagnóstico Preliminar

	Nº	Nombre Estudio	Encargado por	Ejecutado por	Fecha
		Circundantea la Fundición de Caletones de la División El Teniente, CODELCO – CHILE. Tercer Cuadrimestre 1999”.			
✓	60	“¿Cúanto Impacta Caletones en la Cuenca de Santiago? .Una estimación de Azufre Oxidado y una Inferencia para PM _{2,5} ”.	CONAMA	Gallardo L.	2001
	61	“Determinación de Emisiones Evaporativas de Hidrocarburos y su Distribución en Refinería Petrox”.		Petrox S.A.	
	62	“Modelo Conceptual de Gestión Ambiental de las Emisiones de SO ₂ en Petrox”.		Petrox S.A.	
	63	“Estudio de la Capacidad Predictiva de Modelos de dispersión Atmosférica Aplicados a la Estimación de la Calidad del Aire”.		Petrox S.A.	
	64	“Informes Mensuales de la División El Teniente, Conforme a la Resolución Nº3081 – 381 del 25 de Agosto de 1992 y Resolución Nº977 y 252 Emitidos por el Servicio de Salud O`Higgins en Conjunto con el Servicio Agrícola y Ganadero de la Sexta Región”	CODELCO CHILE	CONAMA VI Región	
✓C	65	Pre-Informe final “Antecedentes para la Revisión de las Normas de Calidad de Aire contenidas en la Resolución N° 1215 del Ministerio de Salud, 1978”	CONAMA	SGA	1998
✓C	66	Informe País, Estado del medio ambiente en Chile – 1999	CONAMA	CAPP, U. de Chile	2000
✓C	67	Carta de riesgo ecológico y conveniencia de protección, Aire-Clima	Gobierno Metropolitano Regional	U. de Chile	1999

Publicaciones

	N°	Nombre	Autor	Revista/seminario	Fecha
✓	1	"Source Apportionment of PM10 and PM2.5 in Five Chilean Cities Using Factors Analysis"	Ilias G. Kavouras and Petros Koutrakis Francisco Cereceda - Balic Pedro Oyola	Journal of the Air & Waste Management Association, Vol 51, 451-464	Marzo 2001
✓	2	"Development of Methods for Evaluating Options for Improving the Air Quality in Santiago, Chile and its Environs"	Michael D. Williams & Michael J. Brown	Disponible en internet www.lanl.gov/orgs/d/d4/aquality/chile.html	Octubre 1994
✓	3	"Plume Dispersion Sensitivity to Upper- Level Wind Variations in a Chilean Coastal Environment"	Michael J. Brown Michael D. Williams	Disponible en internet www.lanl.gov/orgs/d/d4/aquality/chile.html	Junio 1996
✓	4	"A Risk Assessment of Potential Agricultural Losses Due to Ambient SO2 in The Central Regions of Chile"	T. García Huidobro	Atmospheric Environment 35,4903-4915	2001
✓	5	"Aerosols in Santiago de Chile: A Study Using Receptor Modeling with X- Ray Fluorescence and Single Particle Analysis"	Carlos M. Rojas Paulo Artaxo René Van Grieken	Atmospheric Environment Vol 24B, N°2, pp. 227-241	1990
✓	6	"Análisis de los datos de Calidad del Aire de 1996 para Santiago-Chile, y sus implicaciones al Plan de Descontaminación de la Ciudad"	Luis Matamala V.	Air & Waste Management Association's 91 st annual Meeting exhibition.	Junio 1998

Memorias de titulación o Tesis de grado

	N°	Nombre	Institución	Autor	Fecha
✓C	1	“Meteorología Local Asociada al Nivel Actual de la Influencia de las Emisiones de la Planta Industrial Cemento Melón sobre la Capacidad del Aire de la Ciudad de La Calera”.	U. de Valparaíso	Leonardo Díaz Valenzuela	2000
✓	2	"Comportamiento Espacial y temporal de los Contaminantes Atmosféricos Medidos por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Santiago".	U. de Chile	Luis Alberto Gómez P.	2001
✓	3	"Distribución Temporal y espacial de los Contaminantes Atmosféricos de los Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana". Memoria de Título.	U. de Santiago de Chile	Carola Espinoza R.	2001
✓	4	“Localización Óptima de Puntos de Fiscalización en Vía Pública para el Sistema del Control de Emisiones Vehiculares RSD en la Ciudad de Santiago”.	USACH	Claudio Bustos, Yael Stein.	2001
✓	5	“Monitoreo Continuo de gases de Combustión desde Fuentes estacionarias y Validación de los Procedimientos de Análisis”. Memoria de Titulación.	USACH	Manuel Galleguillos.	1999
✓	6	“Estudio de la Contaminación Atmosférica en Santiago”. Memoria de Titulación.	USACH	René Arriagada.	1997
✓C	7	"Estudio Diagnóstico de la Calidad del Aire para la Ciudad de Rancagua".	U. de Chile	Ximena Ubilla Alvarez	2001
✓C	8	“Diagnóstico de la calidad del aire en el área geográfica que comprende las ciudades de Valparaíso y Viña del mar”	U. de Valparaíso	Marcelo Corral Fuentes	2000
✓C	9	“Diagnóstico y prediseño del sistema de manejo de episodios críticos de contaminación atmosférica para la Región Metropolitana”	U. de Chile	Jorge Cáceres Tonacca	2000
✓C	10	“Análisis de medidas contenidas en el PPDA de la Región Metropolitana”	U. de Chile	Victor Barrientos Boccoardo	2001

Cada una de las memorias de titulación se encuentran en las bibliotecas de las universidades respectivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE INVENTARIO DE EMISIONES

	N ^a	Nombre Estudio	Encargado por	Ejecutado por	Fecha
	1	“Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Energía, Procesos Industriales y Uso de Solventes Chile”.			1993 – 1994
	2	“Estudio del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Energía, Procesos Industriales y Uso de Solventes Chile”.	CONAMA	PRIEN.	Enero 99
✓C	3	“Inventarios de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en las Regiones V, VI y IX de Chile”. 2º Fase Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile.	CONAMA	CENMA	Junio 2001
✓	4	“Inventario de Emisiones Atmosféricas de la R.M. para 1997 y Proyecciones al 2005”.		CONAMA	1997
✓	5	“Actualización del Inventario de Emisiones en la R.M.”. Informe Final, Vol. II.	CONAMA	CENMA	Marzo 99
✓	6	“Actualización del Inventario de Emisiones en la R.M.”. 2º Etapa. Borrador del Informe Final, Vol. II. “Sistema de Administración del Inventario de Emisiones de la R.M.”	CONAMA	CENMA	Diciembre 99
	7	Estudio: “Actualización del Inventario de Emisiones de la R.M. 2º Etapa. Borrador del Informe Final Volumen 1. Línea base de Emisiones 1997-2005.	CONAMA	CENMA	Diciembre 99
✓	8	“Elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas para la Zona Denominada Gran Concepción”. 1º Informe de Avance.	CONAMA	CENMA	Junio 2001
✓C	9	“2º Fase estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile. Inventarios de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en las regiones V, VI y IX de Chile”. Informe Final.	CONAMA	CENMA	Junio2001

ESTUDIOS Y DECLARACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

	Nº	Nombre	Encargado por	Ejecutado por	Fecha
✓C	1	E.I.A: "Ampliación Capacidad Instalada en Nehuenco".	COLBUN S.A.	S.G.A. Iberis	Marzo 2000
✓C	2	E.I.A: "Central Ciclo Combinado Nehuenco".	COLBUN S.A.	Dames & Moore	Agosto 1996
✓C	3	E.I.A: "Utilización de Combustible Alternativo en el Horno Nº8 de la Fábrica Cemento Melón en La Calera".	Cemento Melón.	CADE - IDEPE	Abril 1998
✓	4	E.I.A: "Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Central Sn. Isidro".	Cia. Eléctrica Sn. Isidro.		Agosto 1996
✓	5	E.I.A: "Central Hidroeléctrica Alto Cachapoal".	Consultora Andrade Gutiérrez.		Octubre 1995
✓	6	E.I.A: "Central Termoeléctrica Candelaria"	COLBUN S.A.		Agosto 2000
✓	7	E.I.A: "Central Termoeléctrica Renca y Nueva Renca"	ESSA.		Enero 1996
✓	8	E.I.A: "Proyecto Hidroeléctrico Mapocho y Molina"	Andean Hydro Company S.A.		Agosto 2001
✓	9	E.I.A: "Sistema de Disposición de Relaves a Largo Plazo. Proyecto Embalse Ovejería".	División Andina. CODELCO - Chile		Noviembre 1993
✓C	10	E.I.A: "Proyecto de Expansión - 2, Mina los Bronces"	Cia. Minera Disputada Las Condes.		Octubre 1996
✓	11	E.I.A: "Proyecto Minero La Perla".	Minería Río Colorado S.A.		Octubre 1996
✓	12	E.I.A: "Proyecto Minero Pullalli".	Pegasus Minera de Chile Ltda.		Marzo 1996
✓	13	E.I.A: "Explotación Mina de Caliza Sector La Lijuela - Sta. Cruz".	Cementos Bío Bío.		Mayo 1997
✓	14	E.I.A: "Proyecto de Expansión -2, Mina Los Bronces".	Disputada Las Condes	GEOTECNIA Consultores.	Octubre 1996
✓	15	E.I.A: "Central termoeléctrica Renca y Nueva Renca".		Empresa Eléctrica Santiago.	Enero 1996
✓	16	E.I.A: "Ampliación Capacidad Instalada en Nehuenco"	COLBÚN S.A	Soluziona SGA.	Mayo 2000
✓	17	E.I.A: "Ampliación Siderúrgica AZA S.A".	Siderúrgica AZA S.A		Diciembre 1996
✓	18	E.I.A: "Proyecto Terminal de Combustibles, Planta Concón".	COPEC S.A		Octubre 2000
✓	19	D.I.A: "Concesión, Diseño y Construcción del terminal Rodoviario de Viña del Mar".	COINCO S.A	Asíntota Ltda.	Octubre 2000
✓	20	D.I.A: "Operación Transitoria de Turbo Grupos a Gas Natural Sector La Venecia".	ENDESA	Dames & Moore.	Septiembre 1998

APENDICE A1

INDICE

1.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS ATMOSFÉRICAS PARA FUENTES FIJAS A NIVEL NACIONAL Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE SOPORTE ECONÓMICO PARA LA DICTACIÓN DE UNA NORMA DE EMISIÓN PARA CENTRALES TERMOELÉCTRICAS:	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Objetivos Generales.....	1
1.3	Identificación de la Información Disponible a Nivel Nacional, Sectores Industriales:	3
1.3.1	Sector Fundición de Cobre.....	3
1.3.2	Producción de Cemento:	3
1.3.3	Centrales Térmicas:.....	4
1.3.4	Industria de Pulpa, Papel y Cartón:.....	4
1.3.5	Producción de Vidrio:	4
1.3.6	Fundición y Procesamiento de Hierro y Acero	4
1.3.7	Refinerías de Petróleo:	4
1.3.8	Plantas Químicas:.....	4
1.4	Resumen de Antecedentes Regionales de la Calidad del Aire y su Relación con Fuentes de Emisión:	4
1.4.1	V Región:	4
1.4.2	VI Región:	6
1.4.3	VII Región:.....	6
1.4.4	VIII Región:	6
2.	DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA V REGIÓN, P- 979, INFORME FINAL:	7
2.1	Introducción:	7
3.	SEGUNDA FASE ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO - INDUSTRIALES DE CHILE: INVENTARIOS DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LAS REGIONES V, VI Y IX DE CHILE:.....	8
4.	ESTUDIO ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE RM. SEGUNDA ETAPA. INFORME FINAL, VOLUMEN I Y II	8
4.1	Volumen I:.....	8
4.1.1	Fuentes Estacionarias:	8
4.1.2	Fuentes Móviles:	8
4.1.3	Otras Fuentes:.....	9
4.2	Volumen II:	9

5.	RESUMEN EJECUTIVO; MEJORAMIENTO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA REGIÓN METROPOLITANA. INFORME FINAL.....	9
5.1	Objetivo del Estudio:.....	9
5.2	Fuentes Móviles:	9
5.3	Fuentes Estacionarias:	9
6.	INFORME PAÍS; SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL PATRIMONIO CULTURAL:	10
6.1	Introducción.....	10
6.2	Monitoreo de Contaminantes en la Región Metropolitana (8 estaciones)....	10
6.3	Monitoreo de Contaminantes en la V Región:.....	10
6.4	Monitoreo de Contaminantes en la VI Región:	10
6.5	Monitoreo de Contaminantes en la VIII Región:	10
7.	PROYECTO OTAS, II ETAPA: CARTA DE RIESGO ECOLÓGICO Y CONVENIENCIA DE PROTECCIÓN AIRE – CLIMA:.....	11
7.1	Objetivos:	11
7.1.1	Monitoreo de Contaminantes:	11
7.1.2	Valores de las siguientes estaciones de Monitoreo:	11
8.	PROYECTO COSUDE. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO – INDUSTRIALES PARA LA CIUDAD DE RANCAGUA, INFORME FINAL:.....	13
8.1	Puntos de Monitoreo para los Contaminantes SO₂ y NO₂ en la ciudad de Rancagua.....	13
8.2	Puntos de Monitoreo para los Contaminantes O₃ en la ciudad de Rancagua:.....	13
8.3	Monitores de Material Particulado Respirable:	13
9.	PROYECTO: ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO – INDUSTRIALES DE CHILE, INFORME FINAL:	14
9.1	Rancagua:.....	14
9.1.1	Monitoreo de NO ₂ :	14
9.1.2	Monitoreo de SO ₂ :	14
9.1.3	Monitoreo de O ₃ :	14
9.1.4	Monitoreo de PM ₁₀ y PM _{2.5} :.....	14
9.2	Valparaíso:	14
9.2.1	Monitoreo de NO ₂ :	14
9.2.2	Monitoreo de SO ₂ :	14
9.2.3	Monitoreo de O ₃ :	14
9.2.4	Monitoreo de PM ₁₀ y PM _{2.5} :.....	15

9.3	9.3 Viña del Mar:	15
9.3.1	Monitoreo de NO ₂ :	15
9.3.2	Monitoreo de SO ₂ :	15
9.3.3	Monitoreo de O ₃ :	15
9.3.4	Monitoreo de PM ₁₀ y PM _{2.5} :.....	15
10.	PROYECTO PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO FUNDICIÓN CALETONES:	16
10.1	Introducción:	16
10.2	Monitoreo de Dióxido de Azufre:	16
10.2.1	Se analizan las concentraciones de este contaminante durante 1992 – 1993, para las siguiente zonas:	16
11.	MEMORIA DE TITULACIÓN: ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA LA CIUDAD DE RANCAGUA:	17
11.1	Dióxido de Azufre:	17
11.2	Dióxido de Nitrógeno:	17
11.3	Ozono:	17
11.4	Material Particulado:	17
12.	D.I.A. OPERACIÓN TRANSITORIA DE TURBOGRUPOS A GAS NATURAL, SECTOR LO VENECIA, V REGIÓN	17
13.	E.I.A: PROYECTO DE EXPANSIÓN – 2, MINA LOS BRONCES:	18
13.1	Calidad del Aire:	18
13.1.1	Área Los Bronces:	18
13.1.2	Área Mineroducto:	18
13.1.3	Área Las Tórtolas:	18
14.	E.I.A. UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN EL HORNO 8 DE LA FÁBRICA CEMENTO MELÓN EN LA CALERA: ..	19
14.1	Emisiones Atmosféricas en la Fábrica de Cemento:	19
15.	E.I.A. PLANTA CONCÓN	20
15.1	Calidad del Aire en Concón	20
15.1.1	Concentraciones de NO ₂	20
15.1.2	Concentraciones de SO ₂ :	20
15.1.3	Concentraciones de O ₃ :	20
15.1.4	Concentraciones de PM ₁₀ :.....	20
16.	E.I.A. CENTRAL CICLO COMBINADO NEHUENCO; INFORME FINAL, EMPRESA COLBÚN MACHICURA	21
16.1	Calidad del Aire:	21
17.	E.I.A: CENTRAL TERMOELÉCTRICA RENCA Y NUEVA RENCA	21

18.	E.I.A: AMPLIACIÓN CAPACIDAD INSTALADA EN NEHUENCO; MARZO 2000.....	22
18.1	Calidad del Aire:	22
18.1.1	Niveles de Calidad de Aire Medidos por la Red de Monitoreo:	22
18.2	Plan de Seguimiento Ambiental	22
18.2.1	Calidad del Aire	23
19.	E.I.A. AMPLIACIÓN CAPACIDAD INSTALADA EN NEHUENCO; MAYO 2000	24
20.	MEMORIA DE TITULACIÓN: DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA GEOGRÁFICA QUE COMPRENDE LAS CIUDADES DE VALPARAÍSO Y VIÑA DEL MAR	24
21.	MEMORIA DE TITULACIÓN: METEOROLOGÍA LOCAL ASOCIADA AL NIVEL ACTUAL DE INFLUENCIA DE LAS EMISIONES DE LA PLANTA INDUSTRIAL CEMENTO MELÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA LOCALIDAD DE LA CALERA	25
21.1	Objetivo general.....	25
21.1.1	Objetivos generales	25
21.2	Calidad del Aire.....	25
22.	MEMORIA DE TITULACIÓN: DIAGNÓSTICO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE EPISODIOS CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO.....	26
22.1	Objetivo General:	26
22.2	Estaciones de Monitoreo:.....	26
23.	MEMORIA DE TITULACIÓN: ANÁLISIS DE MEDIDAS CONTENIDAS EN EL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA REGIÓN METROPOLITANA	26
23.1	Objetivos:	26
24.	DIAGNOSTICO, EVALUACIÓN Y PROPOSICIONES DE MEJORAMIENTO DE REDES DE MONITOREO DE AGUA Y AIRE... 	27
24.1	Objetivos:	27
24.2	Redes Consideradas en el Estudio:	27
25.	PRE-INFORME FINAL DEL ESTUDIO “ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LAS NORMAS DE CALIDAD DE AIRE CONTENIDAS EN LA RESOLUCIÓN N° 1215 DEL MINISTERIO DE SALUD, 1978”	28
25.1	Información recopilada en el estudio.....	28

25.2	Análisis de Antecedentes y Proposiciones Sobre Dióxido de Azufre	30
26.	ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO-INDUSTRIALES DE CHILE, V REGIÓN; INFORME FINAL 1º FASE.....	33

1. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS ATMOSFÉRICAS PARA FUENTES FIJAS A NIVEL NACIONAL Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE SOPORTE ECONÓMICO PARA LA DICTACIÓN DE UNA NORMA DE EMISIÓN PARA CENTRALES TERMOELÉCTRICAS:

1.1 Introducción

El estudio "Propuesta de Implementación de Normas Atmosféricas para Fuentes Fijas a Nivel Nacional y Recopilación de Información de Soporte Económico para la Dictación de una norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas" presenta un resumen de antecedentes regionales de la calidad del aire y su relación con fuentes de emisión.

Los objetivos de este estudio son bastante amplios en el sentido de establecer un plan de normas global para el sector industrial y desarrollar normas específicas para todo tipo de centrales termoeléctricas y no sólo aquellas que utilizan combustibles sólidos.

1.2 Objetivos Generales

- Generar antecedentes básicos para implementar un plan de normas de emisión en el corto y mediano plazo para actividades industriales ubicadas fuera de las zonas saturadas o latentes actualmente existentes en el país.
- Generar información de soporte técnico y económico para la dictación de una norma de emisión que regule la contaminación atmosférica de la actividad termoeléctrica en el país.

Tabla 1.1: Sectores Industriales y Fuentes de Emisión por Región

Región	Fuentes de Emisión	Empresas y Plantas Industriales	Ciudad cercana
V	Hornos de cemento Hornos de fundición de cobres Refinería de petróleo Central termoeléctrica	Cemento Melón ENAMI Ventanas Exxon Chagres ENAP-RPC Nehuenco Laguna Verde Ventanas Sn. Isidro	Valparaíso y otros Valparaíso y otros San Felipe, La Calera, Llay-Llay Valparaíso y otros Valparaíso y otros Valparaíso y otros Valparaíso y otros Valparaíso y otros
VI	Hornos de fundición de cobre Caldera Industrial (industria de pulpa y papel) Elab. y coservación de frutas, leg. y hortalizas.	CODELCO Teniente Papelería del Placífico Calderas múltiples	Rancagua Rancagua Rancagua
VII	Caldera Industrial (industria de papel y cartón)	Celulosa Constitución Celulosa Licancel Papel: CMPC Planta	Constitución Licancel Sn. Javier, Talca y Linares

Región	Fuentes de Emisión	Empresas y Plantas Industriales	Ciudad cercana
	Caldera Industrial (industria del azúcar) Elab. y conservación de frutas, leg. y hortalizas Horno de cemento Central Termoeléctrica	Maule IANSA Curicó Calderas múltiples Cemento Bío Bío: planta Teno Celco Los Robles Constitución	Curicó Curicó Teno, Curicó, Sn. Fernando Constitución Curicó Talca
VIII	Horno de cemento Caldera industrial (industria de papel y cartón) Caldera Industrial (industria del azúcar) Planta Petroquímica Planta química Hornos de virio Industria textil Hornos de fundición acero Sector Pesca (Calderas) Refinería de petróleo Central termoeléctrica	Cemento Bío Bío Celulosa Arauco Inforsa, Forestal Sta. Fé CPMC Celulosa Laja Papeles Bío Bío IANSA Chillán IANSA Los Ángeles Petroquímica Dow, Occidental Chemical, Petroquim Eka Chemicals Chile Vidrios Lirquén Machasa Siderurgia Huachipato (CAP) El Golfo, Itatas, Landes, Bío Bío, Alimar ENAP: PETROX Arauco Bocamina Cabrero Laja Petropower	Concepción y otros Arauco, Lota, Coronel Nacimiento, Los Ángeles, Ángol Los Ángeles Concepción y otros Chillán Los Ángeles Concepción y otros Concepción y otros Concepción y otros Concepción y otros Concepción y otros Concepción y otros Concepción y otros Arauco Coronel Chillán Los Ángeles Talcahuano

Tabla 1.2: Emisiones Relevantes de los Contaminantes Criterio por Región

Región	Fuente de Emisión	MP	CO	NO _x	COV	SO ₂
V	Hornos de cemento	*	*	*		*
V	Hornos de fundición de cobres	*				*
V	Refinería de petróleo	*	*			*
VI	Caldera Industrial (industria de pulpa y papel)	*				*
VI	Elab. y conservación de frutas, leg. y hortalizas.	*				
VI	Hornos de fundición de cobre	*				*
VII	Caldera Industrial (industria de papel y cartón)	*		*		*

Región	Fuente de Emisión	MP	CO	NO_x	COV	SO₂
VII	Caldera Industrial (industria del azúcar)	*		*		*
VII	Elab. y conservación de frutas, leg. y hortalizas	*				
VII	Horno de cemento	*	*	*		*
VIII	Horno de cemento	*	*	*		*
VIII	Caldera industrial (industria de papel y cartón)	*		*		*
VIII	Caldera Industrial (industria del azúcar)	*				
VIII	Planta Petroquímica	*			*	
VIII	Hornos de vidrio	*		*		
VIII	Hornos de fundición acero	*				
VIII	Sector Pesca (Calderas)	*				
VIII	Refinería de petróleo	*	*			*
VIII	Industria textil	*				

1.3 Identificación de la Información Disponible a Nivel Nacional, Sectores Industriales:

1.3.1 Sector Fundición de Cobre

Las principales fundiciones de cobre que se identificaron fueron las siguientes:

- Codelco Chuquicamata
- Alto Norte
- Codelco Potrerillos
- Enami Paipote
- Enami Ventanas
- Exxon Chagres
- Codelco Teniente

Por condiciones de saturación en PM10 y SO₂ ya cuentan con plan de descontaminación las siguientes:

- Codelco Chuquicamata
- Codelco Potrerillos
- Enami Paipote
- Enami Ventanas
- Codelco Teniente

Por condiciones de latencia ya cuenta con plan de prevención:

- Exxon Chagres

1.3.2 Producción de Cemento:

- Cemento Melón (V región)
- Cemento Bío Bío Planta Teno (VII región)
- Cemento Bío Bío (VIII región)

1.3.3 Centrales Térmicas:

- Renca (R.M)
- Nueva Renca (R.M)
- Nehuenco (V región)
- Laguna Verde (V región)
- Ventanas (V región)
- Sn. Isidro (V región)
- Celco (VII región)
- Los Robles (VII región)
- Constitución (VII región)
- Arauco (VIII región)
- Bocamina (VIII región)
- Cabrero (VIII región)
- Laja (VIII región)
- Petropower (VIII región)

1.3.4 Industria de Pulpa, Papel y Cartón:

- Papelera del Pacífico (VI región)
- Celulosa Constitución (VII región)
- Inforsa (VII región)
- Forestal Sta. Fé (VII región)
- CPMP Celulosa Laja (VII región)
- Papeles Bío Bío (VIII región)

1.3.5 Producción de Vidrio:

- Vidrios Lirquen (VIII región)

1.3.6 Fundición y Procesamiento de Hierro y Acero

- Siderúrgica Huachipato (VII región)

1.3.7 Refinerías de Petróleo:

- ENAP RPC (V región)
- ENAP PETROX (VIII región)

1.3.8 Plantas Químicas:

- Petroquímica Dow (VIII región)
- Occidental Chemical (VIII región)
- Petroquim (VIII región)
- Eka Chemicals Chile (VIII región).

1.4 Resumen de Antecedentes Regionales de la Calidad del Aire y su Relación con Fuentes de Emisión:

1.4.1 V Región:

1.4.1.1 Valparaíso:

Monitoreo de NO₂:

Se analizan promedios anuales desde junio-97 hasta mayo-98, en 15 puntos de monitoreo y promedios mensuales desde abril-97 hasta junio-98.

Monitoreo de SO₂:

Se analizan promedios anuales desde junio-97 hasta mayo-98, en 15 puntos de monitoreo y promedios mensuales desde abril-97 hasta junio-98.

Monitoreo de O₃:

Se analiza la concentración promedio de anual y mensual para 15 estaciones.

Monitoreo de PM₁₀ y PM 2.5:

Se analizan las concentraciones diarias de PM₁₀ y PM 2.5 desde noviembre-97 hasta diciembre-98 en 6 estaciones de monitoreo.

1.4.1.2 Viña del Mar:

Monitoreo de NO₂:

Se analizan promedios anuales desde junio-97 hasta mayo-98, en 15 puntos de monitoreo y promedios mensuales desde abril-97 hasta junio-98.

Monitoreo de SO₂:

Se analizan promedios anuales desde junio-97 hasta mayo-98, en 15 puntos de monitoreo.

Monitoreo de O₃:

Se analiza la concentración promedio anual para 15 estaciones.

Monitoreo de PM₁₀ y PM 2.5:

Se analizan las concentraciones diarias de PM₁₀ y PM 2.5 desde noviembre-97 hasta diciembre-98 en 6 estaciones de monitoreo.

1.4.1.3 Chagres, Ventanas y Quillota:

Localidad	Período	N° de estaciones
Chagres	1998	4
	1999	4
	Enero-Abril 1998	1
	Enero-Abril 1999	1
	Enero-Abril 2000	4
Ventanas	1997	5
	1998	5
	1999	5
	Enero-Abril 2000	5
Quillota	Octubre-Diciembre 1998	3
	Febrero-Diciembre 1999	1
	1999	1
	Enero 1999	1
	Agosto-Diciembre 1999	1
	Febrero-Julio 1999	1
	Enero 1999	1

1.4.2 VI Región:

1.4.2.1 Rancagua:

Monitoreo de NO₂:

Promedios mensuales desde junio-97 hasta mayo-98, en 15 puntos.

Monitoreo de SO₂:

Promedios mensuales desde junio-97 hasta mayo-98, en 15 puntos.

Monitoreo de O₃:

Promedios semanales, por estación.

Monitoreo de Material Particulado:

Concentraciones diarias de PM₁₀ y PM_{2.5} desde noviembre-97 hasta diciembre-98 en 6 estaciones de monitoreo.

1.4.2.2 Caletones:

Se analizan los promedios anuales, el número de veces que se supera la norma diaria y horaria de SO₂ durante el período 1999-2000.

1.4.3 VII Región:

No existen antecedentes de monitoreo de contaminantes en esta región.

1.4.4 VIII Región:

1.4.4.1 Talcahuano:

Monitoreo de SO₂:

Se analizan los promedios anuales y el N° de veces que se supera la norma diaria y horaria para los períodos Septiembre-Diciembre 1998 (Bomberos), Febrero98-Enero99 (C. Esquinas) y Enero-Mayo 2000 (Bomberos).

2. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA V REGIÓN, P-979, INFORME FINAL:

2.1 Introducción:

El proyecto "Diagnóstico de la Calidad del Aire en la V Región", tiene como objetivo global, el aportar los elementos de juicio técnicos que permitan a las autoridades rectoras del medio ambiente, realizar una adecuada y eficiente gestión ambiental en relación tanto a la regulación de la incorporación y modificación de nuevas fuentes emisoras, como el control de las actuales.

Inicialmente la red de monitoreo consideraba las siguientes estaciones de medición:

- Rungue
- Los Maitenes
- Nogales
- Sur
- Viña del Mar
- Valparaíso

Se analizan los promedios anuales, los máximos de los promedios diarios y los máximos horarios de SO₂ y PM10.

Tabla 2.1: Descripción de las estaciones de medición Rural

N°	Nombre	Monitoreo	Provincia/Comuna	Período de medición
1	Los Maitenes	SO ₂ , partículas en suspensión	Valparaíso/Ventanas	1° abril - 31 julio 1993
2	Sur	SO ₂ , partículas en suspensión	Valparaíso/Con-Cón	1° abril - 31 marzo 1994
3	Rungue	SO ₂ , partículas en suspensión, O ₃	Chacabuco/Til-Til	16 mayo-31 octubre 1993
4	Nogales	SO ₂ , partículas en suspensión	Quillota/Nogales	16 mayo 1993 -7 mayo 1994
5	La Cruz	SO ₂ , partículas en suspensión	Quillota/LaCruz	8 noviembre 93-21 marzo 94
8	Con-Cón	SO ₂ , partículas en suspensión	Valparaíso/Quinteros	24 octubre 93-31 mayo 94

Tabla 2.2: Descripción de las estaciones de medición urbana

N°	Nombre	Monitoreo	Provincia/Comuna	Período de medición
5	Valparaíso	SO ₂ , O ₃ , CO, NO Y NO ₂ , PM10	Valparaíso/Valparaíso	15 julio 1993-diciembre 1994
6	Viña del Mar	SO ₂ , O ₃ , CO, NO Y NO ₂ , PM10	Valparaíso/Viña del Mar	

3. SEGUNDA FASE ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO - INDUSTRIALES DE CHILE: INVENTARIOS DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LAS REGIONES V, VI Y IX DE CHILE:

El objetivo fundamental de este estudio, es elaborar los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos en zonas urbano - industriales de las ciudades de Rancagua, Valparaíso, Viña del Mar y Temuco.

4. ESTUDIO ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE RM. SEGUNDA ETAPA. INFORME FINAL, VOLUMEN I Y II

4.1 Volumen I:

En el volumen I, se entrega una cuenta consolidada de las actividades y resultados más relevantes logrados por el grupo CENMA en el período comprendido entre septiembre de 1996 a diciembre de 1999, período que considera la ejecución de los proyectos: Programa Prioritario 2: Análisis de Factores de Emisión para Fuentes Fijas y Móviles (1996-1997) y Actualización del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana (1998-1999).

4.1.1 Fuentes Estacionarias:

Se consideraron cinco categorías de fuentes: calderas de calefacción, calderas industriales, panaderías, procesos y procesos grandes.

4.1.1.1 Emisiones de Material Particulado:

Se desarrolló a partir de la información de muestreos isocinéticos vigentes a julio de 1996, contenidos en la bases de fuentes fijas de PROCEF (Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas. Ministerio de Salud).

4.1.1.2 Emisiones gaseosas:

Ante la inexistencia de muestreos de gases, todas las emisiones debieron ser estimadas a partir de factores de emisión.

4.1.2 Fuentes Móviles:

- Motocicletas
- Taxis catalíticos
- Taxis no catalíticos
- Vehículos comerciales catalíticos
- Vehículos comerciales no catalíticos
- Automóviles particulares catalíticos
- Automóviles particulares no catalíticos

4.1.3 Otras Fuentes:

- Lavasecos
- Talleres de automóviles
- Uso de combustibles

4.2 Volumen II:

En el volumen II, se presenta como objetivo fundamental del estudio, el diseño e implementación del Sistema de Administración de Inventarios (SAIE), iniciado durante 1998.

5. RESUMEN EJECUTIVO; MEJORAMIENTO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA REGIÓN METROPOLITANA. INFORME FINAL

5.1 Objetivo del Estudio:

- Mejoramiento de la línea base de emisiones 1997 - 2005
- Elaboración del inventario de emisiones de la Región Metropolitana, con información actualizada al año 2000.
- Puesta a punto del Sistema de Administración del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana, SAIE.

5.2 Fuentes Móviles:

- Generación e incorporación de perfiles de flujos especiales para buses
- Revisión y modificación de los criterios utilizados para la proyección de la composición vehicular al año 2005
- Revisión y mejora del cálculo e emisiones asociadas a máquinas agrícolas

5.3 Fuentes Estacionarias:

- Se mejoró el cálculo de emisiones de pequeños procesos industriales y panaderías, haciendo uso de información base 1997, provenientes de la base de datos F. Fijas del mismo año, proporcionada por PROCEFF
- Se mejoró de emisiones de grandes procesos, haciendo uso de la información contenida en la declaración de emisiones 1997, proporcionada por PROCEFF.

6. INFORME PAÍS; SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL PATRIMONIO CULTURAL:

6.1 Introducción

Este documento entrega un análisis resumido de los principales antecedentes disponibles sobre la calidad del aire en el país hasta septiembre de 1999, en especial para la Región Metropolitana.

6.2 Monitoreo de Contaminantes en la Región Metropolitana (8 estaciones)

Material Particulado:

- Se analizan los días de excedencia a la norma y los promedios trienales 1989-91 y 1996-99 y la tendencia histórica (1989-1999) de PM₁₀ y PM_{2,5} en la R.M.
- Además se muestra la distribución de PM₁₀ por meses promedios 1989-1998 y meses de 1999, así como los días de superación de normas de episodios.

Monóxido de Carbono:

- Excedencias a la norma de 8 horas y niveles de contaminación según estaciones de monitoreo y las concentraciones máximas mensuales promedios (1989-1992).

Ozono:

- Excedencias a norma horaria y niveles de contaminación por estaciones de monitoreo.

6.3 Monitoreo de Contaminantes en la V Región:

Para esta región se presentan antecedentes para las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, obtenidos de CONAMA 1999. Además se entregan antecedentes extraídos del Plan de Descontaminación de Ventanas de ENAMI y de CHILGENER con la Central termoeléctrica Ventanas.

6.4 Monitoreo de Contaminantes en la VI Región:

Se analiza la estimación de emisiones atmosféricas para 1997, así como el resumen de monitoreo de la calidad del aire en 1998. Además se presentan antecedentes relativos al Plan de Descontaminación de la Fundición Caletones (emisión anual de azufre y material particulado 1998-1999, episodios críticos)

6.5 Monitoreo de Contaminantes en la VIII Región:

Se entrega el inventario de emisiones Intercomuna Concepción - Talcahuano y el parque de vehículos motorizados en Concepción para 1997 y 1998, así como la concentración de PM₁₀ y plomo en Concepción para 1999.

7. PROYECTO OTAS, II ETAPA: CARTA DE RIESGO ECOLÓGICO Y CONVENIENCIA DE PROTECCIÓN AIRE – CLIMA:

7.1 Objetivos:

Objetivo general:

- Elaborar una carta georreferenciada que integre los diversos factores naturales y antrópicos que se combinan en la determinación del riesgo a que están sometidos el recurso Aire – Clima frente a la acción humana, en la Región Metropolitana.

Objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico de los componentes Aire – Clima en la R.M., basado en indicadores de aptitud del medio y sensibilidad del medio.
- Elaborar una carta que sintetice e identifique zonas con distintos niveles de deterioro, que apoye la definición de zonas que requieren medidas de protección y recuperación.
- Generar información que permita analizar el efecto de los distintos usos del territorio y la localización de actividades sobre los problemas de conservación y recuperación de la calidad del aire.

7.1.1 Monitoreo de Contaminantes:

Se analizan los valores promedios de concentraciones de contaminantes normalizados 1995- 1996, los valores de referencia para los promedios anuales y la excedencia de norma diaria para PM10 y para ozono.

7.1.2 Valores de las siguientes estaciones de Monitoreo:

Red MACAM:

- A Plaza Gotuzzo (1998)
- B Providencia (1998)
- C-F La Paz (1998)
- D Parque O`Higgins (1998)
- M Las Condes (1998)
- L La Florida (1998)
- Pudahuel (1998)
- P Cerrillos (1998)
- Q El Bosque (1998)

Red de Vigilancia SESMA

- E – 14 La Pintana (Abr 96 – Ago 96)
- E - 18 Av. Ossa (Abr 96 – Ago 96)
- E – 27 Cerrillos (Abr 96 – Ago 96)

Proy. Modelo Sanmod

- Kalinka (Jul 88 – Ene 89)

Proy. Ovejería

- H. Familiares (Jul 92 – Jul 93)

- Sta. Matilde (Jul 92 – Ago 92)
- Aeródromo (Dic 92 – Ago 93)

Polpaico

- Parc. La Pradera (Sep 92 – Feb 93)
- Punta Peuco (Marzo 93 – Ago 93)

Planta Tissue

- Fdo. La Higuera (Feb 93 – Jun 93)

Mediciones CENMA

- Esc. Agric. Talag. (Ene 98 – Dic 98)
- Peldehue (Ene 98 – Dic 98)

8. PROYECTO COSUDE. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO – INDUSTRIALES PARA LA CIUDAD DE RANCAGUA, INFORME FINAL:

8.1 Puntos de Monitoreo para los Contaminantes SO₂ y NO₂ en la ciudad de Rancagua

- Alameda – Estado
- Brasil – Rubio
- Alameda – Sta. María
- Baquedano – Coke
- Unión Latinoamericana
- Alcázar altura 400
- B. Villalobos – C. El Cobre
- Einstein – M. Ramírez
- Alameda – Victoria
- Recreo – República
- República – Av. La Compañía
- Estados Unidos, Rancagua Sur
- Sector El Cardal
- Sector La Palma Chica

8.2 Puntos de Monitoreo para los Contaminantes O₃ en la ciudad de Rancagua:

- Brasil – Rubio
- B. Villalobos – C. E Cobre
- Recreo – República
- República – Av. La Compañía
- Sector Cancha de Polo
- Sector La Palma Chica
- Quinta Cia. de Bomberos
- Camino La Cruz

8.3 Monitores de Material Particulado Respirable:

- OS-7 Carabineros, Av. Kennedy N°1220
- Tenencia Diego Portales, Constanza N°720
- Quinta Cia. de Bomberos Rancagua Oriente
- Apruc, Millán N°879 – A
- Cmdacia. Bomberos Rancagua, Brasil Rubio.

9. PROYECTO: ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO – INDUSTRIALES DE CHILE, INFORME FINAL:

9.1 Rancagua:

9.1.1 Monitoreo de NO₂:

Se analizan datos desde junio de 1997 hasta diciembre de 1998 para 12 puntos urbanos de monitoreo. Se muestra el promedio aritmético anual y el promedio mensual de este contaminante.

9.1.2 Monitoreo de SO₂:

Se analizan las concentraciones promedio aritmética anual y promedio mensual de SO₂ desde junio de 1997 a diciembre de 1998, para 12 puntos de monitoreo.

9.1.3 Monitoreo de O₃:

Se muestra el promedio semanal y semestral de ozono desde diciembre de 1997 a mayo de 1998, para 8 puntos de monitoreo.

9.1.4 Monitoreo de PM₁₀ y PM_{2.5}:

Muestra las concentraciones promedio mensual desde Nov 97 – Dic 98 para los diversos monitores emplazados.

9.2 Valparaíso:

9.2.1 Monitoreo de NO₂:

Se analizan datos desde junio de 1997 hasta mayo de 1998 para 15 puntos urbanos de monitoreo. Se muestra el promedio aritmético anual y el promedio mensual de este contaminante. Además se realizó el monitoreo de este contaminante para el período Ago – Dic de 1998.

9.2.2 Monitoreo de SO₂:

Se analizan las concentraciones promedio aritmética anual y promedio mensual de SO₂ desde junio de 1997 a diciembre de 1998, para 15 puntos. Además se realizó el monitoreo de este contaminante para el período Ago – Dic 1998.

9.2.3 Monitoreo de O₃:

Se muestra el promedio de ozono de 6 meses desde diciembre de 1997 a mayo de 1998, para 8 puntos de monitoreo a demás de su variabilidad temporal en el período Oct – Dic 98 en 4 puntos.

9.2.4 Monitoreo de PM10 y PM2.5:

Se analiza la concentración de PM10 y PM2.5 en un período de 13 meses (15 noviembre de 1997 a 29 diciembre de 1998) para diversas estaciones de monitoreo.

9.3 9.3 Viña del Mar:

9.3.1 Monitoreo de NO₂:

Se muestra el promedio aritmético anual y el promedio mensual de este contaminante desde Jun-97 a May-98, para 15 estaciones de monitoreo. Además se realizan mediciones entre agosto y diciembre de 1998 en 9 puntos de medición.

9.3.2 Monitoreo de SO₂:

Se analizan las concentraciones promedio aritmética anual de SO₂ desde junio de 1997 a mayo de 1998, para 15 puntos. Además se realizó el monitoreo mensual de este contaminante para el período Ago – Dic 1998.

9.3.3 Monitoreo de O₃:

Se muestra el promedio de ozono de 6 meses desde diciembre de 1997 a mayo de 1998, para 8 puntos de monitoreo, además de sus concentraciones semanales en el período Oct – Dic 98.

9.3.4 Monitoreo de PM10 y PM2.5:

Se analiza la concentración de PM10 y PM2.5 durante el período noviembre 97 – diciembre 98 para 6 estaciones de monitoreo.

10. PROYECTO PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO FUNDICIÓN CALETONES:

10.1 Introducción:

En este informe se presenta una justificación ambiental para la construcción de las obras que tendrán por objeto disminuir las emisiones gaseosas de la fundición que contamina el entorno de Caletones.

Se toma como base la información recolectada por la red de monitoreo de la División El Teniente, que indica el grado de contaminación existente.

10.2 Monitoreo de Dióxido de Azufre:

10.2.1 Se analizan las concentraciones de este contaminante durante 1992 – 1993, para las siguiente zonas:

- Zona poblacional y agrícola Coya
- Área industrial Sewell
- Zona poblacional y agrícola Machalí
- Área industrial Caletones
- Área industrial Colón

11. MEMORIA DE TITULACIÓN: ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA LA CIUDAD DE RANCAGUA:

Los puntos de monitoreo utilizados para este estudio están citados en el Proyecto COSUDE (Nº8 de este informe).

11.1 Dióxido de Azufre:

Se analiza la variación espacial de este contaminante desde junio 97 a diciembre 98 para 20 puntos de monitoreo, así como la evolución temporal para el mismo período.

11.2 Dióxido de Nitrógeno:

Se analiza la variación espacial de este contaminante desde junio 97 a diciembre 98 para 15 puntos de monitoreo, así como la evolución temporal para el mismo período.

11.3 Ozono:

Se monitorea la concentración de O₃ durante 6 meses (Dic 97 - May 98) y el promedio semestral para 8 estaciones.

11.4 Material Particulado:

Se analiza la variación temporal y espacial de este contaminante para el período Nov 97 – Dic 98.

12. D.I.A. OPERACIÓN TRANSITORIA DE TURBOGRUPOS A GAS NATURAL, SECTOR LO VENECIA, V RGIÓN

Se analizan las concentraciones diarias y anuales de NO₂, SO₂ y PM₁₀.

Tabla 12.1: Estaciones de Monitoreo

Lugar	Parámetros
Quillota	NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀
Limache	NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀
La Calera	NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀
San Pedro	NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀
Pje. Co. Queronque	NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀
Cc. La Campana	NO ₂ , SO ₂

13. E.I.A: PROYECTO DE EXPANSIÓN – 2, MINA LOS BRONCES:

13.1 Calidad del Aire:

13.1.1 Área Los Bronces:

Se efectuaron mediciones para los siguientes contaminantes:

- Partículas Totales en Suspensión PTS (abril – mayo 96, con registros de 24 horas cada 3 días)

Material Particulado Respirable PM10 (abril – mayo 96, con registros de 24 horas cada 3 días).

Las mediciones de PTS y PM10 se efectuaron en la estación Stock Río, ubicada aguas arriba de la confluencia del río San Francisco con los esteros.

13.1.2 Área Mineroducto:

Dada las características de las obras en esta área y la escasa actividad que ella presenta, no se realizó una caracterización de la calidad del aire basada en mediciones.

13.1.3 Área Las Tórtolas:

- Partículas Totales en Suspensión PTS
- Material Particulado Respirable

La información disponible para caracterizar PTS y PM10 cubre los siguientes períodos:

- Sep – Nov 1980, estación M3
- Ene – Dic 1982, estación M2 y M3
- Jun – Ago 1984, estación M2 y M3
- Abril 1996, estación M2 y M3
- Agosto 1996, estación M2 y M3 (sólo PM10).

14. E.I.A. UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN EL HORNO 8 DE LA FÁBRICA CEMENTO MELÓN EN LA CALERA:

14.1 Emisiones Atmosféricas en la Fábrica de Cemento:

A objeto de profundizar el análisis sobre la calidad del aire en la zona, se han estudiado antecedentes de las siguientes fuentes:

- Monitoreos desarrollados por diversos organismos (entre ellos, el Min. De Minería)
- Monitoreos hechos por Cemento Melón con anterioridad al E.I.A.
- Monitoreos efectuados en el marco del E.I.A.

En los monitoreos del Ministerio de Minería se evaluó la calidad del aire respecto a PM10 y SO₂, en los siguientes puntos:

- Los Maitenes
- Quinteros
- Rungue
- Concón
- Viña del Mar
- Valparaíso
- La Cruz
- Nogales

En los monitoreos de Cemento Melón se evaluaron las siguientes estaciones

Tabla 14.4: Estaciones de Monitoreo

Estación	Parámetros	Período (1996 – 1997)
Hijuelas	PM10, PTS, SO ₂	14 mayo – 16 junio
La Peña	PM10, PTS, SO ₂	14 mayo – 17 junio
La Calera	PM10, PTS, SO ₂	21 junio – 22 octubre; 13-31 diciembre
La Calera Villa El Olivo	PM10, PTS, SO ₂	21 junio – 24 julio
Carrera 1	PM10, PTS, SO ₂	27 julio – 22 octubre; 13-31 diciembre
Carrera 2	PM10, PTS, SO ₂	25 septiembre – 6 diciembre
Huerto N°4	PM10, PTS, SO ₂	31 octubre – 6 diciembre

15. E.I.A. PLANTA CONCÓN

15.1 Calidad del Aire en Concón

15.1.1 Concentraciones de NO₂

La variación estacional de este contaminante para Concón fue determinada por un monitoreo realizado entre los meses de agosto y diciembre de 1998.

La comuna de Concón presenta una concentración de NO₂ promedio anual de 18 µg/m³, muy por debajo de la normativa.

15.1.2 Concentraciones de SO₂:

Muestra los promedios mensuales y anuales de SO₂ para el año 1998.

15.1.3 Concentraciones de O₃:

Analiza los promedios mensuales de ozono en el año 1998.

15.1.4 Concentraciones de PM₁₀:

El monitoreo de este contaminante es realizado entre noviembre de 1997 y diciembre de 1998 por la CONAMA.

16. E.I.A. CENTRAL CICLO COMBINADO NEHUENCO; INFORME FINAL, EMPRESA COLBÚN MACHICURA

16.1 Calidad del Aire:

Para verificar la calidad del aire en el área del proyecto se efectuaron mediciones durante un período de cuatro meses consecutivos (marzo - junio) en los alrededores de la ciudad de Quillota. Esta información se muestra en tablas de resumen de resultados del período de mediciones de contaminantes gaseosos (valores máximos horarios, máximos promedios diarios y promedio período).

Las estaciones consideradas y su localización se indican en la siguiente tabla:

Tabla 16.1: Estaciones de Monitoreo

Estación	Latitud S	Longitud W
Las Garzas	32° 50`	71° 18`
Fada	32° 49`	71° 16`

Los parámetros medidos en cada una de las estaciones corresponde a:

- Material Particulado en Suspensión Total (PTS)
- Material Particulado en Suspensión Respirable (PM-10)
- Óxidos de Nitrógeno (NO y NO₂)
- Anhídrido Sulfuroso (SO₂)
- Hidrocarburos Totales (HCT) y no Metánicos (HCNM)
- Metano (CH₄)
- Ozono (O₃).

17. E.I.A: CENTRAL TERMOELÉCTRICA RENCA Y NUEVA RENCA

Las emisiones más importantes corresponden a NO_X, por lo que el cálculo de concentraciones promedio mensuales y concentraciones hora a hora en los puntos de máximo impacto (diciembre 1994 – noviembre 1995) se hace sobre la base de las emisiones de NO_X. Por otro lado, no obstante que las emisiones de SO_X serán poco significativas (aproximadamente un 10% de las emisiones actuales), se elaboraron promedios diarios a partir de las emisiones de SO_X, para verificar el cumplimiento de normas.

18. E.I.A: AMPLIACIÓN CAPACIDAD INSTALADA EN NEHUENCO; MARZO 2000

18.1 Calidad del Aire:

La calidad del aire existente en forma previa a la implementación de las turbinas fue caracterizada a partir de los datos obtenidos por una red de monitoreo instalada en el entorno del área de influencia del proyecto compuesto por 7 estaciones de monitoreo ubicadas en sectores representativos de la población y de las actividades silvoagropecuarias desarrolladas en el entorno de las turbinas.

18.1.1 Niveles de Calidad de Aire Medidos por la Red de Monitoreo:

A continuación se presentan los resultados obtenidos por la red de monitoreo instalada en el área de influencia del proyecto entre los días 01 de junio de 1998 y 31 de mayo de 1999, correspondientes a las etapas de línea base del proyecto.

Tabla 18.1: Resultados de las Mediciones de Calidad del Aire Realizadas durante la Línea Base (Valores Máximos)

Estación	Aritmético	PM ₁₀	NO ₂	O ₃	SO ₂
San Pedro	Máx. horaria		151.0	124.0	232.0
	Máx. diaria	141	41.6	44.3	51.7
	Promedio anual		12.0	23.2	17.8
Quillota	Máx. horaria		79.0	126.0	573.0
	Máx. diaria	119	42.6	51.5	115.8
	Promedio anual		16.2	20.7	23.7
Las Garzas	Máx. horaria		77.3	119.0	143.4
	Máx. diaria		21.9	38.7	20.9
	Promedio anual		10.8	10.2	55.5
Cajón Sn. Pedro	Máx. horaria		173.0	123.0	95.0
	Máx. diaria	103	14.3	59.0	27.1
	Promedio anual		5.2	25.1	8.2
Carolmo	Máx. horaria		51.5		
	Máx. diaria		6.0		
	Promedio anual		1.9		
Quillota 2	Máx. horaria		56.0	125.0	139.0
	Máx. diaria	97	33.2	53.7	36.3
	Promedio anual		15.7	24.0	13.1

18.2 Plan de Seguimiento Ambiental

El propósito del plan tiene por finalidad asegurar que las variables que dieron origen al E.I.A. y que contemplan medidas de mitigación, reparación y/o compensación, evolucionen de acuerdo a lo previsto en este estudio. El programa ha sido planificado de modo de hacer un seguimiento, donde sea apropiado, de los parámetros estudiados en la línea base que son ambientalmente relevantes.

18.2.1 Calidad del Aire

Con el objeto de controlar el impacto en la calidad del aire que potencialmente provocará el proyecto, se considera la implementación de un programa de monitoreo que contemple el programa que en la actualidad se desarrolla como parte del Plan de Monitoreo que desarrolla Central Neuqueno. Este plan considera una duración de 18 meses, a partir del 1° de noviembre de 1998 hasta el 30 de abril del año 2000.

Las estaciones de calidad del aire fijas se ubican en:

- Quillota
- San Pedro

La Estación móvil cambia su ubicación cada 4 meses, ubicándose en los siguientes lugares:

- Quillota periferia
- Pie del cerro Queronque
- Limache

Los parámetros que miden las estaciones de monitoreo corresponden a:

- NOX
- O3
- PM10
- SO2
- Velocidad y dirección del viento.

A continuación se presenta una tabla que resume este plan de seguimiento:

Tabla 18.2 Plan de seguimiento en Neuqueno

Estación	Ubicación	VARIABLES medidas	Conectividad	Periodicidad o Vigilancia
Monitoreo en Chimeneas	Chimenea Central Neuqueno Chimenea Turbina 1 Chimenea Turbina 2	O ₂ , NO _x , SO ₂ , COV Polvo	En línea	Continua durante toda la vida útil del proyecto
Torre meteorológica	Central Neuqueno	Radiación Solar, Vientos, Presión, Temperatura, Precipitaciones	En línea	Continua durante toda la vida útil del proyecto
Estaciones de Monitoreo de Calidad del aire Fijas	Quillota San Pedro	Ozono NO ₂ HC SO ₂ PM ₁₀	En línea	Continua durante toda la vida útil del proyecto

19. E.I.A. AMPLIACIÓN CAPACIDAD INSTALADA EN NEHUENCO; MAYO 2000

Les estaciones, concentraciones y los parámetros medidos son los mismos que en el E.I.A anterior (punto 18.0), pero esta vez el período de seguimiento corresponde a los meses diciembre 1999 - febrero 2000.

20. MEMORIA DE TITULACIÓN: DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA GEOGRÁFICA QUE COMPRENDE LAS CIUDADES DE VALPARAÍSO Y VIÑA DEL MAR

Este trabajo se concentra en el análisis de la variabilidad temporal y espacial de los contaminantes, anhídrido sulfuroso, dióxido de nitrógeno y ozono, observados en la primera fase del proyecto COSUDE. La principal tarea de este trabajo fue caracterizar los factores que inciden en dicha variabilidad, como es el caso de contaminantes y las condiciones meteorológicas prevaletientes al momento de los mismos.

El período correspondiente a la primera campaña comprende los meses de junio de 1997 a mayo de 1998, y la segunda campaña corresponde al período octubre 1998 - diciembre 1998.

21. MEMORIA DE TITULACIÓN: METEOROLOGÍA LOCAL ASOCIADA AL NIVEL ACTUAL DE INFLUENCIA DE LAS EMISIONES DE LA PLANTA INDUSTRIAL CEMENTO MELÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA LOCALIDAD DE LA CALERA

21.1 Objetivo general

Evaluar el nivel de influencia de las emisiones que la planta Industrial Cemento Melón genera con su actual proceso productivo, sobre la calidad del aire de la ciudad de La Calera, aplicando la meteorología local como herramienta de análisis, para determinar la variación estacional en la distribución de los contaminantes en la zona.

21.1.1 Objetivos generales

- Identificar las emisiones más importantes que son liberadas a la atmósfera por la planta Cemento Melón, con su actual proceso productivo
- Caracterizar la geografía y la circulación atmosférica local para el período analizado
- Elegir un método apropiado para determinar el análisis de dispersión de contaminantes en la atmósfera local.

21.2 Calidad del Aire

Las estaciones de monitoreo utilizadas en este estudio son las siguientes:

- La Calera
- Hijuelas

Los parámetros medidos son los siguientes:

- Material particulado PM10
- Partículas totales en suspensión PTS
- Dióxido de azufre

La red se encuentra operando desde el 20 de mayo de 1999, no obstante la información generada desde el 20 al 31 de mayo ha sido considerada de marcha blanca y ajustes, por lo cual la fecha de inicio de captura de datos queda establecida en el día 1 de junio de 1999, las últimas mediciones registradas en este estudio corresponden al mes de octubre del mismo año.

22. MEMORIA DE TITULACIÓN: DIAGNÓSTICO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE EPISODIOS CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

22.1 Objetivo General:

Realizar un diagnóstico del actual sistema de manejo de episodios de alta contaminación y proponer mejoras que incorporen los avances existentes en materia de monitoreo y pronóstico de contaminación de acuerdo al actual inventario de fuentes.

22.2 Estaciones de Monitoreo:

Las estaciones utilizadas para este estudio corresponden a la Red MACAM de índices de contaminación:

23. MEMORIA DE TITULACIÓN: ANÁLISIS DE MEDIDAS CONTENIDAS EN EL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA REGIÓN METROPOLITANA

23.1 Objetivos:

El objetivo de este trabajo es establecer una metodología de evaluación de medidas contenidas en el PPDA, para luego comparar los resultados con la línea base 1997 - 2005 y así analizar la efectividad potencial de las medidas seleccionadas, además de ver el efecto de la aplicación de ciertas medidas en el inventario 2000.

24. DIAGNOSTICO, EVALUACIÓN Y PROPOSICIONES DE MEJORAMIENTO DE REDES DE MONITOREO DE AGUA Y AIRE

24.1 Objetivos:

- Realizar un catastro de las redes de monitoreo existentes
- Evaluar las condiciones técnicas en las que se realiza el monitoreo ambiental
- Proponer mejoras a estas condiciones si fuera necesario de modo de contar con información e calidad apropiada para la toma de decisiones en gestión ambiental
- Proponer el diseño de un plan nacional de monitoreo de la calidad del aire para el país.

24.2 Redes Consideradas en el Estudio:

De acuerdo a lo estipulado en los términos de referencia del estudio, las redes de calidad de aire incluidas en este estudio son:

- Red de CODELCO, División Chuquicamata
- Red de CODELCO, División El Salvador
- Red de ENAMI en Paipote
- Red de ENAMI y Chilgener en Ventanas
- Red de CMD en Chagres
- Red MACAM en Santiago
- Red de CODELCO, División Teniente.

A continuación se entregan algunos antecedentes de otras redes de calidad de aire existentes.

Tabla 24.1:

Empresa	Localización	N° de Estaciones
CMP	Huasco	s/inf
Cía. Minera Dayton	Andacollo	3
Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi	A 200 Km al Sur Este de Iquique	5
Cía. Minera Carmen de Andacollo	Andacollo	2
Siderúrgica Huachipato	Talcahuano	3
Petrox	Talcahuano	s/i
Cía. Minera El Indio	Al Este de La Serena	3
Escondida	Antofagasta	
Cemento Polpaico	Polpaico	4
Refimet	Antofagasta	3

25. PRE-INFORME FINAL DEL ESTUDIO “ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LAS NORMAS DE CALIDAD DE AIRE CONTENIDAS EN LA RESOLUCIÓN N° 1215 DEL MINISTERIO DE SALUD, 1978”

25.1 Información recopilada en el estudio

Tabla 25.1: Recopilación de Datos de Calidad del Aire en Ciudades Seleccionadas para este Estudio

CIUDAD	PTS	PM-10	PM-2,5
Santiago	Red de Vigilancia (1978 a la fecha) Mediciones continuas	Red MACAM (1989 a la fecha) Mediciones continuas	Red MACAM (1989 a la fecha) Mediciones continuas
Viña del Mar		<ul style="list-style-type: none"> Estudio CIMM (Julio-Octubre 1993, Febrero-Abril 1994) Mediciones continuas Proyecto COSUDE (Nov. 1997) 	
Valparaíso		<ul style="list-style-type: none"> Estudio CIMM (Julio-Octubre 1993, Febrero-Abril 1994) Mediciones continuas Proyecto COSUDE (Noviembre 1997) 	
Talcahuano		<ul style="list-style-type: none"> Programa PRAT (1994 a la fecha) Mediciones continuas 	
Antofagasta	S. Salud Antofagasta (Enero-Febrero 1990, Octubre-1991, Agosto-Diciembre 1994 y Marzo-Junio 1996) Mediciones continuas	<ul style="list-style-type: none"> S. Salud Antofagasta (Marzo-Junio 1995) REFIMET (Agosto-Diciembre 1994) Mediciones continuas 	
Temuco		Proyecto COSUDE (Noviembre 1997)	Proyecto COSUDE (Noviembre 1997)
Rancagua	Estudio “Diagnóstico Calidad del aire en Rancagua” (Agosto-Septiembre 1996) Mediciones continuas	Estudio “Diagnóstico Calidad del aire en Rancagua” (Enero 1996) Mediciones continuas	
Iquique		Proyecto COSUDE (Noviembre 1997)	
Copiapó		Red ENAMI (1993 a la fecha) Mediciones continuas	
Calama	Red CODELCO (1991 a la fecha) Mediciones continuas	Red CODELCO (1991 a la fecha) Mediciones continuas	

Tabla 25.2: Concentraciones Anuales de Partículas en Suspensión en las Ciudades Seleccionadas para este Estudio

CIUDAD	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
VALOR DE REFERENCIA	75 (R.1215)	50 (US EPA)	15 (US EPA)
Santiago (1990)	283	126	77
Santiago (1991)	282	117	71
Santiago (1992)	265	118	72
Santiago (1993)	247	149	75
Santiago (1994)	222	124	65
Santiago (1995)	222	109	55
Santiago (1996)		113	57
Viña del Mar (julio-octubre 1993)		45	
Viña del Mar (feb.-marzo 1994)		85	
Viña del Mar (noviembre 1997)		52	
Valparaíso (julio-octubre 1993)		94	
Valparaíso (feb.-marzo 1994)		81	
Valparaíso (noviembre 1997)		66	
Talcahuano (feb.-marzo 1996)		72	
Antofagasta (enero-feb. 1990)	406		
Antofagasta (octubre 1991)	234		
Antofagasta (agosto-dic. 1994)		29	
Antofagasta (marzo-junio 1995)	255	129	
Temuco (noviembre 1997)		44	24
Rancagua (agosto-sept. 1996)	206		
Rancagua (enero 1996)		93	
Iquique (noviembre 1997)		46	
Copiapó (1996)		61	
Copiapó (enero-sept. 1997)		69	
Calama (1994)	127	70	
Calama (1996)		85	
Calama (enero-junio 1997)		84	

Nota: los valores en *itálica* son proyecciones anuales de mediciones para períodos menores que 1 año.

Tabla 25.3: Concentraciones Máximas Diarias de Partículas en Suspensión en las Ciudades Seleccionadas para este Estudio

CIUDAD	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
VALOR DE REFERENCIA	260 (R. 1215)	150 (D.S.59/98)	65 (US EPA)
Santiago (1990)	737	424	307
Santiago (1991)	693	340	257
Santiago (1992)	595	458	294
Santiago (1993)	763	551	274
Santiago (1994)	660	367	199
Santiago (1995)	621	302	174
Santiago (1996)		295	176
Viña del Mar (julio-octubre 1993)		125	
Viña del Mar (febrero-marzo 1994)		182	
Valparaíso (julio-octubre 1993)		193	
Valparaíso (febrero-marzo 1994)		159	
Talcahuano (febrero-marzo 1996)			
Antofagasta (enero-febrero 1990)	694		
Antofagasta (octubre 1991)	261		

CIUDAD	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Antofagasta (agosto-diciembre 1994)		68	
Antofagasta (marzo-junio 1995)	440		
Rancagua (agosto-septiembre 1996)	501	185	
Rancagua (enero 1996)		180	
Copiapó (1996)		231	
Copiapó (enero-septiembre 1997)		284	
Calama (1994)	200		

Tabla 25.4: Nivel de Cumplimiento de Normas Diarias de Partículas en Suspensión

CIUDAD	PTS (% de cumplimiento)	PM-10 (% de cumplimiento)
Santiago (1990)	45,00	70,11
Santiago (1991)	39,39	77,18
Santiago (1992)	45,83	73,60
Santiago (1993)	53,52	62,55
Santiago (1994)	63,73	67,72
Santiago (1995)	49,43	80,22
Santiago (1996)		77,86
Viña del Mar (julio-octubre 1993)		100,00
Viña del Mar (febrero-marzo 1994)		92,86
Valparaíso (julio-octubre 1993)		93,33
Valparaíso (febrero-marzo 1994)		96,00
Talcahuano (febrero-marzo 1996)		50,00
Antofagasta (enero-febrero 1990)	100,00	
Antofagasta (octubre 1991)	66,66	
Antofagasta (agosto-diciembre 1994)	80,00	100,00
Antofagasta (marzo-junio 1995)	75,86	100,00
Rancagua (agosto-septiembre 1996)	73,33	
Rancagua (enero 1996)		93,33
Iquique (noviembre 1997)		
Copiapó (1996)		99,00
Copiapó (enero-septiembre 1997)		97,00
Calama (1994)	92,00	100,00
Calama (1996)		97,00
Calama (enero-junio 1997)		95,00

Nota: Las mediciones del Proyecto COSUDE no pueden ser comparadas con la norma diaria, por lo cual fue imposible determinar el nivel de cumplimiento en dichas ciudades (Viña del Mar, Valparaíso, Iquique, Temuco y Rancagua).

25.2 Análisis de Antecedentes y Proposiciones Sobre Dióxido de Azufre

Tabla 25.5: Recopilación de Datos de Calidad del Aire en Ciudades Seleccionadas para este Estudio

CIUDAD	Dióxido de Azufre
Santiago	Red MACAM (1990 a la fecha) Mediciones continuas.
Viña del Mar	Estudio CIMM (Julio-Octubre 1993, Febrero-Abril 1994). Mediciones continuas. Proyecto COSUDE (Junio 1997-Mayo 1998). Tubos pasivos.
Valparaíso	Estudio CIMM (Julio-Octubre 1993, Febrero-Abril 1994).

CIUDAD	Dióxido de Azufre
	Mediciones continuas. Proyecto COSUDE (Junio 1997-Mayo 1998). Tubos pasivos.
Talcahuano	Estudio "Evaluación de la contaminación atmosférica en los componentes anhídrido sulfuroso y dióxido de nitrógeno en la comuna de Talcahuano". (Julio 1993-Agosto 1994 y Agosto 1994-Abril 1995). Tubos pasivos. Programa PRAT (1994-1997). Tubos pasivos.
Temuco	Proyecto COSUDE (Junio 1997-Mayo 1998). Tubos pasivos.
Rancagua	Proyecto COSUDE (Junio 1997- Mayo 1998). Tubos pasivos. Estudio "Diagnóstico de la calidad del aire de Rancagua" (Enero y Agosto-Septiembre 1996).
Iquique	Proyecto COSUDE (Julio 1997-Junio 1998). Tubos pasivos.
Copiapó	Red de Monitoreo ENAMI (1993-1997). Mediciones continuas.
Calama	Red de Monitoreo CODELCO, División Chuquicamata. (1990-1996)

Tabla 25.6: Concentraciones de Dióxido de Azufre en las Ciudades Seleccionadas para este Estudio

CIUDAD	SO ₂ media anual (µg/m ³)	SO ₂ Máxima diaria (µg/m ³)
VALOR DE REFERENCIA	80 (R.1215)	365 (R.1215)
Santiago (1990)	84	221
Santiago (1991)	63	179
Santiago (1992)	50	132
Santiago (1993)	71	213
Santiago (1994)	52	177
Santiago (1995)	34	147
Santiago (1996)	39	140
Viña del Mar (julio-oct.1993)	65	169
Viña del Mar (feb.-marzo 1994)	55	172
Viña del Mar (jun.1997-may.1998)	46	
Valparaíso (julio-octubre 1993)	67	167
Valparaíso (feb.-marzo 1994)	164	406
Valparaíso (jun.1997-may.1998)	40	
Talcahuano (1994)	148	
Talcahuano (1995)	165	
Talcahuano (1996)	162	
Talcahuano (Febrero-Marzo 1996)		360
Temuco (jun.1997-may.1998)	22	
Rancagua (Enero y Agosto-Septiembre 1996)	165	1554
Rancagua (jun.1997-may.1998)	38	
Iquique (jun.1997-may.1998)	11	
Copiapó (1993)	79	491
Copiapó (1994)	62	505
Copiapó (1995)	56	487
Copiapó (1996)	43	309
Copiapó (1997)	20	235

Nota: los valores en *itálica* son proyecciones anuales de mediciones para períodos < que 1 año.

Tabla 25.7: Nivel de Cumplimiento de las Normas de Dióxido de Azufre

CIUDAD	SO₂ Media anual (% de cumplimiento)	SO₂ Media diaria (% de cumplimiento)
Santiago (1990)	0%	100%
Santiago (1991)	100%	100%
Santiago (1992)	100%	100%
Santiago (1993)	100%	100%
Santiago (1994)	100%	100%
Santiago (1995)	100%	100%
Santiago (1996)	100%	100%
Viña del Mar (julio-oct.1993)	100%	100%
Viña del Mar (feb.-marzo 1994)	100%	100%
Viña del Mar (jun.1997-may.1998)	100%	
Valparaíso (julio-octubre 1993)	100%	100%
Valparaíso (feb.-marzo 1994)	0%	99%
Valparaíso (jun.1997-may.1998)	100%	
Talcahuano (1994)	0%	-
Talcahuano (1995)	0%	-
Talcahuano (1996)	0%	-
Talcahuano (Febrero-Marzo 1996)		98%
Temuco	100%	
Rancagua (Enero y Agosto-Septiembre 1996)	0%	80%
Rancagua (jun.1997-may.1998)	100%	
Iquique (jun.1997-may.1998)	100%	
Copiapó (1993)	100%	99%
Copiapó (1994)	100%	99%
Copiapó (1995)	100%	99%
Copiapó (1996)	100%	100%
Copiapó (1997)	100%	100%

26. ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO-INDUSTRIALES DE CHILE, V REGIÓN; INFORME FINAL 1º FASE

Tabla 8.1: Estaciones de Monitoreo de la Campaña

Nº	Código	Localización	Parámetros
1	5-1	Calle esmeralda	PM10, PM _{2,5} , NO ₂ , SO ₂ , O ₃
2	5-2	Sector Bellavista	NO ₂ , SO ₂
3	5-3	Calle Condell	NO ₂ , SO ₂
4	5-4	Calle Prat	NO ₂ , SO ₂
5	5-5	Cº Playa Ancha	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
6	5-6	Avenida Alemania	PM10, NO ₂ , SO ₂ , O ₃
7	5-7	Sector Almendral	NO ₂ , SO ₂
8	5-8	Cº San Roque	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
9	5-9A	Placila, edificio junta vecinal	NO ₂ , SO ₂
10	5-9B	Placilla, retén de carabineros	PM10
11	5-10	Casablanca	NO ₂ , SO ₂
12	5-11	Av. Pedro Montt	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
13	5-12	Av. España	PM10, NO ₂ , SO ₂
14	5-13	Av. Phillipi	NO ₂ , SO ₂
15	5-14	Cº Esperanza	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
16	5-15	Calle Blanco	NO ₂ , SO ₂
17	5-00	Av. Brasil	PM10, NO ₂ , SO ₂
18	5-16	Cº recreo	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
19	5-17	Sector Nueva Aurora	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
20	5-18	Sector Agua Santa	NO ₂ , SO ₂
21	5-29	Sector Ecuador con Viana	PM10, NO ₂ , SO ₂
22	5-20	Cerro Castillo	NO ₂ , SO ₂
23	5-21	I. Municipalidade de Viña del Mar	NO ₂ , SO ₂
24	5-22	Centro Comunitario	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
25	5-23	Calle Alvares	NO ₂ , SO ₂
26	5-24	Sector El Salto	PM10, PM _{2,5} , NO ₂ , SO ₂ , O ₃
27	5-25	Sector El Olivar	PM10, NO ₂ , SO ₂
28	5-26	Sector Miraflores Alto	NO ₂ , SO ₂ , O ₃
29	5-27	Gómez Carreño	NO ₂ , SO ₂
30	5-28	Sta. Julia	NO ₂ , SO ₂
31	5-29	Sta. Inés	PM10, NO ₂ , SO ₂ , O ₃
32	5-30A	Concón, edificio central vecino	NO ₂ , SO ₂
33	5-30B	Concón, Colegio Mª Goretti	PM10, NO ₂ , SO ₂ , O ₃

B. Resultados de Mediciones Meteorológicas

B.1. Actividades

B.1.1. Instalación de estaciones

Las estaciones comprometidas para la ejecución del proyecto están instaladas tal como se detalla en la Tabla B.1. La operación y permanencia de ellas no han estado exentas de problemas, la estación Casablanca debió ser levantada a solicitud del dueño del predio. Fue reinstalada en un lugar cercano (menos de 1 Km) el 2 de octubre, así se ha podido recolectar información la que se ha utilizado en el desarrollo del proyecto.

Tabla B.1 Resumen de operación Estaciones Meteorológicas

ESTACIÓN	FECHA DE INSTALACIÓN	VISITAS	PERIODOS CON DATOS	MOTIVO DE PERDIDA DE DATOS Y SITUACIÓN OPERACIONAL
Casablanca	14-15/05/2001 02/10/2001	04/06/2001 16/10/2001 6/11/2001 27/11/2001 11/12/2001	14/05 al 27/06 de 2001 02/10/2001 a la fecha	La estación fue retirada el 27/06/2001 La estación fue instalada en un sitio particular distante a menos de 1km del antiguo sitio de instalación.
Chiguayante	22/06/2001	22/07/2001 1-3/08/2001	19/07 de 2001 a la fecha	Datalogger sufrió pérdida de programa y de datos meteorológicos. La estación se encuentra en línea operando normalmente.
Arauco	21/06/2001	19/07/2001 2-3/08/2001	21/07 de 2001 a la fecha	Datalogger almaceno información errónea producto de transmisiones de RF. La estación se encuentra en línea operando normalmente.

B.1.1.1. Estación Arauco

La estación fue instalada el 21 de junio de 2001. Las variables medidas son: temperatura, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y humedad Relativa. Las variables medidas se graban como promedios de 30 minutos con muestreos de 1 segundo.

Debido a mal funcionamiento del datalogger la estación no registró mediciones entre la fecha de instalación y el 21 de julio de 2001, fecha en que fue visitada para comprobar su funcionamiento.

Entre los días 1 y 3 de agosto fue visitada nuevamente para verificar el funcionamiento, realizar pruebas de operación y cambiar la fuente de alimentación, desde una batería alimentada por un panel solar a un cargador de baterías conectado a la red de energía de la empresa donde se encuentra instalada. Desde esa fecha la estación no ha tenido pérdidas de datos. Diariamente es accesada para la recolección de información mediante una línea celular.

B.1.1.2. Estación Chiguayante

La estación fue instalada el 22 de junio de 2001. Las variables medidas son: temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación solar y humedad relativa. Las variables medidas se graban como promedios de 30 minutos con muestreos de 1 segundo.

Debido a mal funcionamiento del datalogger la estación no registró mediciones entre la fecha de instalación y el 19 de julio de 2001, fecha en que fue visitada para comprobar su funcionamiento.

Entre los días 1 y 3 de agosto fue visitada nuevamente para verificar el funcionamiento y realizar algunas pruebas de operación las que resultaron exitosas, desde esa fecha no a registrado pérdida de información. La estación es accesada una vez al día para la recolección de información mediante una línea telefónica especialmente contratada para ese efecto.

B.1.1.3. Estación Casablanca

Esta estación fue instalada entre los días 14 y 15 de mayo de 2001. Las variables medidas son: temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad relativa, y presión atmosférica. Las variables medidas son grabadas como promedios de 15 minutos con muestreos de 1 segundo.

La estación fue retirada el 27 de junio de 2001 debido a la solicitud del dueño del predio donde estaba instalada. Personal de CENMA realizó recorridos en lugares cercanos al sitio donde estaba instalada la estación e instaló el 2 de octubre, recomenzando con las mediciones en Casablanca.

B.1.2. Procesamiento de información

Se construyeron programas para el procesamiento primario y validación de primera fase de la información meteorológica generada por las estaciones operadas por el proyecto.

Básicamente consiste en la elaboración de resúmenes mensuales de cada una de las variables, reportando los valores extremos y promedios, en el caso de las variables escalares, y de la distribución de frecuencias de ocurrencia en la dirección del viento.

Estos programas son base para la generación de reportes anuales, en los cuales se agregan otros cálculos que pueden ser de interés.

B.1.3. Resúmenes mensuales

Las tablas siguientes muestran en resumen las mediciones realizadas en la VIII y V Regiones.

Tabla B.2 Resumen de mediciones. Estación Casablanca

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA												
MAX					21.59	21.4				23.37	29.3	
MIN					2.087	-2.848				0.223	1.116	
PROMEDIO					11.15	7.687				12.03	13.18	
%DATOS					52.96	89.03				94.62	100	
VELOCIDAD DEL VIENTO												
MAX					8.31	7.97				8.56	9.98	
MIN					0.033	0.034				0.072	0.032	
PROMEDIO					1.778	1.775				2.55	2.855	
%DATOS					52.96	89.03				94.62	100	
HUMEDAD												
MAX					100	100				100	99.8	
MIN					45.65	36.86				44.71	22.77	
PROMEDIO					90.49	89.19				87.29	78.22	
%DATOS					52.96	89.03				94.62	100	
PRESIÓN ATMOSFÉRICA												
MAX					991.1	993.7				995.2	991.2	
MIN					980.2	978.2				979	980.3	
PROMEDIO					986	986.7				985.4	985.5	
%DATOS					52.96	89.03				94.62	100	
DIRECCIÓN PREDOMINANTE												
%DATOS					SW	SW				SSW	SSW	

Tabla B.3 Resumen de mediciones. Estación Chiguayante

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA												
MAX							15.9	21.0	25.9	26.4	28.9	
MIN							0.3	2.0	1.5	3.7	7.3	
PROMEDIO							8.5	10.2	11.0	13.8	15.0	
%DATOS							39.9	99.9	100.0	100.0	100.0	
VELOCIDAD DEL VIENTO												
MAX							7.5	7.7	10.0	7.2	11.5	
MIN							0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
PROMEDIO							2.5	2.2	2.0	1.9	2.7	
%DATOS							39.9	99.9	100.0	100.0	100.0	
HUMEDAD												
MAX							96.8	97.1	96.5	96.6	96.4	
MIN							33.44	31.43	17.11	17.06	18.41	
PROMEDIO							84.07	83.64	78.47	78.18	70.99	
%DATOS							39.92	99.87	100	100	100	
RADIACIÓN SOLAR												
MAX							590.4	770	829	987	1094	
MIN							0	0	0	0	0	
PROMEDIO							82.35	120.8	159.2	213.6	290.4	
%DATOS							39.92	99.87	100	100	100	
DIRECCIÓN PREDOMINANTE												
%DATOS							SSE	SSE	SSE	S	SSE	

Tabla B.4 Resumen de mediciones. Estación Arauco

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA												
MAX							14.16	19.46	23.75	23.64	26.07	
MIN							0.263	0.545	0.919	2.671	3.601	
PROMEDIO							8.85	10.23	10.74	12.71	13.47	
%DATOS							45.03	99.87	100	100	100	
VELOCIDAD DEL VIENTO												
MAX							8.8	10.71	8.09	6.614	8.18	
MIN							0.326	0.044	0.044	0.085	0.046	
PROMEDIO							2.761	2.736	2.408	2.359	2.989	
%DATOS							45.03	99.87	100	100	100	
HUMEDAD												
MAX							96.4	97.5	96.6	97.3	96.9	
MIN							41.88	34.66	25.95	35.58	27.08	
PROMEDIO							83.22	82.08	79.38	81.55	75.6	
%DATOS							45.03	99.87	100	100	100	
PRESIÓN ATMOSFÉRICA												
MAX							1028	1029	1028	1029	1025	
MIN							998.5	999.6	1011	1008	1011	
PROMEDIO							1017	1018	1019	1017	1017	
%DATOS							45.03	99.87	100	100	100	
DIRECCIÓN PREDOMINANTE												
%DATOS							SSE	S	SSE	SSW	SSW	

B.2. Régimen de vientos. Estaciones de VIII Región.

Figura B.5 Rosas Diurnas Estaciones VIII Región

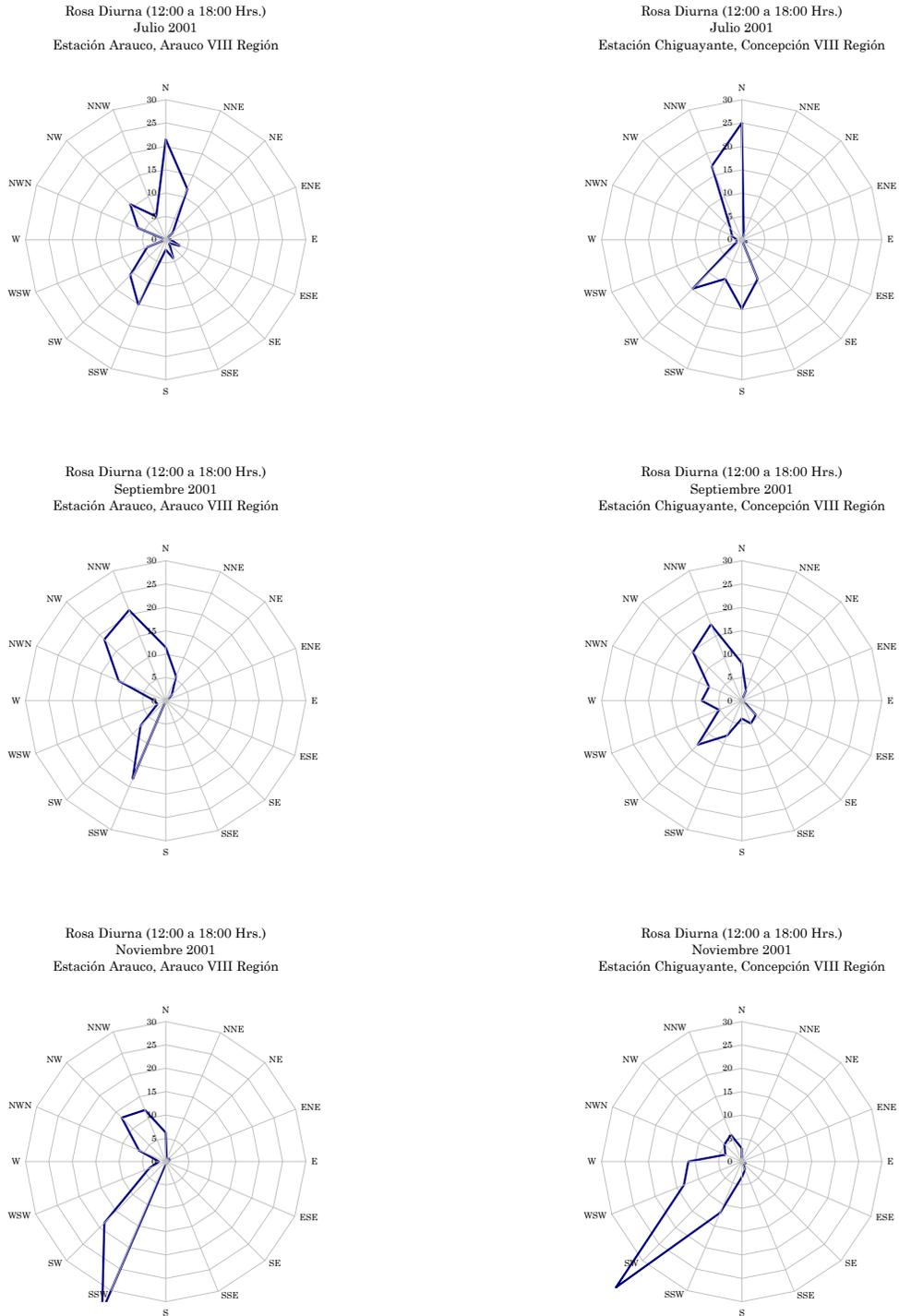


Figura B.6 Rosas Nocturnas Estaciones VIII Región



Figura B.7 Rosas Mensuales Estaciones VIII Región



B.2.1. Régimen de viento diurno. Estaciones de VIII Región

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, el régimen de viento en las estaciones de la VIII Región se encuentran bien determinados. En ambas estaciones se puede corroborar que las direcciones predominantes coinciden, y además las rosas de viento tienen formas similares. En julio las direcciones predominantes se encuentran ubicadas en la dirección N, con valores en torno al 22 % en ambos sitios de medición. Existe además, otra dirección predominante secundaria, en la estación Chiguayante en la dirección S y en la estación Arauco en la dirección SSW, ambas con valores en torno del 15%.

En septiembre se mantiene la configuración de dos direcciones predominantes, la principal se encuentra en ambas estaciones en la dirección NNW con valores en torno de 20%. La componente secundaria se ubica en la dirección SSW, con 20% y en la dirección SW, con 15%, en la estación Chiguayante.

En noviembre la configuración de direcciones predominantes cambia a una principal, en ambas estaciones, con valores en torno de 35%. En la estación Chiguayante se encuentra en la dirección SW, mientras que en la estación Arauco se encuentra en la dirección SSW.

B.2.2. Régimen de viento nocturno. Estaciones de VIII Región

La figuras anteriores muestran que durante todo el periodo de mediciones se mantiene la configuración de una dirección predominante principal ubicada en el sector comprendido entre las direcciones SSE y S, y con valores que oscilan entre el 25% y 35%.

En julio, además se puede apreciar que, entre las direcciones NNE y NNW, se concentran alrededor del 20% de las ocurrencias de direcciones, que se pueden asociar a condiciones de empeoramiento prefrontal que antecede al paso de un frente de mal tiempo.

A medida que avanza el año, la tendencia del flujo nocturno desde sectores del sur, encajonados, en el caso de la estación Chiguayante, por el cajón del río Bio-Bio y por la condición nocturna de flujo descendente desde los cerros de la cordillera de Nahuelbuta, en el caso de la estación Arauco, llegan a acumular cerca del 80% de las ocurrencias en ambas estaciones, permitiendo la renovación del aire del entorno con aire limpio proveniente de estas direcciones.

B.2.3. Régimen de viento mensual. Estaciones de VIII Región

La configuración general del régimen mensual muestra la aparición de dos direcciones predominantes, la principal proveniente del sector comprendido entre las direcciones SSE y SSW, y la secundaria proveniente del sector comprendido entre NNE y NNW. En los meses de invierno esta configuración se aprecia claramente, mientras que en los meses de primavera esta se diluye para llegar a configuraciones con sólo una dirección predominante.

La estación Arauco, en comparación con estaciones de latitudes menores presenta un comportamiento similar, mientras que la estación Chiguayante, muestra que se encuentra influenciada por el cajón del río Bio-Bio. La representatividad de estos ciclos mensuales sólo se podrá constatar una vez que se cuente con una base de datos más completa y que alcance a cubrir al menos un año de mediciones.

B.3. Ciclos mensuales. Estaciones de VIII Región

Figura B.8 Ciclos diarios de Temperatura

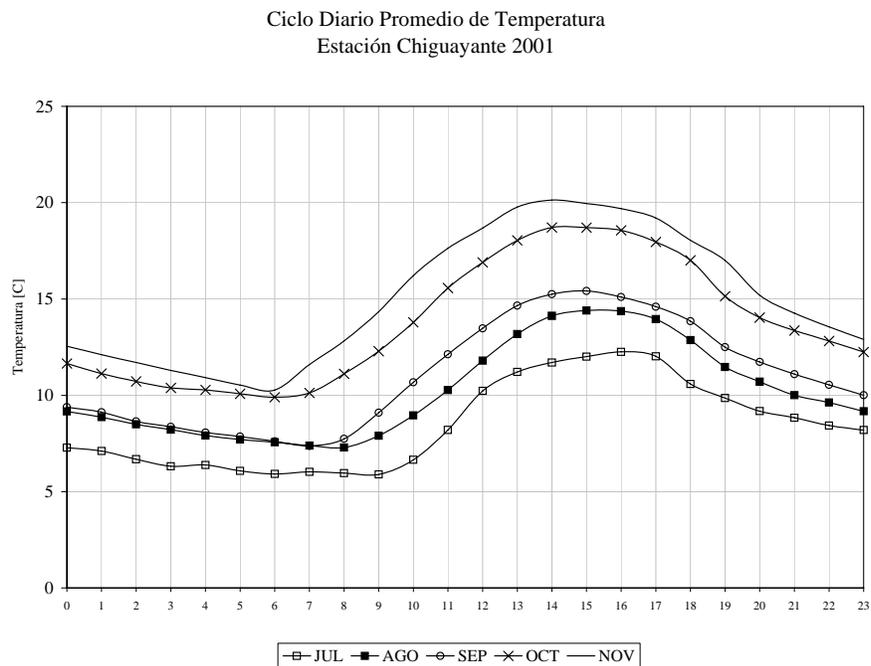
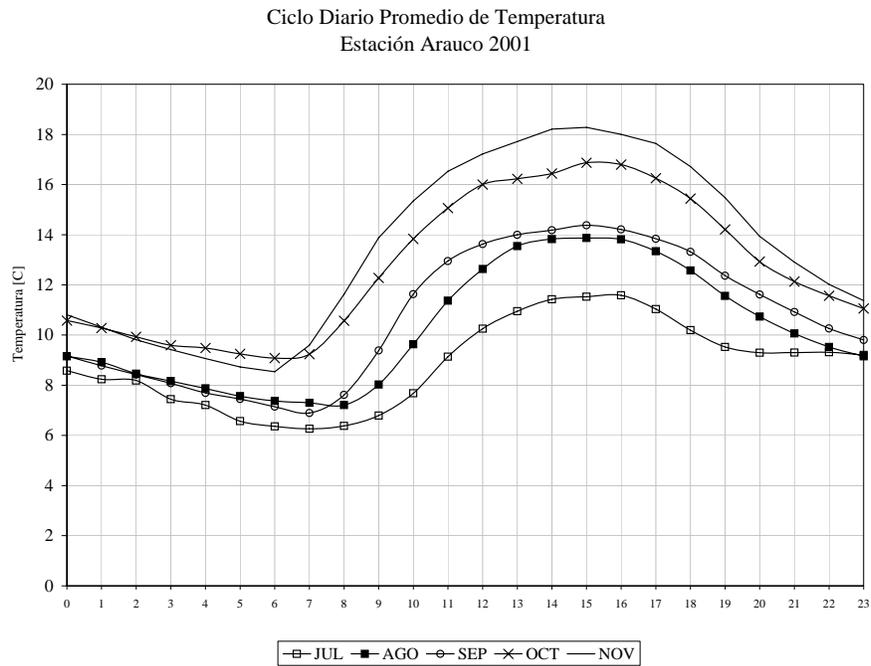
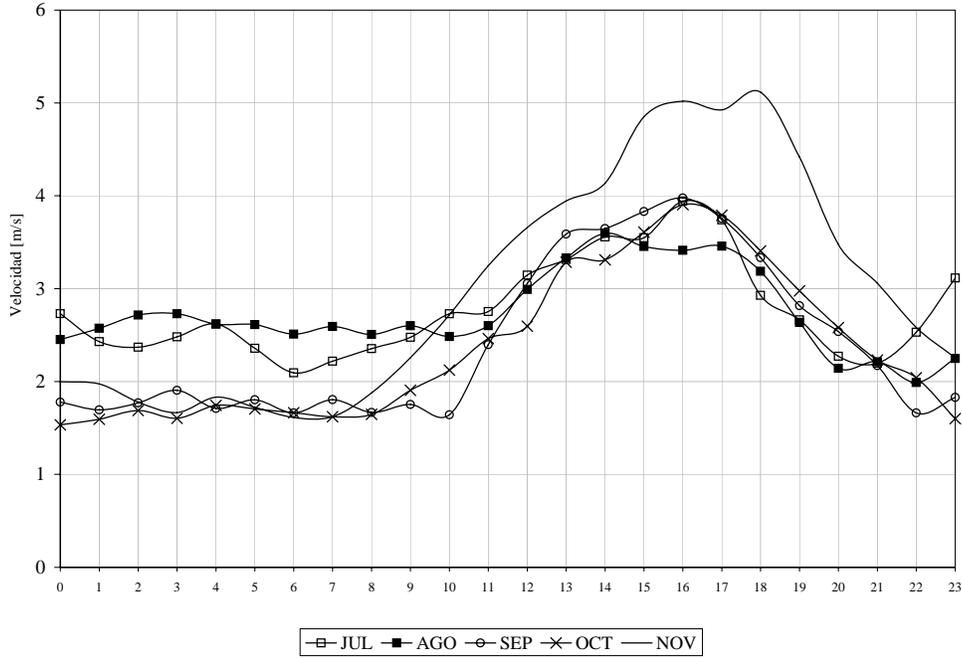


Figura B.9 Ciclos Diarios de Velocidad del viento

Ciclo Diario Promedio de Velocidad del viento
Estación Arauco 2001



Ciclo Diario Promedio de Velocidad del viento
Estación Chiguayante 2001

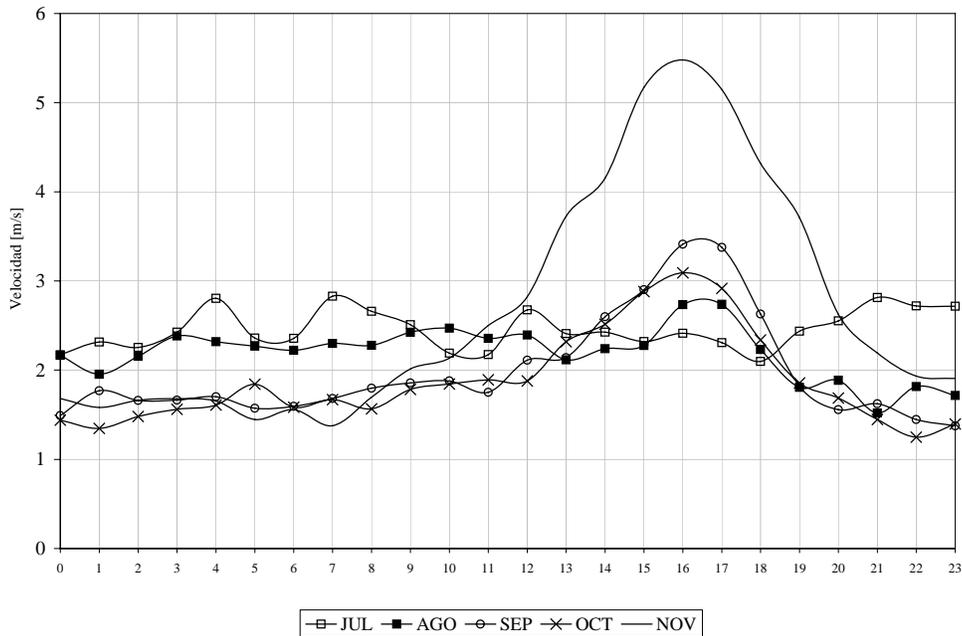


Figura B.10 Ciclos Diarios de Humedad Relativa

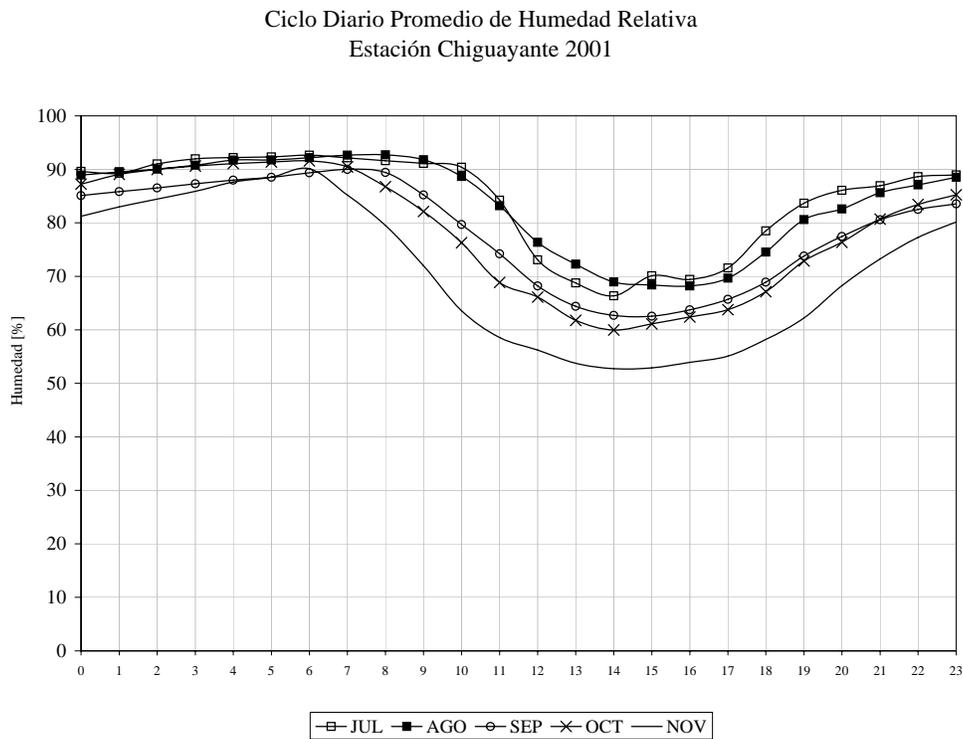
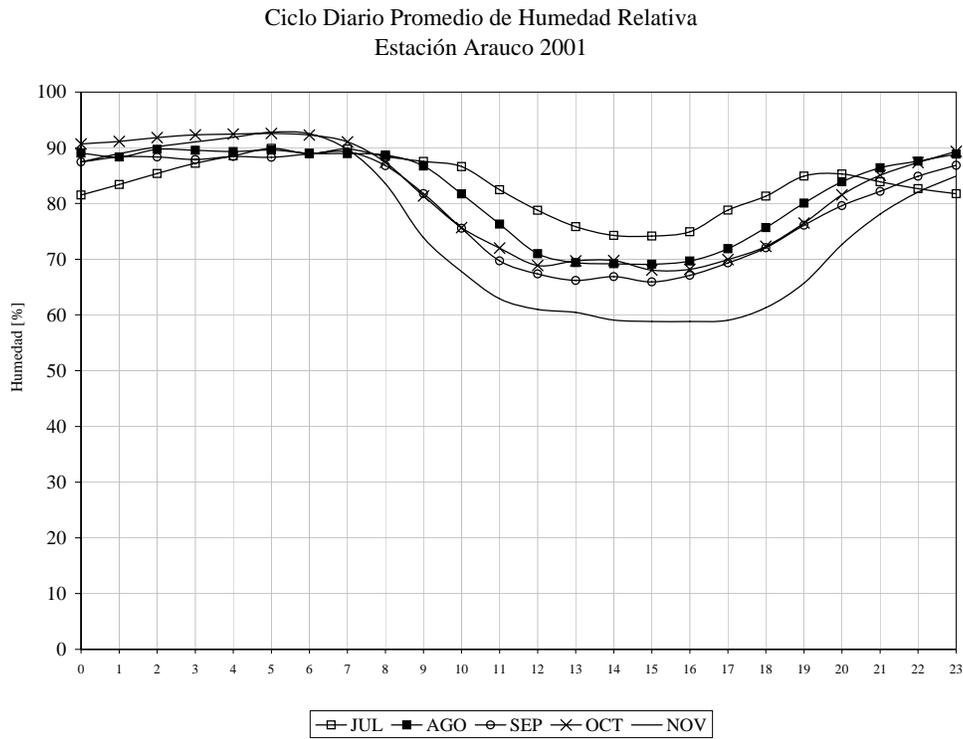


Figura B.11 Ciclo diario de Radiación Solar

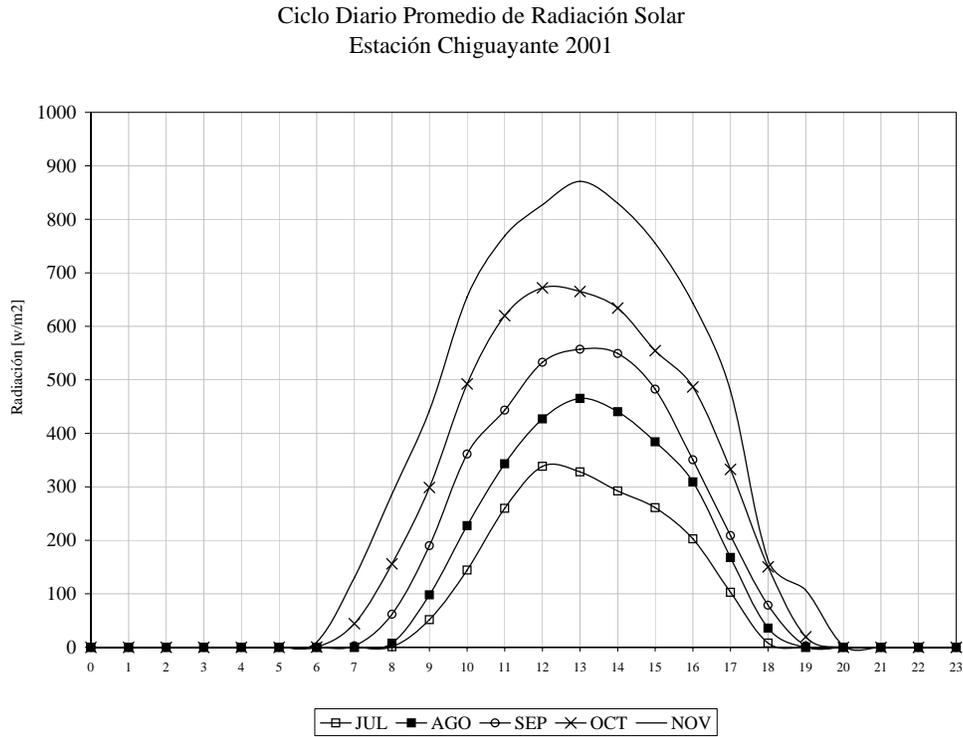
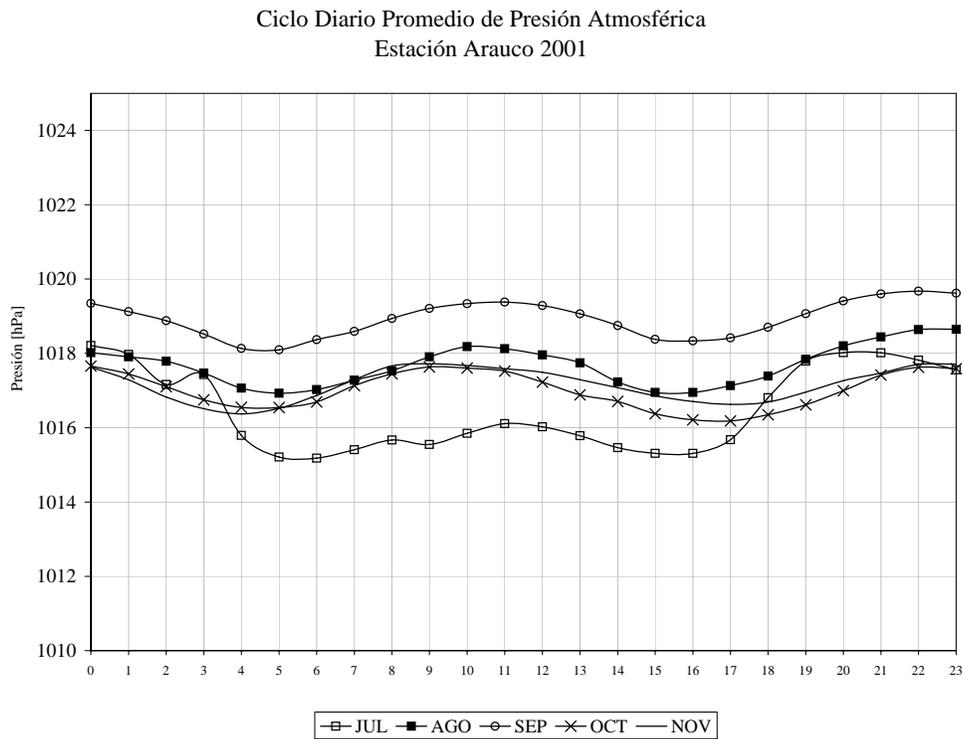


Figura B.12 Ciclo Diario de Presión Atmosférica



B.3.1. Ciclos de temperatura y humedad. Estaciones de VIII Región.

Los ciclos diarios de temperatura muestran un comportamiento normal, con valores mínimos alcanzados cerca del amanecer y valores máximos alcanzados entre las 13 y 15 hrs. La estación Arauco registra temperaturas mínimas menores que la estación Chiguayante, las que se ocurren adelantadas en los meses de invierno y en el mismo tiempo en el caso de los meses primaverales, debido principalmente a condiciones locales por la presencia de centros de baja presión de onda polar y/o la presencia de frentes activos. Las temperaturas máximas promedio se comportan de manera similar en la estación Arauco.

La diferencias de temperaturas máximas entre primavera y verano llega a cerca de los 7C en ambas estaciones, mientras que la diferencia entre las temperaturas mínimas sólo llega a los 3C.

Los ciclos de humedad relativa muestran el comportamiento normal, con valores máximos alcanzados en el amanecer y con valores cercanos al 90%, mientras que los valores mínimos se alcanzan entre las 14 y 15 horas y con valores que oscilan entre 75% y 53%, entre los meses de invierno y primavera.

En la estación Chiguayante los valores de máxima humedad se proyectan hasta cerca de las 10 hrs en los meses de invierno, seguidos de un rápido descenso hasta alcanzar los valores mínimos. Durante la primavera está proyección no se aprecia con claridad, registrando ciclos más parecidos a los de estaciones de latitudes menores.

La estación Arauco registra valores mínimos de humedad mayores en cerca de 5% que los registrados en la estación Chiguayante, debido principalmente a la interacción mar continente ya que esta estación se encuentra ubicada a menos de 10 Km. De la costa.

B.3.2. Ciclos de velocidad del viento. Estaciones de VIII Región.

Los ciclos de velocidad de viento se encuentran bien definidos en ambas estaciones durante todo el periodo de mediciones. La característica principal radica en la presencia de vientos del odren de 2.5 m/s en las mañanas del los meses de invierno. En la estación Arauco, en invierno, los valores máximos alcanzan a cerca de 4 m/s, característica que se mantiene hasta octubre. En la estación Chiguayante los valores máximos apenas alcanzan a los 3 m/s manteniendo de esta manera una ventilación más constante.

En los meses de primavera en ambas estaciones las velocidades mínimas registradas oscilan en torno a 1.5 m/s durante la mañana para llegar a cerca delos 5.5 m/s cerca de las 16 hrs.

La estación Arauco se encuentra influenciada por la brisa mar continente, mientras que la estación Chiguayante se encuentra influenciada por el cajón del río Bio-Bio.

B.3.3. Ciclos de presión atmosférica. Estación Arauco.

Sin tomar en cuenta el mes de julio, debido a la ausencia de datos y la presencia de frentes activos durante el periodo de registro de los mismos, se muestra que los ciclos de presión atmosférica tienen dos mínimos, uno en torno de las 4 hrs., y otro en torno de las 16 hrs. con diferencias del orden de 0.3 hPa. Los valores máximos promedios mensuales difieren en cerca de 1.2 hPa. para todo el periodo de mediciones y son alcanzados cerca de las 22 hrs. El valor máximo diurno se produce en torno de las 11 hrs. y con diferencias de no más de 0.2 hPa. con el máximo nocturno.

B.3.4. Ciclos de Radiación Solar. Estación Chiguayante.

Los ciclos de radiación solar muestran el comportamiento usual para esta variable, con máximos alcanzados cerca del medio día. Los valores máximos varían desde el invierno a la primavera desde 340 w/m^3 a 880 w/m^3 . La forma del ciclo diario en los meses de invierno sugiere la presencia de abundante nubosidad producto del paso continuo de frentes de mal tiempo.

B.4. Régimen de vientos. Estación Casablanca V Región

Figura B.13 Rosas Diurnas Estación Casablanca

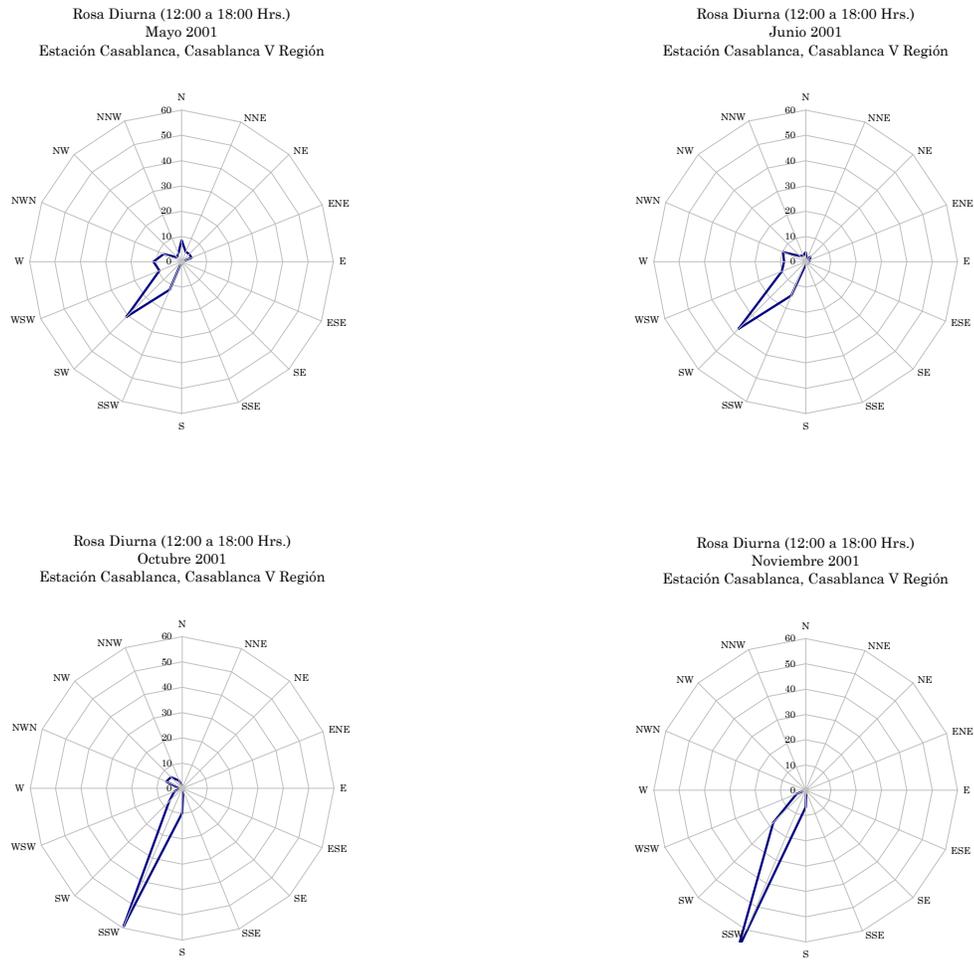


Figura B.14 Rosas Nocturnas Estación Casablanca

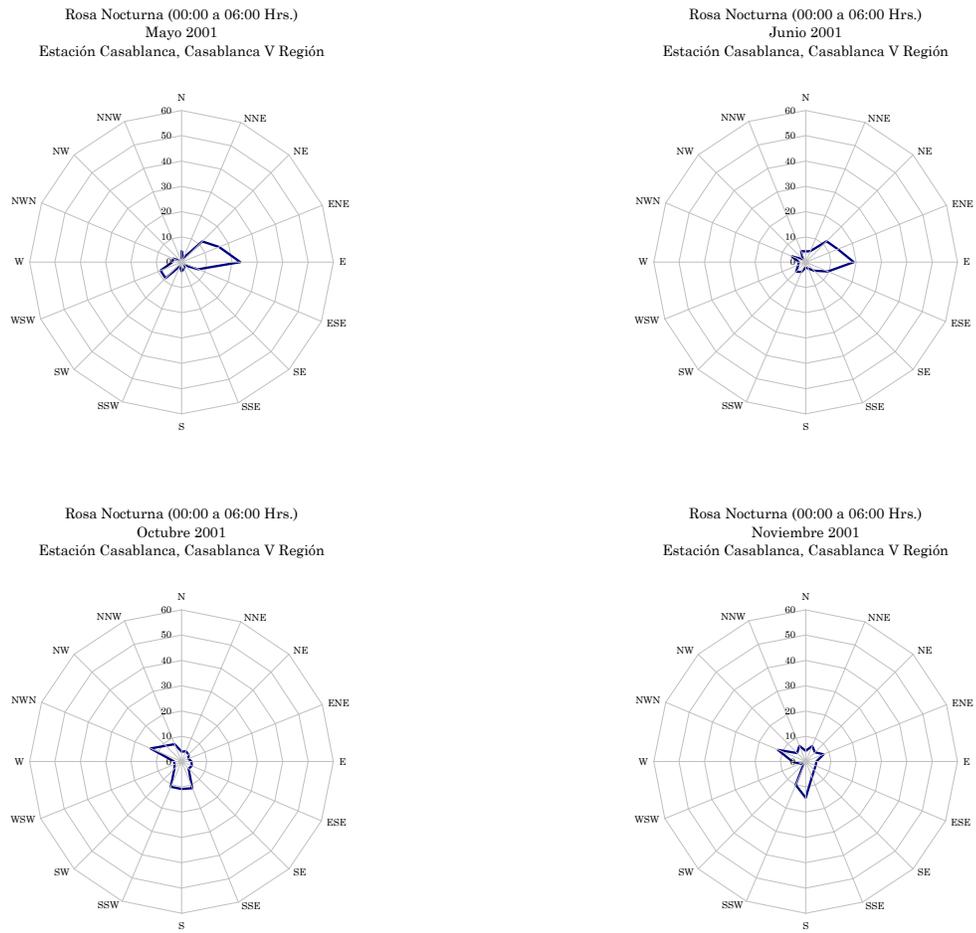
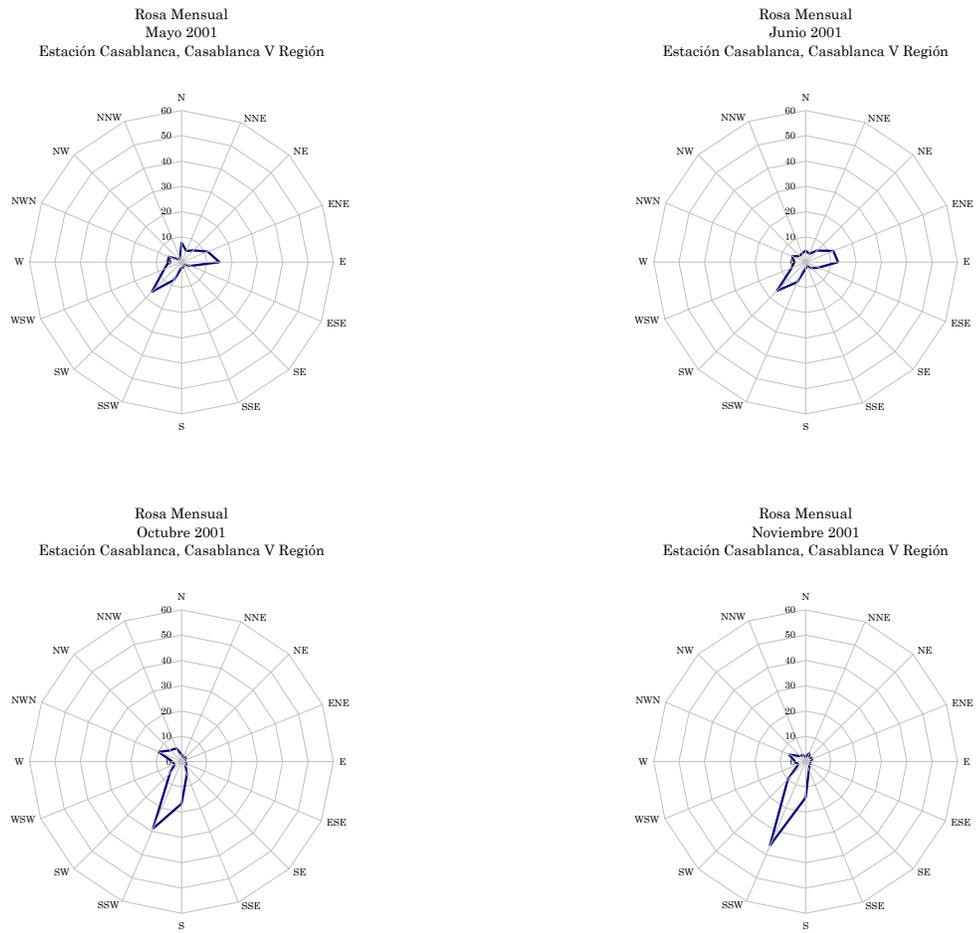


Figura B.15 Rosas Mensuales Estación Casablanca



B.4.1. Régimen de viento diurno. Estación Casablanca.

Durante el periodo de mediciones la configuración del ciclo diurno de direcciones del viento tiene como característica principal la presencia de sólo una dirección principal, la que se encuentra ubicada en el la dirección SW y con valores en torno de 15%. Durante la primavera esta dirección principal aparece en la dirección SSW y con valores en torno de 60%, la que resulta ser similar con otras estaciones de latitudes similares.

B.4.2. Régimen de viento nocturno. Estación Casablanca.

En invierno existe la presencia de direcciones principales provenientes del sector comprendido entre las direcciones ESE y NE, centrada en la dirección E y con valores en torno de 10%. En primavera esta situación cambia a la configuración de dos direcciones principales, una entre los sectores SSW y SSE y la otra entre los sectores NWN y NW, con valores en torno de 10% en ambos casos. La característica cordillera valle durante los meses de invierno está claramente establecida mientras que en los meses de primavera esta se ve influenciada por el ciclo diurno minimizando su efecto.

B.4.3. Régimen de viento mensual. Estación Casablanca.

Durante los meses de invierno existen dos componentes principales una proveniente de la dirección E y otra proveniente de la dirección SW con valores en torno de 7%, mostrando la influencia de la característica cordillera valle durante la noche y la característica valle cordillera durante el día.

Durante los meses de primavera la característica cordillera valle se minimiza por la acción de flujo diurno desde el valle a la cordillera, llegando a cerca del 20%, el que permanece hasta cerca de los 22 hrs.

B.5. Ciclos mensuales. Estación Casablanca V Región.

Figura B.16 Ciclos diarios de Temperatura

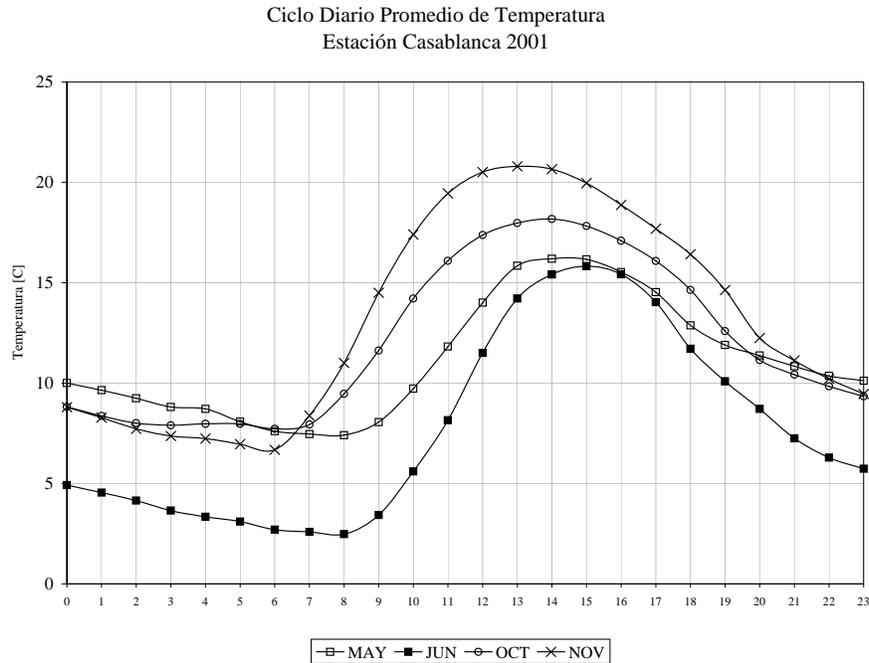


Figura B.17 Ciclos Diarios de Velocidad del viento

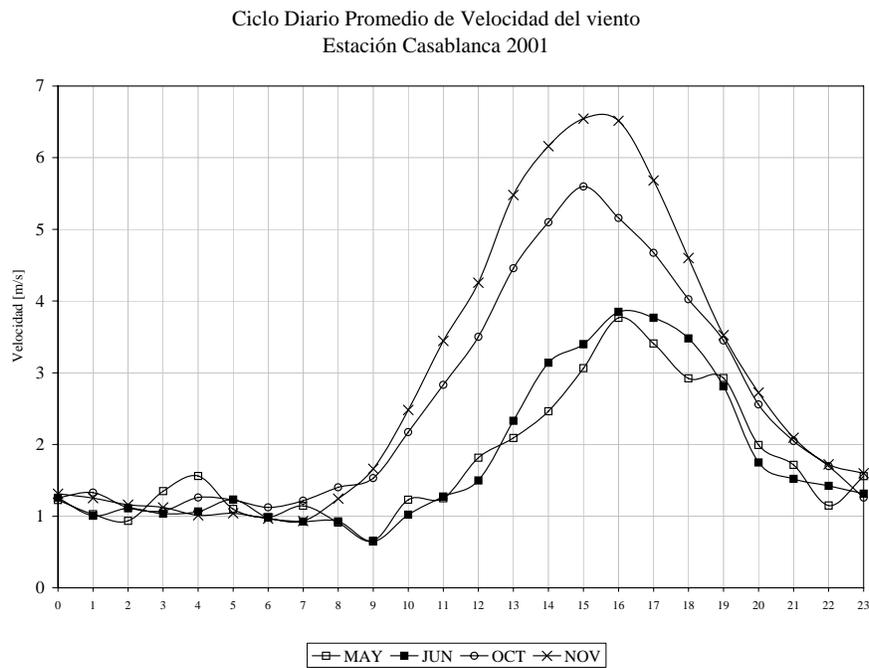


Figura B.18 Ciclos Diarios de Humedad Relativa

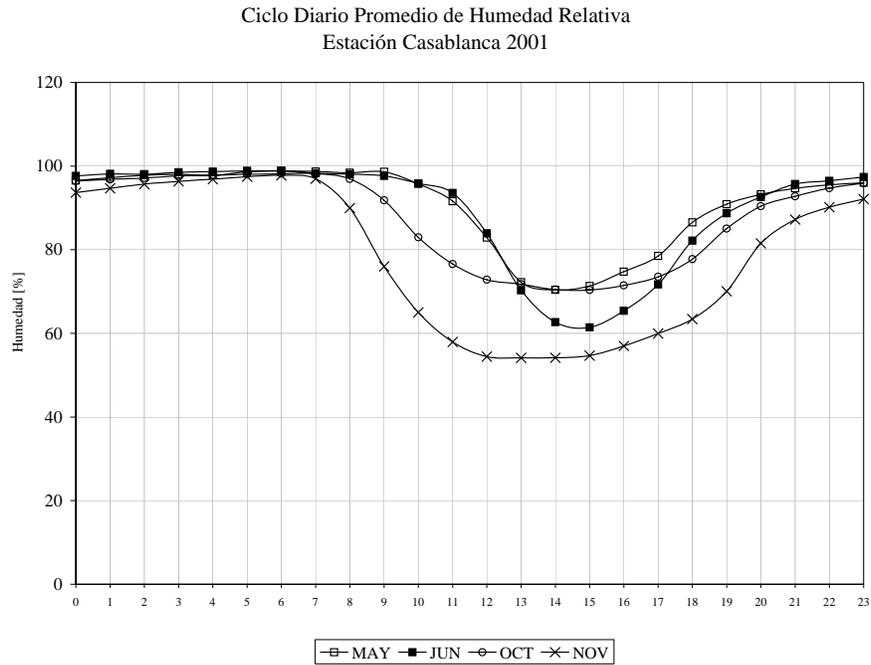
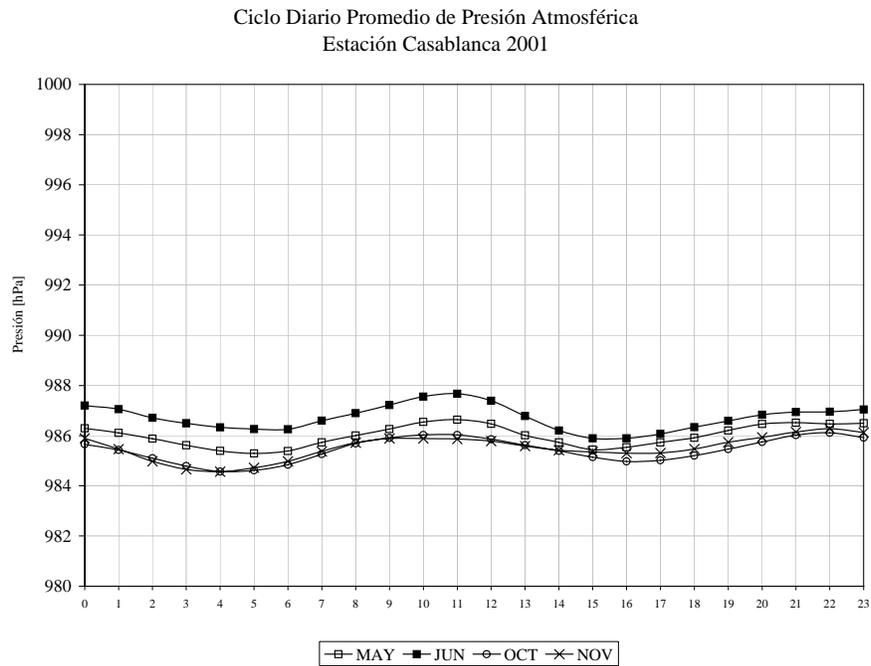


Figura B.19 Ciclo Diario de Presión Atmosférica



B.5.1. Ciclo diario de temperatura y humedad relativa. Estación Casablanca.

Los ciclos diarios de temperatura muestran el comportamiento habitual, con valores mínimos en el amanecer y valores máximos que migran desde las 15 hrs. en invierno a cerca del medio día en primavera. El rápido aumento de temperatura en los meses de invierno parece ser la característica principal de las condiciones locales de temperatura.

La diferencia de temperatura mínima alcanza a los 5C entre el invierno y primavera, al igual que los valores máximos. El aumento de temperatura en invierno comienza a efectuarse desde aproximadamente las 10 hrs. mientras que en primavera se hace efectivo desde las 6 hrs. con gradientes de igual magnitud. Quizá la presencia de heladas durante el invierno retrasa el comienzo del aumento de temperatura.

El ciclo de humedad relativa tiene la característica usual de valores máximos durante la noche y el amanecer y valores mínimos durante la ocurrencia de los valores máximos de temperatura. En los meses de invierno la presencia de humedades altas hasta cerca del medio día sugiere la presencia de bancos matinales de niebla local, que sólo se disipan con el aumento de temperatura y velocidad del viento. Los valores mínimos de humedad varían desde los 58% en primavera a los 70% en invierno.

B.5.2. Ciclo diario de velocidad del viento. Estación Casablanca.

El ciclo diario de velocidad del viento se encuentra bien definido para todo el periodo de mediciones, con valores mínimos durante la noche y hasta cerca de las 9 hrs. en torno a 1.2 m/s. Pasado el medio día comienza el ciclo diurno con un rápido aumento de velocidad para alcanzar los valores máximos durante la tarde en torno de las 16 hrs. Los valores máximos registrados varían desde los 4 m/s en invierno hasta cerca de 6.5 m/s en verano.

B.5.3. Ciclo diario de presión atmosférica. Estación Casablanca.

Durante todo el periodo de mediciones la presión atmosférica muestra la característica usual con dos valores mínimos, uno en la madrugada cerca de las 4 hrs. y otro en la tarde cerca de 16 hrs. El valor máximo se alcanza cerca del medio día y no difiere del valor mínimo en más de 1.2 hPa.

Los meses de invierno presentan presiones más altas que los meses de primavera lo que se puede asociar a la presencia de vaguadas costeras o al empeoramiento prefrontal.

C. Campaña Exploratoria De Contaminantes Atmosféricos Gaseosos – Ozono (O₃), Oxido De Nitrogeno (No₂) Y Oxido De Azufre (So₂).

C.1. Objetivos

Dentro de las actividades de campo o de terreno, definidas en los Términos de Referencia del proyecto, se propuso realizar un monitoreo exploratorio de Ozono y Oxidos de Nitrógeno y Azufre en la Macro Zona Central de Chile, en el sector comprendido entre La Calera por el norte y la ciudad de Curicó por el sur: El método propuesto - “método pasivo” - utiliza tubos de difusión y se basa en la difusión molecular de los contaminantes, a través de un dispositivo de colección (filtro impregnado con un agente químico específico para cada componente gaseoso). El método utilizado² fue transferido a CENMA por Universidad de Harvard, Escuela de Salud Pública, Boston EEUU (NO₂ y O₃).

Uno de los principales objetivos de esta parte del proyecto, es generar de manera exploratoria, información acerca de los niveles de concentración de los contaminantes antes mencionados en ocho sectores de la Macro Zona Central, a fin de profundizar el conocimiento acerca de zonas de posible mayor impacto, que pudiesen estar siendo afectadas por estos contaminantes. Asimismo, se espera que la información generada, ayude a definir una red regional de monitoreo de calidad de aire en la región. También se espera que esta actividad permita la puesta en marcha y más importante aún, la continuidad de actividades analíticas, en vista al desarrollo de una futura red nacional de monitoreo pasivo, a semejanza de redes similares operativas en la actualidad⁴⁻⁵.

La ubicación de los sitios de monitoreo utilizados fue determinada en base a las sugerencias emanadas del estudio realizado por Gallardo et al¹, asimismo el número de sitios definido en este estudio (ocho en total) fue determinado principalmente por la cantidad de recursos disponibles para esta fase del proyecto.

C.2. Descripción del programa de monitoreo

A fin de cumplir con los objetivos antes descritos, se establecieron los ocho puntos de monitoreo a través de la Macro Zona Central, los cuales son descritos en el capítulo siguiente. De acuerdo al programa establecido, se instalaron un total de 48 tubos pasivos; 2 tubos por especie en cada estación de monitoreo (NO₂, O₃ y SO₂), dando un total de 6 tubos por estación y esto multiplicado por ocho sitios de muestreo. Como un primer elemento de control de calidad de las mediciones, debido a las características específicas de los tubos pasivos y los riesgos de que éstos puedan ser afectados por formación de artefactos, deterioro del agente colector y/o deposición de mosquitos sobre el área de colección del tubo (filtro impregnado), se optó por realizar todos los muestreos en duplicado (muestra / contra muestra), de manera de tener un permanente elemento de control, tanto de aspectos de laboratorio (preparación y manejo de tubos, control de posibles contaminaciones de éstos), como así también manejo en terreno, exposición y traslado.

Para el Ozono, se definió una frecuencia de monitoreo semanal (tiempo de exposición de los tubos), concentrada en dos períodos de dos meses – Invierno (Junio y Julio) y Primavera (Octubre – Noviembre). Asimismo, para el caso del SO₂ y NO₂, de acuerdo a la información proporcionada por el fabricante de los sistemas de difusión (Ogawa Inc, Florida, EEUU)² utilizados en esta parte del proyecto, se definió una frecuencia de monitoreo mensual.

De acuerdo al calendario de mediciones y luego de recepcionados los insumos comprados en el extranjero (filtros colectores impregnados, Ogawa Inc, Florida, EEUU), a comienzos de Junio se procedió a instalar de los tubos pasivos y dar inicio a la campaña de monitoreo.

C.3. Lugares Propuestos

Los ocho lugares definidos para la campaña de monitoreo fueron:

- 1.- Sector de Hijuelas, valle del Aconcagua, V Región.
- 2.- Rocas de Santo Domingo, litoral, V Región.
- 3.- Sector Norte de la Región Metropolitana.
- 4.- Sector Sur de la Región Metropolitana.
- 5.- Sector Rengo, valle central, VI Región.
- 6.- Sector Santa Cruz, valle interior, VI Región.
- 7.- Sector San Fernando, VI Región.
- 8.- Sector Curicó, VII Región.

Asimismo, en vista a optimizar los tiempos de transporte entre los distintos sitios de monitoreo y el recambio de los tubos de difusión, las visitas a terreno fueron divididas en dos días, cubriéndose los sectores 1 al 4 el día jueves (itinerario A) y los sectores 5 al 8 (itinerario B) el día viernes de cada semana y/o cada mes, según el calendario de muestreo establecido.

C.3.1. Itinerario A

Lugar No 1 – Los Tilos. Lugar ubicado al Sur de la Región Metropolitana en el sector de Alto Jahuel, donde funciona una de las estaciones meteorológicas de CENMA. Los tubos pasivos fueron instalados en el mástil meteorológico, debajo del panel solar a 1.5-2.0 m del nivel del suelo.

Lugar No 2 – Aeródromo de Rocas de Santo Domingo. Este lugar ya fue utilizado antes para realizar una campaña de monitoreo de contaminantes atmosféricos (COVs y O₃), en un estudio financiado por la misión japonesa permanente en CENMA y con la colaboración de la Dirección de Meteorología de Chile (artículo en elaboración). Los tubos pasivos fueron instalados a un costado de la entrada al campo de aterrizaje del aeródromo.

Lugar No 3 – Parcela el Bosque, Hijuelas 1. Se trata de una casa particular ubicada en la calle Cuartel s/n, Parcela el Bosque, Hijuelas 1 y que pertenece a trabajadores de dicha parcela (Adriana Salazar y Ramón Silva Rocco). Los tubos pasivos fueron instalados en el poste de luz, dentro del patio del domicilio.

Lugar No 4 – Predio Agrícola Quilapilún. Este lugar queda ubicado al Norte de la Región Metropolitana cerca de la carretera San Martín, donde CENMA opera otra estación meteorológica. Los tubos pasivos fueron instalados, al igual que en Lugar No 1, en el mástil meteorológico debajo del panel solar.

C.3.2. Itinerario B

Lugar No 5 – Escuela Pública, Curicó. Ubicada en la entrada norte a Curicó, en el vértice de la bifurcación de la carretera panamericana y la entrada norte a la ciudad. Los tubos pasivos fueron instalados en un poste de luz, dentro del patio de la Escuela.

Lugar No 6 – Municipalidad de Palmilla. Por acuerdo con el Sr. Alcalde de la Ilustre Municipalidad de Palmilla, se autorizó el uso del recinto para el monitoreo con tubos pasivos en dicho sector, los muestreadores fueron instalados en un patio interno de la Municipalidad.

Lugar No 7 – San Fernando. Se trata de una casa quinta particular perteneciente al Sr. Gastón Rodríguez, quién facilitó su propiedad para realizar el muestreo. Los tubos pasivos fueron instalados en un poste del jardín.

Lugar No 8 – Rengo. En este lugar CENMA consiguió autorización de la Sra. Directora del Hospital Regional de Rengo, Dra. Kira León Belda, para utilizar los jardines del recinto hospitalario para la instalación de los muestreadores pasivos.

C.4. Resultados de las mediciones

A fin de validar los resultados emanados del presente estudio y también poder determinar los posibles valores escapados (outliers), se acordó con la Contraparte técnica, luego de ya iniciado los muestreos en la Macro Zona, realizar un muestreo adicional con tubos pasivos en la estación de monitoreo de Las Condes, a fin de poder correlacionar los valores del muestreo pasivo contra un monitor in-situ operativo y calibrado por personal de SESMA, en dicha estación. Este muestreo, para los mismos tres gases (NO_2 , O_3 y SO_2), fue realizado en forma paralela a la Macro Zona durante la ejecución del proyecto.

Con respecto al ozono, se realizaron dos campañas de monitoreo de acuerdo a lo programado (invierno y primavera) y cuyos resultados son presentados a continuación. Asimismo para el caso del NO_2 , se realizaron muestreos mensuales de exposición, los que son presentados a continuación.

Debido a fuertes lluvias en el período del mes de Julio, la torre meteorológica instalada en el sector de Quilapilún fue derribada, perdiéndose las muestras correspondientes a dicho mes. Finalmente para el caso del SO_2 , luego de iniciados los muestreos mensuales y correlacionados los resultados en la estación de Las Condes (pasivo vs activo), se decidió cambiar la frecuencia de muestreo de un mes a una semana, por cuanto los muestreos mensuales no mostraban una buena correlación entre las mediciones (pasivo vs activo). Cabe destacar que el SO_2 , es el único parámetro de los gases determinados en la Macro Zona que aún no ha sido validado dentro del sistema de acreditación de CENMA. Por esta misma razón, en la actualidad se lleva a cabo la implementación de un método paralelo al de Ogawa para la determinación del SO_2 , desarrollado por el Instituto Sueco de Investigaciones Atmosféricas IVL (M. Ferm "A sensitive Diffusional Sampler" IVL, P.O. 47086, Gothenburg, Swden), a fin de prescindir de la compra en EEUU de filtros impregnados para el caso del SO_2 , y principalmente, de utilizar un agente colector distinto de la trietanolamina (método Ogawa para el SO_2) como es el caso del método de M Ferm que utiliza Carbonato de Potasio (K_2CO_3) el cual es menos sensible a las variaciones de humedad relativa de la atmósfera, las que pueden ser determinantes en la determinación de los tiempos de exposición de acuerdo a los niveles de concentración ambiental de SO_2 existentes en una zona determinada.

C.5. Resultados

C.5.1. Ozono

Para el caso del ozono, se realizaron dos campañas de dos meses de duración cada una, correspondientes a los períodos invierno y primavera, con muestreos de una semana de exposición. Todas las muestras fueron analizadas y sus resultados numéricos son entregados en Tabla C.1 (Invierno) y Tabla C.2 (Primavera).

Tabla C.1 Concentraciones promedio de Ozono determinadas con Tubos de Difusión en la Macro Zona Central de Chile, período invierno (Junio Julio) de 2001.

Pto Muestreo	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	MIN	MAX	PROMEDIO
1 - Los Tilos	9.3	14.4	16.8	16.5	12.0	15.4	11.9	19.2	9.3	19.2	14.4
2 - Sto Domingo	10.5	13.0	16.2	16.6	14.4	16.9	15.4	18.0	10.5	18.0	15.1
3 - Hijuelas	8.1	14.1	16.8	16.6	15.8	12.3	12.5	13.6	8.1	16.8	13.7
4 - Quilapilún	13.1	22.2	24.5	24.6	18.7	15.0	15.0	20.3	13.1	24.6	19.2
5 - Curicó	4.7	7.6	6.9	3.0	5.2	9.7	15.0	8.0	3.0	15.0	7.5
6 - La Palmilla	10.1	15.2	14.3	12.4	10.1	16.8	19.6	17.0	10.1	19.6	14.4
7 - S. Fernando	4.7	6.8	8.4	7.3	5.9	11.9	16.0	10.3	4.7	16.0	8.9
8 - Rengo	5.5	9.3	8.3	7.6	5.2	13.0	13.4	10.8	5.2	13.4	9.2

* concentraciones expresadas en ppb

Tabla C.2 . Concentraciones promedio de Ozono determinadas con Tubos de Difusión en la Macro Zona Central de Chile, período primavera (Octubre Noviembre) de 2001.

Pto Muestreo	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	MIN	MAX
1 - Los Tilos	34.2	33.8	29.3	25.4	19.6	23.7	27.0	30.3	19.6	34.2
2 - Sto Domingo	18.0	26.8	22.0	21.0	18.4	19.1	18.4	17.9	20.2	26.8
3 - Hijuelas	24.1	26.6	26.9	22.8	18.9	22.0	23.2	25.5	23.8	26.9
4 - Quilapilún	31.1	42.7	35.2	33.8	23.8	28.5	36.7	36.0	33.5	42.7
5 - Curicó	17.3	0.0	18.4	16.6	15.6	17.5	17.1	16.8	14.9	18.4
6 - La Palmilla	26.0	25.7	24.9	18.5	18.3	21.3	18.3	22.9	22.0	26.0
7 - S. Fernando	19.5	22.4	18.1	19.0	17.4	21.0	19.9	20.6	19.7	22.4
8 - Rengo	21.5	25.2	23.0	21.9	19.9	22.2	22.8	25.7	22.8	25.7

* concentraciones expresadas en ppb

A continuación (Tabla C.3 y Tabla C.4) los resultados del monitoreo de ozono son presentados como el promedio de concentración muestra/contra muestra de cada medición, incluidos los mínimos y máximos detectados en cada sitio de monitoreo (correspondientes al período invernal y primaveral).

Tabla C.3 Concentraciones de Ozono determinadas con Tubos de Difusión en la Macro Zona Central de Chile, período invierno (Junio Julio) de 2001.

Pto Muestreo	M./D.	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	MIN	MAX	PROMEDIO
1 - Los Tilos	Muestra	9.45	15.00	17.87	17.47	12.05	15.33	12.35	20.09	9.45	20.09	14.95
	Duplic.	9.12	13.72	15.72	15.50	12.00	15.52	11.52	18.40	9.12	18.40	13.94
2 - Sto Domingo	Muestra	10.58	12.61	17.36	16.83	15.20	17.09	16.83	18.12	10.58	18.12	15.58
	Duplic.	10.35	13.46	15.01	16.39	13.54	16.80	13.91	17.80	10.35	17.80	14.66
3 - Hijuelas	Muestra	7.95	13.15	17.41	17.04	16.67	12.56	12.09	13.82	7.95	17.41	13.84
	Duplic.	8.26	14.99	16.18	16.11	14.85	11.96	12.89	13.41	8.26	16.18	13.58
4 - Quilapilún	Muestra	13.41	21.67	24.98	23.86	18.53	15.41	15.04	20.11	13.41	24.98	19.13
	Duplic.	12.80	22.79	23.96	25.35	18.96	14.50	15.00	20.46	12.80	25.35	19.23
5 - Curicó	Muestra	5.08	7.07	6.81	2.98	5.43	10.05	15.42	7.78	2.98	15.42	7.58
	Duplic.	4.32	8.06	6.90	2.96	4.91	9.33	14.57	8.12	2.96	14.57	7.40
6 - La Palmilla	Muestra	9.62	15.12	14.60	13.39	10.69	16.64	20.32	17.63	9.62	20.32	14.75
	Duplic.	10.57	15.33	14.07	11.34	9.48	17.00	18.79	16.30	9.48	18.79	14.11
7 - S. Fernand	Muestra	4.75	7.17	7.81	8.04	5.29	11.51	15.99	10.72	4.75	15.99	8.91
	Duplic.	4.68	6.37	8.91	6.60	6.47	12.25	16.03	9.82	4.68	16.03	8.89
8 - Rengo	Muestra	5.41	9.53	8.42	7.66	5.66	11.86	13.53	11.09	5.41	13.53	9.15
	Duplic.	5.50	9.10	8.28	7.55	4.84	14.20	13.30	10.50	4.84	14.20	9.16

* concentraciones expresadas en ppb

Tabla C.4 Concentraciones de Ozono determinadas con Tubos de Difusión en la Macro Zona Central de Chile, período primavera (Octubre Noviembre) de 2001.

Pto Muestreo	M./D.	4-Oct semana 9	11-Oct semana 10	17-Oct semana 11	25-Oct semana 12	2-Nov semana 13	8-Nov semana 14	15-Nov semana 15	22-Nov semana 16	MIN	MAX	PROMEDIO
1 - Los Tilos	Muestra	37.22	33.82	29.03	26.01	19.33	24.17	27.48	31.86	19.33	37.22	28.62
	Duplic.	31.26		29.57	24.82	19.78	23.13	26.42	28.83	19.78	31.26	26.26
2 - Sto Domingo	Muestra	19.23	26.76	21.52	21.61	20.18	18.21	17.98	17.06	17.06	26.76	20.32
	Duplic.	16.69		22.49	20.30	16.70	19.92	18.74	18.69	16.69	22.49	19.08
3 - Hijuelas	Muestra	25.15	26.59	26.77	23.46	19.11	22.88	23.76	25.48	19.11	26.77	24.15
	Duplic.	23.14		27.03	22.17	18.67	21.12	22.66	25.56	18.67	27.03	22.91
4 - Quilapilún	Muestra	31.67	42.66	36.00	33.86	23.65	27.89	37.38	36.06	23.65	42.66	33.65
	Duplic.	30.59		34.48	33.75	23.99	29.08	36.04	35.91	23.99	36.04	31.98
5 - Curicó	Muestra	17.18		18.40	17.14	16.09	17.50	16.43	16.48	16.09	18.40	17.03
	Duplic.	17.37			16.03	15.09	17.54	17.82	17.07	15.09	17.82	16.82
6 - La Palmilla	Muestra	26.56	25.69	24.85	18.23	18.11	21.25	18.34	22.41	18.11	26.56	21.93
	Duplic.	25.35		24.87	18.70	18.55	21.39	18.17	23.30	18.17	25.35	21.48
7 - S. Fernand	Muestra	18.26	22.41	18.03	18.95	17.35	20.49	20.31	20.40	17.35	22.41	19.53
	Duplic.	20.73		18.21	19.04	17.45	21.42	19.51	20.71	17.45	21.42	19.58
8 - Rengo	Muestra	21.77	25.24	23.18	21.76	20.21	22.73	22.56	26.39	20.21	26.39	22.98
	Duplic.	21.30		22.84	22.11	19.49	21.64	23.13	25.02	19.49	25.02	22.22

* concentraciones expresadas en ppb

Como es posible apreciar en la Tabla C.3, los promedios semanales de concentración de ozono determinados por el método de difusión durante el período de invierno se encuentran en un rango entre 3.00 y 24.60 ppb(v) (min - max.). Por otra parte los promedios semanales correspondientes al período de primavera Tabla C.4, aumentan a un rango de 14.9 y 42.7 ppb(v) (min - max.).

En la Figura C.1, es posible diferenciar dos marcados niveles de concentración, que agrupan a los distintos lugares de monitoreo de la Macro Zona. Dichos niveles con promedios de 17.8 y 11.5 ppb(v), respectivamente, se corresponden marcadamente con las dos rutas de monitoreo establecidas – la del sector norte de la Macro Zona y la del sector sur. El análisis preliminar de estos resultados estaría indicando que los puntos del sector norte podrían estar siendo afectados por la actividad de la Ciudad de Santiago (Quilapilún e Hijuelas). A la luz de mayor información (meteorología y calidad de aire) queda aún por dilucidar, particularmente la situación de Rocas de Santo Domingo, donde los niveles de concentración si bien no son extremadamente altos, están en el mismo rango que los del sector localizado al norte de la ciudad de Santiago (Hijuelas y Quilapilún).

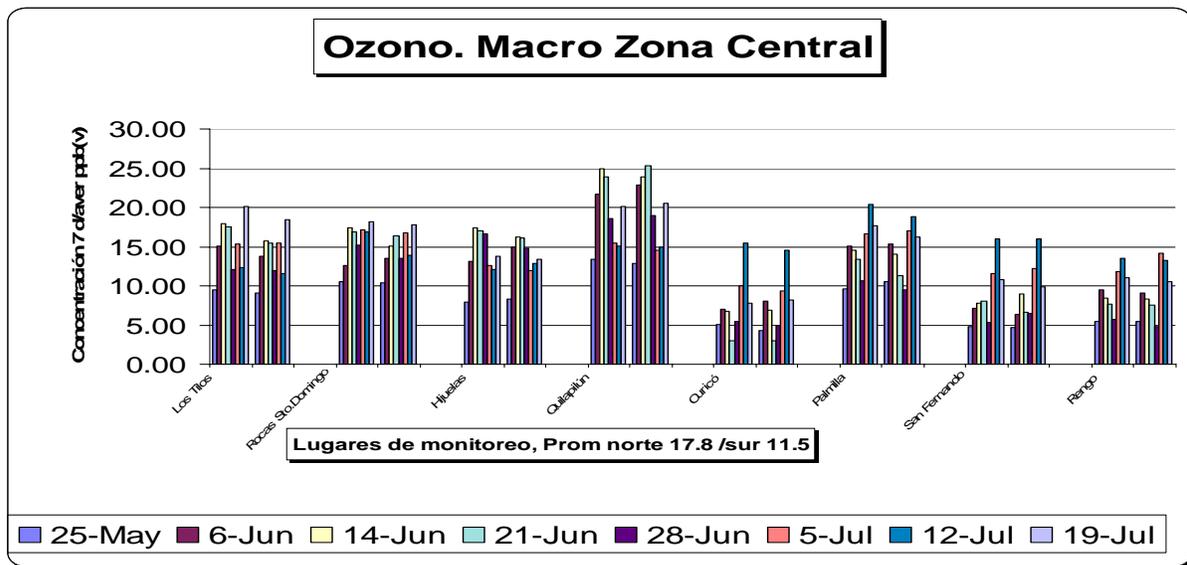


Figura C.1 Niveles de concentración de Ozono (promedios semanales) determinados en la Macro Zona.

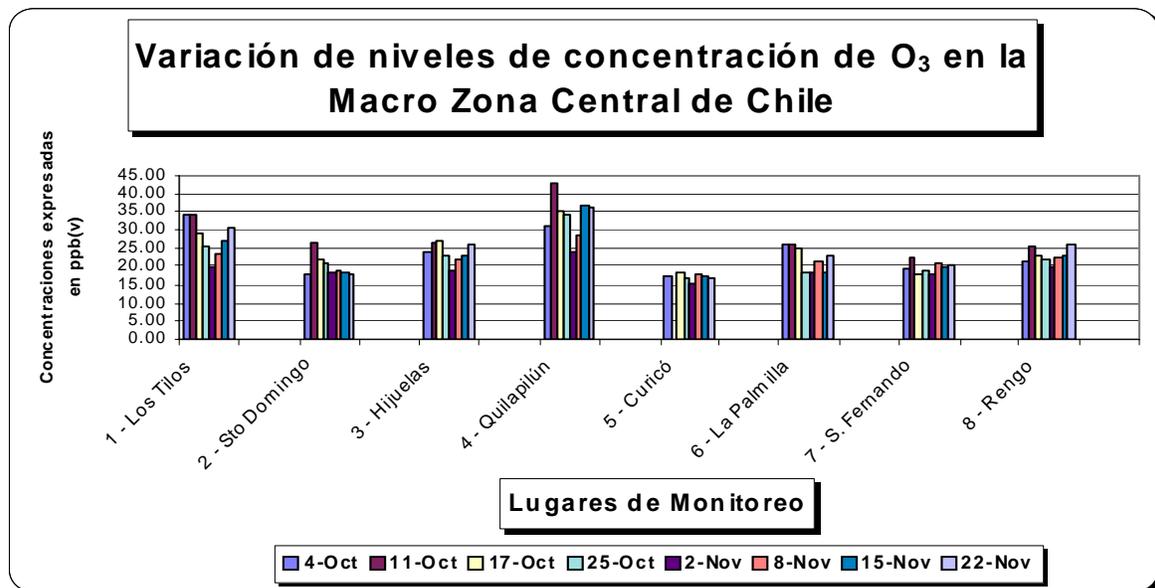


Figura C.2 Niveles de concentración de Ozono (promedios semanales) determinados en la Macro Zona

Como es posible apreciar en la Figura C.2 hacia la primavera se observa un sensible aumento de los niveles de concentración promedio de ozono a través de toda la Macro Zona Central. Particularmente para el sector de Quilapilún (al norte de la Región Metropolitana) los niveles alcanzados (42.7 ppb) superan incluso largamente los promedios de concentración medidos en la estación de Las Condes. Entre Octubre y Noviembre los promedios de concentración en dicha estación alcanzan los 27.2 ppb, con máximos de 32.1 ppb.

La mayor dispersión entre de los datos, como es posible apreciar en la Figura C.3, observamos en aquellos lugares donde los rangos de concentración determinados resultan ser los menores (concentración promedio 8.9, 7.49 y 9.16 en San Fernando, Curicó y Rengo respectivamente), los cuales corresponden a la ruta de monitoreo del sector sur de la Macro Zona. Dicha dispersión disminuye en el caso de la primavera, por cuanto los niveles de concentración aumentan.

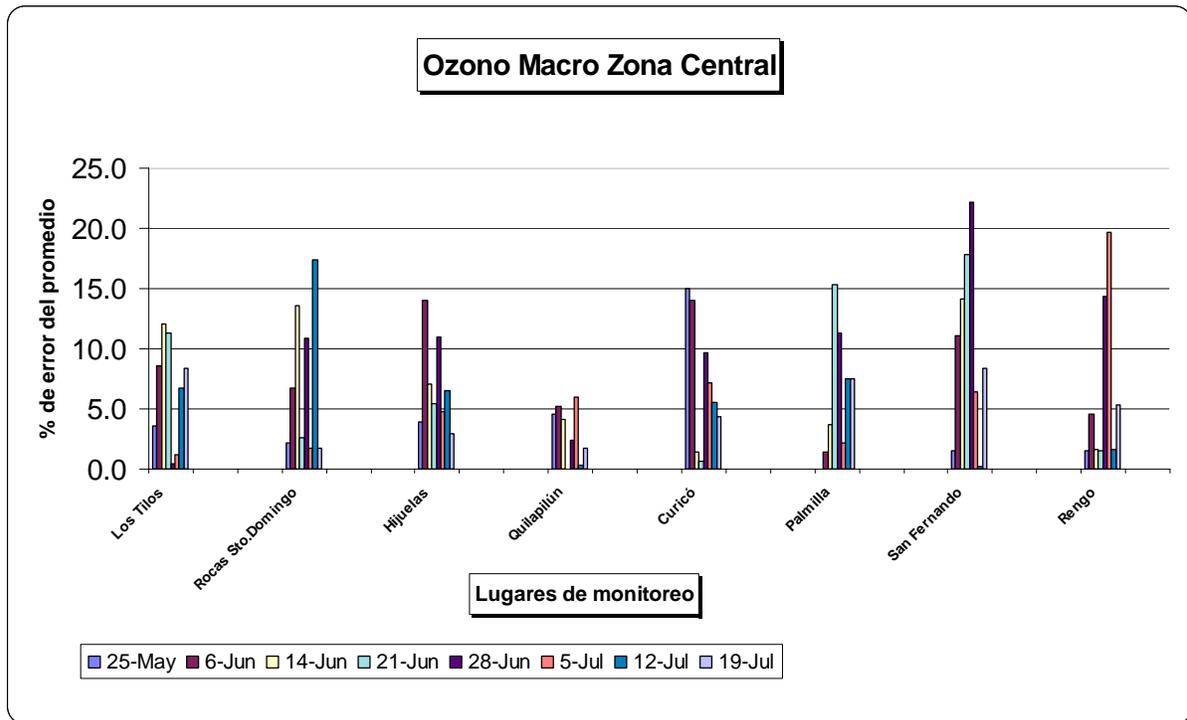


Figura C.3 Variabilidad de los promedios de concentración de Ozono determinados (promedios semanales) en la Macro Zona.

El resultado de los análisis de muestra/contra muestra (ver Tabla C.5) indican un satisfactorio rango de variación entre el resultado de la muestra y su duplicado, considerado como uno de los criterios de control de calidad de las mediciones realizadas⁴. La totalidad de las mediciones están por debajo del 15% de variación (muestra/contra muestra), salvo dos casos puntuales (4ta y 5ta semana de muestreo en San Fernando y 7ma en R de Sto. Domingo). Sin embargo dicha variación podría ser explicada por los bajos niveles de concentración determinados, mas que por algún error del método analítico. En el caso particular de Rocas de Santo Domingo, dicha variación podría explicarse por la posible formación de algún artefacto en uno de los colectores.

Tabla C.5 Porcentaje de error respecto de los promedios de concentración de ozono (muestras/duplicado) determinadas con tubos de difusión en la Macro Zona Central de Chile.

Pto Muestreo	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8
1	3.49	8.53	12.03	11.28	0.41	-1.24	6.72	8.41
2	2.17	-6.74	13.54	2.61	10.92	1.70	17.35	1.77
3	-3.90	-13.99	7.06	5.46	10.92	4.78	-6.62	2.97
4	4.55	-5.17	4.08	-6.24	-2.32	5.91	0.27	-1.74
5	14.96	-14.00	-1.32	0.67	9.58	7.16	5.51	-4.37
6	-9.88	-1.39	3.63	15.31	11.32	-2.16	7.53	7.54
7	1.47	11.16	-14.08	17.91	-22.31	-6.43	-0.25	8.40
8	-1.66	4.51	1.66	1.44	14.49	-19.73	1.70	5.32

C.5.1.1. Monitoreo paralelo de Monitor Continuo vs Tubo Pasivo.

A fin de sustentar la confiabilidad de los resultados analíticos emanados del presente monitoreo pasivo y como un segundo elemento de control de calidad de las mediciones realizadas (QA/QC), se acordó la realización de un monitoreo pasivo de SO₂, NO₂ y O₃ en la estación de monitoreo de Las Condes (Red MACAM) paralelo a la campaña de la macro zona. La idea central de esto se basa en un trabajo de validación de la metodología de tubos de difusión realizado en el Reino Unido, recientemente publicado (T. Bush, et. al. 2001)⁴. Se trata de obtener un set de datos confiables que permita definir los posibles “outliers” en las mediciones pasivas, en base a la determinación de los rangos de variabilidad de los coeficientes de variación entre las mediciones pasivas y los monitoreo in-situ, para luego aplicar a las mediciones de la Macro Zona. Las estimaciones realizadas por diversos autores⁶⁻⁹ indican la posibilidad de sobrestimar o subestimar (según el método aplicado) las mediciones pasivas en hasta un 30% de los valores reportados por los monitores continuos, por ello es necesario realizar la comparación entre ambos sistemas de monitoreo, para establecer de manera preliminar los niveles de concentración existentes (rangos max.-min) en los distintos lugares de monitoreo de la Macro Zona.

Se eligió la estación de monitoreo de Las Condes, por cuanto dicha estación cuenta con monitores continuos de SO₂, NO₂ y O₃. La correlación entre los resultados del monitor continuo versus los del monitoreo pasivo para períodos de una semana de exposición, como se aprecia en la Figura C.1, resulta satisfactoria en el caso del ozono ($r^2 = 0.9397$).

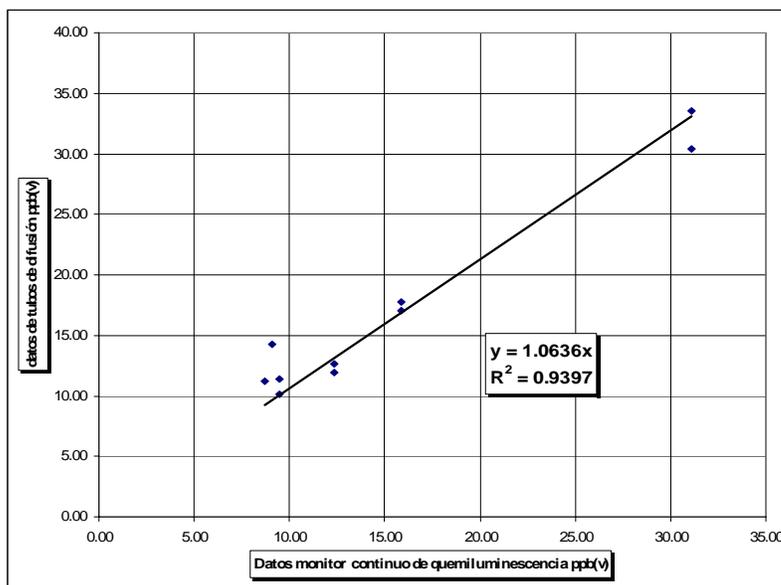


Figura C.4 Tubos de difusión vs monitor continuo de O3 períodos de una semana de

C.5.2. Dióxido de nitrógeno

Para el caso del dióxido de Nitrógeno, se realizaron muestreos de Junio a Noviembre. En la actualidad existen aún tubos de NO_2 expuestos en las estaciones de la Macro Zona, los que serán incluidos al informe con fecha posterior. Los muestreos de NO_2 corresponden a exposiciones de un mes de duración. Al igual que en el caso del ozono, para el NO_2 aún no ha sido aplicado ningún tipo de filtro en los promedios mensuales de concentración, de manera que lo que se presenta más abajo son también los “resultados gruesos”, por cuanto aún no se dispone de los datos (validados o por validar) del monitor continuo de la estación de Las Condes.

En la Tabla C.6, son presentados los resultados del monitoreo de Dióxido de Nitrógeno (muestra/duplicado) correspondientes a los meses de medición (Junio - Noviembre). Todos los valores de promedios de concentración mínimos determinados, para el NO_2 (0.6 ppm) como para los gases restantes, se encuentran muy por sobre los niveles de los límites de detección determinados para los métodos pasivos (ver “Informe de Validaciones de Métodos Analíticos Implementados en CENMA¹¹”).

Tabla C.6 Concentraciones de NO₂ determinadas con Tubos de Difusión en la Macrozona Central de Chile. Exposiciones mensuales, período Junio Noviembre de 2001.

Pto Muestreo	M./D.	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	MIN	MAX	PROMEDIO
1 - Los Tilos	Muestra	7.69	10.49	6.82	3.39	3.72	4.66	3.4	10.5	6.1
	Duplic.	6.29	9.88	4.94	2.87	3.74	4.31	2.9	9.9	5.3
2 - Sto Doming	Muestra	3.09	1.51	1.53	0.60	0.89	1.12	0.6	3.1	1.5
	Duplic.	2.73	1.37	1.10		1.12	1.28	1.1	2.7	1.5
3 - Hijuelas	Muestra	6.57	8.35	6.49	5.43	6.70	5.04	5.0	8.4	6.4
	Duplic.	8.03	8.04	6.22	4.53	6.56	5.37	4.5	8.0	6.5
4 - Quilapilún	Muestra	8.98	8.46	9.85	3.43	5.72	5.36	3.4	9.9	7.0
	Duplic.	9.13	8.60	9.13	4.82	6.43	5.69	4.8	9.1	7.3
5 - Curicó	Muestra	11.08	11.87	**	6.87	8.39	7.04	6.9	11.9	9.1
	Duplic.	9.98	11.06	**	5.28	8.11	7.26	5.3	11.1	8.3
6 - La Palmilla	Muestra	5.87	4.56	3.27	2.84	3.85	4.36	2.8	5.9	4.1
	Duplic.	4.93	4.41	4.01	3.39	4.21	4.50	3.4	4.9	4.2
7 - S. Fernando	Muestra	11.99	11.38	10.44	7.84	9.54	7.93	7.8	12.0	9.9
	Duplic.	10.24	10.30	8.80	6.85	9.67	7.66	6.9	10.3	8.9
8 - Rengo	Muestra	12.42	11.08	9.72	6.08	6.34	5.30	5.3	12.4	8.5
	Duplic.	11.77	11.47	9.20	5.00	5.69	5.76	5.0	11.8	8.1

* concentraciones expresadas en ppb
 ** muestra perdida.

Los resultados del dióxido de nitrógeno expresados como el promedio de concentración muestra/contra muestra de cada medición e incluidos los mínimos y máximos cuantificados, se presentan en la siguiente Tabla C.7, donde los promedios, mínimos y máximos son también expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla C.7 . Concentraciones promedio de NO₂ (muestra duplicado) determinadas con Tubos de Difusión en la Macrozona Central de Chile. Exposiciones mensuales, período Junio Noviembre de 2001.

Pto Muestreo	M./D.	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	MIN	MAX	PROMEDIO	MIN	MAX	PROMEDIO
1 - Los Tilos	Muestra	6.99	10.19	5.88	3.13	3.73	4.49	3.13	10.19	5.73	5.89	19.16	10.79
2 - Sto Domin	Muestra	2.91	1.44	1.32	0.60	1.01	1.20	0.60	2.91	1.41	1.13	5.47	2.66
3 - Hijuelas	Muestra	7.30	8.20	6.36	4.98	6.63	5.21	4.98	8.20	6.44	9.37	15.42	12.12
4 - Quilapilún	Muestra	9.06	8.53	9.49	4.13	6.08	5.53	4.13	9.49	7.13	7.76	17.85	13.42
5 - Curicó	Muestra	10.53	11.47		6.08	8.25	7.15	6.08	11.47	8.69	11.43	21.57	16.36
6 - La Palmilla	Muestra	5.40	4.49	3.64	3.12	4.03	4.43	3.12	5.40	4.18	5.86	10.16	7.87
7 - S. Fernando	Muestra	11.12	10.84	9.62	7.35	9.61	7.80	7.35	11.12	9.39	13.82	20.91	17.66
8 - Rengo	Muestra	12.10	11.28	9.46	5.54	6.02	5.53	5.53	12.10	8.32	10.40	22.76	15.65

* concentraciones expresadas en ppb

Como es posible apreciar en la Tabla C.7, los promedios mensuales de concentración de dióxido de nitrógeno determinados por el método de difusión se encuentran en un rango entre 0.6 y 12.1 ppb(v) (1.13 y 22.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (min. – max.). La comparación preliminar de dichos niveles de concentración con otro estudio similar, realizado por la cooperación sueca el año 1992 (Oyola & Romero¹⁰) indicarían niveles de concentración comparables entre algunas estaciones entre ambos estudios (ver Figura C.5, barras blancas Estudio Sueco, barras negras presente estudio, para exposiciones de un mes de duración).

Sin embargo, como se explica al final de este capítulo, la correlación entre tubos pasivos y monitor activo en la estación de Las Condes, realizada en el marco de este proyecto (QA/QC) estaría indicando una subestimación del orden de 30% para el caso de los tubos pasivos. Una vez obtenidos los datos validados del monitor de NO₂ de la estación de Las Condes será posible establecer con exactitud el porcentaje de esta subestimación.

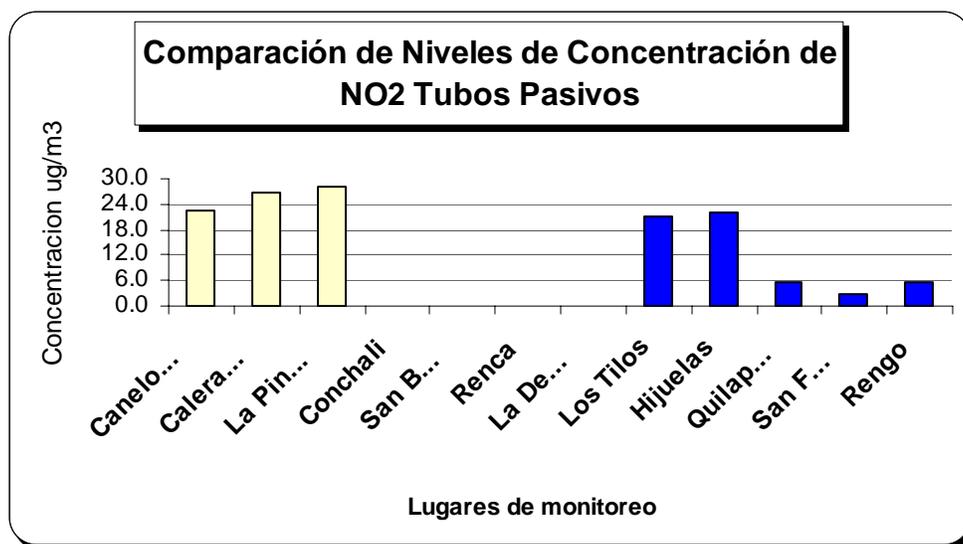


Figura C.5 Niveles de concentración de Dióxido de Nitrógeno (promedios mensuales) determinados en la Macro Zona (azul oscuro) y en Proyecto cooperación sueca BITS¹⁰, 1992 (blanco).

Por otra parte, la dispersión en las mediciones para el NO₂ es mayor que en el caso del O₃, dentro de un rango menor a < 20% (Tabla 6) salvo algunos casos puntuales como un valor en Palmillas, Hijuelas y Rocas de Santo Domingo (27.57, 22.63, 22.22 y 28.10%), sin embargo esto podría corresponder a un problema de manejo de laboratorio, más que una variabilidad analítica del método.

Tabla C.8 Porcentaje de error respecto de los promedios de concentración de dióxido de nitrógeno (muestra/duplicado) dterminados con tubos de difusión en la Macrozona de Chile

Tabla 6. Porcentaje de error respecto de los promedios de concentración de dióxido de nitrógeno (muestras/duplicat.) determinados con tubosde difusión en la Macrozona de Chile.			
Pto Muestreo	mes 1	mes 2	mes 3
1	18.21	5.82	27.57
2	11.65	9.27	28.10
3	-22.22	3.71	4.16
4	-1.67	-1.65	7.31
5	9.93	6.82	
6	16.01	3.29	-22.63
7	14.60	9.49	15.71
8	5.23	-3.52	5.35

Con relación a los resultados de la comparación (mediciones en paralelo) con monitor continuo de la estación de Las Condes (Red MACAM), en la Tabla 7 se entregan los primeros resultados obtenidos. Como se puede observar, ya a partir de 15 días de exposición se observa una diferencia del orden del 30% entre ambos métodos, lo cual concuerda con los resultados reportados por trabajo de validación de la metodología de

tubos de difusión realizado⁴. Para períodos de 4 semanas dicha diferencia llega al orden de 40%. No obstante se trata de datos de monitor continuo sin validar.

Tabla C.9 Comparación de promedios de concentración de NO₂. Tubos pasivos vs monitor continuo en la estación de monitoreo de Las Condes.

Tabla 7. Comparación de promedios de concentración de NO ₂ Tubos pasivos vs monitor continuo en la estación de monitoreo de Las Condes.								
Nombre Muestra	Fecha Inicio	Fecha Término	Tubo Pasivo	Monitor Continuo	% del valor de Monitor continuo*	semanas exposición		
MFVG18001	18/07/01 12:25	02/08/01 13:50	22.58	31.16	72.5	2 semanas		
MFVG18002	18/07/01 12:25	23/08/01 18:00	23.57	36.45	64.7	2 semanas		
MFVG26001	26/07/01 15:29	23/08/01 18:00	21.54	38.29	56.3	4 semanas		
MFVG26002	26/07/01 15:29	23/08/01 18:00	21.78	38.29	56.9	4 semanas		
MFVH23001	23/08/01 18:00	05/10/01 11:00	15.62	33.41	46.7	6 semanas		
MFVH23002	23/08/01 18:00	05/10/01 11:00	15.45	33.41	46.3	6 semanas		

*El porcentaje (%) del valor del Monitor Continuo se refiere al % del Tubo Pasivo respecto del Activo (tomado este último como 100%).

C.5.3. Dióxido de azufre

Finalmente para el caso del Dióxido de azufre, si bien los resultados obtenidos para el primer mes de monitoreo, mostraban concentraciones en un orden de magnitud similar a los de un estudio previo realizado por la Cooperación Sueca¹⁰ (resultados presentados en reunión de trabajo a la Contraparte técnica del proyecto), en los meses siguientes los niveles de SO₂ detectados disminuyeron considerablemente.

Como se aprecia en la Tabla C.10, los promedios mensuales del monitor de SO₂ están muy por encima de los valores entregados por los tubos pasivos.

Tabla C.10 Comparación de concentración de SO₂. Tubos pasivos vs monitor continuo en la estación de monitoreo de Las Condes

Tabla 8. Comparación de promedios de concentración de SO ₂ Tubos pasivos vs monitor continuo en la estación de monitoreo de Las Condes.							
Nombre Muestra	Fecha Inicio	Fecha Término	Tubo Pasivo	Monitor Continuo	% del valor de Monitor continuo	semanas exposición	
MHMG18001	18/07/01 12:15	02/08/01 13:50	2.08	2.18	95.4	2 semanas	
MHMG18002	18/07/01 12:15	23/08/01 18:00	0.60	2.57	23.3	4 semanas	
MHMG26001	26/07/01 15:29	23/08/01 18:00	0.49	2.69	18.2	4 semanas	
MHMG26002	26/07/01 15:29	23/08/01 18:00	0.61	2.69	22.7	4 semanas	
MHMH02001	02/08/01 13:50	23/08/01 18:00	0.49	2.83	17.3	6 semanas	
MHMH02002	02/08/01 13:50	23/08/01 18:00	0.60	2.83	21.2	6 semanas	
MHMH23001	23/08/01 18:00	05/10/01 11:00	0.63	S.D.		6 semanas	
MHMH23002	23/08/01 18:01	05/10/01 11:01	0.59	S.D.		6 semanas	

S.D sin datos.

Sin embargo, test realizados por el laboratorio durante el desarrollo del proyecto, indican una buena correlación cuando los tubos pasivos son expuestos por períodos de una semana de duración (Tabla C.11), aún cuando las fechas de los monitoreos están diferidas en el tiempo (tubo pasivo muestreado en Octubre y promedios semanales del monitor continuo correspondientes a mediados de Julio a Septiembre), ya que aún no se dispone de información de Las Condes posterior al 16 de Septiembre.

Tabla C.11 Comparación de promedios de concentración de SO₂ Tubos pasivos vs monitor continuo en estación Las Condes.

Tabla 9. Comparación de promedios de concentración de SO ₂ Tubos pasivos vs monitor continuo en la estación de monitoreo de Las Condes.							
Nombre Muestra	Fecha Inicio	Fecha Término	Tubo Pasivo***	Monitor Continuo	promedios semanales		
					Monitor continuo (Julio-Agosto)*	semanas exposición	
MHMH23002	05/10/01 11:01	11/10/01 11:01	2.13		1.52	1 semana	
MHMH23002	05/10/01 11:01	11/10/01 11:01	2.64		2.39	1 semana	
					2.15	1 semana	
					3.18	1 semana	
					2.64	1 semana	
					2.61	1 semana	
					2.15	1 semana	
					2.88	1 semana	
					3.18	1 semana	

* valores semanales entregados por Airviro,(sin validar) correspondientes a Junio Julio Agosto.
 *** muestras reales colectadas en Octubre.

En base a lo anteriormente expuesto, se aprovechó el segundo período de muestreos de Ozono realizado en Primavera, para incluir mediciones, también semanales, de SO₂ en las estaciones de la Macro Zona (Tabla C.12)

Tabla C.12 Concentraciones de SO₂ determinadas con Tubos de Difusión en la Macro Zona Central de Chile, período primavera (Octubre Noviembre) de 2001

Pto Muestreo	M./D.	2 semanas	1 semana	1 semana	1 semana	1 semana	MIN	MAX	PROMEDIO	MIN	MAX	PROMEDIO
		Octubre	Octubre	Octubre	Noviembre	Noviembre						
1 - Los Tilos	MuestraDupl	1.36	1.83	1.29	0.64	0.57	0.57	1.83	1.1	1.49	4.79	2.97
2 - Sto Domingo	MuestraDupl	0.28	0.74	0.54	0.51	0.55	0.28	0.74	0.5	0.73	1.94	1.37
3 - Hijuelas	MuestraDupl	1.72	2.07	4.89	3.02	1.63	1.63	4.89	2.7	4.25	12.80	6.97
4 - Quilapilún	MuestraDupl	1.24	1.23	1.64	0.68	0.75	0.68	1.64	1.1	1.77	4.28	2.89
5 - Curicó	MuestraDupl	0.47	0.91	0.77	0.65	0.74	0.47	0.91	0.7	1.23	2.37	1.85
6 - La Palmilla	MuestraDupl	0.38	0.78	0.78	0.56	0.61	0.38	0.78	0.6	0.99	2.04	1.63
7 - S. Fernando	MuestraDupl	0.62	1.16	0.92	0.79	0.85	0.62	1.16	0.9	1.61	3.02	2.26
8 - Rengo	MuestraDupl	0.92	2.05	1.52	1.54	1.78	0.92	2.05	1.6	2.41	5.35	4.08

* concentraciones expresadas en ppb

Si bien los niveles de SO₂ detectados son bajos, están todos por sobre el límite de detección instrumental (0.28 ppb) para la totalidad de los datos, excepto uno puntual la segunda semana de Octubre en la estación de Santo Domingo. Las mediciones realizadas en paralelo en la estación de Las Condes también indican valores muy bajos, sin embargo estos deberán ser contrastados con los valores validados del monitor continuo instalado en dicha estación.

C.6. Conclusiones y recomendaciones

Las principales conclusiones emanadas del monitoreo pasivo, junto con los datos meteorológicos y de calidad de aire son entregadas junto con las conclusiones generales del estudio. Desde un punto de vista analítico para esta parte del trabajo realizado, cabe destacar que los resultados de O₃ entregan una confiabilidad aceptable para los tiempos de exposición definidos, de acuerdo a los criterios de calidad desarrollados. Por otra parte, los resultados de NO₂, indican la necesidad de aumentar el universo de datos entre el monitor pasivo versus activo, a fin de determinar con claridad el porcentaje de subestimación de las mediciones ya realizadas respecto del monitor continuo.

Para el caso del SO₂, se observó una gran diferencia entre el monitor continuo y los tubos pasivos para exposiciones de 4 semanas. Sin embargo, para exposiciones de una semana los resultados indican una buena concordancia de los promedios (2.39 vs 2.52). Sobre esta base y en función de cumplir con los objetivos del proyecto de esta primera parte del estudio, de poder determinar de manera exploratoria los niveles de concentración existentes de los tres gases (O₃, NO₂ y SO₂) en la Macro Zona Central, se decidió realizar muestreos de SO₂ de una semana de exposición durante la segunda campaña de Ozono en la Macro Zona. Asimismo para el caso particular del SO₂ se implementó de manera paralela, un método alternativo (IVL, Martin Fern) de análisis, a fin evitar el uso de la trietanolamina (para la impregnación de los filtros de SO₂) utilizando Carbonato de Potasio (K₂CO₃) en su lugar, lo cual además de disminuir los costos de análisis, evita los inconvenientes de la importación de filtros impregnados desde Japón vía EEUU. En la actualidad dicho método está en período de validación.

C.7. Referencias bibliográficas del capítulo.

- 1.- Laura Gallardo, G. Olivares, A. Aguayo, J. Langner, B. Aarhus, L. Gidhagen. "Regional Dispersion of Oxidized Sulf over Central Chile Using HIRLAM – MATCH System. Strengthening of the Air Quality Information System (Working area 2): Application of a regional-scale model over the central part of Chile. Final report. National Commission for the Environment, [www.conama.cl].
- 2.- "NO₂, SO₂ and O₃ Sampling Protocol Using The Ogawa Sampler", Yokohama City Research Institute of Environmental Science, Yokohama, Japan, Report No 128, March 1997.
- 3.- Tony Bush, Stuart Smith, Ken Stevenson, Stephen Moorcroft, 2001. Validation of nitrogen dioxide diffusion tube methodology in the U.K. Atmospheric Environment, 35 (2001) 289-296.
- 4.- Ken Stevenson, T. Bush, Diane Mooney "Five years of nitrogen dioxide measurements with diffusion sampler at over 1000 sites in U.K.". Atmospheric Environment, 35 (2001) 281-287.
- 5.- Emile de Saeger, M.Gerboles, P.P.Ballesta, L. Amantini, M. Payrissat. "Air Quality in Brussels" Joint Research Centre, European Commission. EUR 16310 EN. , 1995.

- 6.- Martin Ferm and Per-Arne Svanberg “Cost-efficient techniques for urban and background measurements of SO₂ and NO₂. Atmospheric Environment, Vol 32, No 8, pp 1377-1381, 1998.
- 7.- Nadine Bernard, Mariette Gerber, Cecile Astre and Monique Saintot, “Ozone Measurement with Passive Samplers: Validation and Use for Ozone Pollution Assessment in Montpellier, France, Environ. Sci. Technol. 1999, 33, 217-222.
- 8.- Klyoung Lee, Yukio Yanagisawa, Masakazu Hishinuma, John Spengler and Irwin Billick “A Passive Sampler for Measurement of Carbon Monoxide Using a Solid Adsorbent”, Environmental Science & Technology, Vol 26, 697-702, 1992.
- 9.- M.R.Heal, M.A. O’Donoghue, J.N. Cape “Overestimation of urban dioxide by passive diffusion tubes: a comparative exposure and model study”. Atmospheric Environment, 33 (1999) 513-524.
- 10.- Pedro Oyola, Rodrigo Romero, Monitoreo y Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Región Metropolitana de Chile” Statensnaturvardsverk, BITS, Suecia, Abril, 1992.
- 11.- “Validación de métodos analíticos en CENMA”. Informe CENMA 2000.

D. Campaña exploratoria de contaminantes inorgánicos en aguas lluvia en la ciudad de Santiago

D.1. Introducción.

Cationes (pH, potasio, sodio, calcio, magnesio y amonio) y aniones (sulfato, nitrato, nitrito, y cloruro) han sido detectados y cuantificados en aguas lluvias recolectadas durante el invierno recién pasado en la ciudad de Santiago. El valor promedio de pH de las muestras de las aguas lluvia colectado durante este estudio estaría ligeramente por sobre del pH promedio de lluvias analizadas en otro trabajo de caracterización de aguas lluvia y rocío (M.A.Rubio, et. Al. 2001)¹ – 5.61 vs 5.0 respectivamente. Dicha diferencia no resulta sustancial e indicaría una muy leve menor acidez de las precipitaciones colectadas durante este año. Sin embargo, esta diferencia debe ser explicada en la comparación de un promedio de sólo 5 eventos de precipitación (presente estudio) contra un promedio de 4 años de caracterizaciones, donde si se dan eventos de precipitación, donde el pH desciende considerablemente (casos de pH sobre 3), indicando una efectiva influencia de la presencia de sulfato/nitrato en las precipitaciones (H_2SO_4/HNO_3). La comparación con el pH promedio obtenido para aguas lluvias en Santiago² durante el año 1995 y 1996 (5.5, y 5.4 respectivamente) en cambio si estarían muy cercanas. A continuación son presentados los resultados de la implementación de esta metodología en CENMA.

D.2. Descripción de la metodología utilizada

Para la colección de aguas lluvias, en este estudio exploratorio se utilizaron botellas de polietileno conectadas a embudos de 12 cm de diámetro, las cuales fueron cuidadosamente lavadas previo al muestreo, utilizando el mismo procedimiento de lavado del material de los tubos pasivos³.

Antes de cada muestreo, las botellas y los embudos son cuidadosamente enjuagados con abundante agua ultra pura clase Milli Q. Una vez colectadas, las muestras son inmediatamente trasladadas al laboratorio. En condiciones de laboratorio, se mide el pH de las muestras. Luego éstas son centrifugadas para remover las partículas insolubles. Cada muestra es dividida en dos porciones: La primera, será estabilizada con una solución de 0.5% de HNO_3 (grado ultra puro, Merck Supra-pure) a fin de prevenir la absorción de compuestos en las paredes del colector. La segunda porción será biológicamente estabilizada con una solución de 0.5% de cloroformo (p.a. Merck) a fin de prevenir la posible participación en algún proceso biológico en la muestra.

Además, luego de colectadas y sin someterlas a proceso de estabilización, las muestras fueron analizadas directamente, de acuerdo al método estándar de análisis de aguas⁴ (“Standard Method for the examination of water APHA, AWWA”, 19th ed. 1995), con el fin de comparar los resultados con los de las dos porciones antes descritas.

La caracterización de aniones presentes en aguas lluvias (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^-) al igual que los cationes (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+}) fue realizada por medio de cromatografía iónica con supresión.

D.3. Resultados

Cinco eventos de precipitación fueron caracterizados y realizados los respectivos balances iónicos de las muestras. Para ello, se procedió a calcular la presencia de protones y

bicarbonato a partir del pH (A.Ryaboshapko & WMO Operation Procedure). Las muestras de aguas lluvias fueron analizadas para el caso de los aniones de acuerdo a la metodología antes descritas, determinando los siguientes aniones inorgánicos - Cloruro, Nitrito, Nitrato y Sulfato, (Tabla D.1).

Tabla D.1 . Concentraciones de aniones en aguas lluvias colectadas en Santiago, Junio Julio 2001

Nombre Muestra	pH	Cloruro ppm	Nitrito ppm	Nitrato ppm	Sulfato ppm
M1	5.50	1.296	0.028	1.113	1.125
M2B7	5.61	3.961	0.327	0.732	1.287
M3B1	5.96	0.870	0.103	3.388	5.243
M4B6	5.87	4.847	0.176	1.299	1.918
M5B4	5.73	5.538	0.895	2.804	4.674
	average	3.302	0.306	1.867	2.849
	min	0.870	0.028	0.732	1.125
	max	5.538	0.895	3.388	5.243

* valores expresados en ppm

A partir de estos resultados, de acuerdo a los valores de pH, se calcularon las concentraciones de los protones (H^+) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$[H^+] = 10^{6-pH} \quad (1)$$

Asimismo, de acuerdo a los valores de pH determinados (sobre 5), se calculó la presencia de bicarbonato, a partir de la siguiente fórmula:

$$[HCO_3^-] = 5.1 / 10^{6-pH} \quad (2)$$

Una vez calculados estos valores para los distintos eventos de precipitación, los valores expresados como ppm (Tabla D.1) son convertidos a micro equivalentes por litro a fin de realizar el balance iónico: cationes vs aniones.

Tabla D.2 Concentraciones de aniones en aguas lluvias colectadas en Santiago, Junio Julio 2001.

Nombre Muestra	Cloruro ueq/L	Nitrito ueq/L	Nitrato ueq/L	Sulfato ueq/L	bicarbonato ueq/L	Suma Aniones
M1	36.559	0.609	17.952	23.438	1.614	80.2
M2B7	111.735	7.109	11.806	26.813	2.082	159.5
M3B1	24.542	2.239	56.645	109.229	4.679	197.3
M4B6	136.728	3.826	20.952	39.958	3.778	205.2
M5B4	156.220	19.457	45.226	97.375	2.742	321.0

* concentraciones expresadas en microequivalente/L

En el caso de los cationes, las mismas muestras fueron analizadas y cuantificados el Sodio, Amonio, Potasio, Magnesio y Calcio (Na, NH_4 , K, Mg y Ca).

Los cromatogramas de cationes caracterizados indican la presencia de Sodio, Amonio, Potasio, Magnesio y Calcio presentes en las aguas lluvias. Los últimos tres iones fueron cuantificados con posterioridad a los análisis cromatográficos (una vez adquiridos estándares de calibración para K, Mg y Ca).

Tabla D.3 Concentraciones de cationes en aguas lluvias colectadas en Santiago, Junio Julio 2001.

Nombre Muestra	pH	Sodio ppm	Amonio ppm	Potasio ppm	Magnesio ppm	Calcio ppm	H ueq/L
M1	5.500	1.29	0.614	0.186	0.158	6.140	3.160
M2B7	5.610	1.530	0.673	0.659	0.010	1.133	2.450
M3B1	5.960	1.921	1.016	0.112	0.101	1.334	1.090
M4B6	5.870	1.838	0.140	2.677	0.051	0.878	1.350
M5B4	5.730	1.819	1.969	1.281	0.107	1.674	1.860
	average	1.68	0.88	0.98	0.085	2.232	1.982
	min	1.29	0.14	0.11	0.010	0.878	1.090
	max	1.92	1.97	2.68	0.158	6.140	3.160

* valores expresados en ppm

Los valores de ppm determinados para los cationes son convertidos en micro equivalentes por litro (la concentración de protones fue incluida en la Tabla D.3 directamente en micro equivalentes por litro). Una vez realizadas las conversiones, se calcula la suma de aniones y de cationes, a fin de estimar el balance entre la suma de especies, Tabla D.4.

Tabla D.4 Concentraciones de cationes y establecimiento del balance iónico en aguas lluvias colectadas en Santiago, Junio, Julio 2001.

Nombre Muestra	Sodio ueq/L	Amonio ueq/L	Potasio ueq/L	Magnesio ueq/L	Calcio ueq/L	H ueq/L	Suma Cationes	Suma Aniones	Razón Cat/Anion
M1	56.2	34.1	4.8	13.0	307	3.16	418.2	80.2	5.21
M2B7	66.5	37.4	16.9	0.8	56.65	2.45	180.7	159.5	1.13
M3B1	83.5	56.4	2.9	8.3	66.7	1.09	218.9	197.3	1.11
M4B6	79.9	7.8	68.5	4.2	43.9	1.35	205.6	205.2	1.00
M5B4	79.1	109.4	32.8	8.8	83.7	1.86	315.6	321.0	0.98

* concentraciones expresadas en microequivalente/L

Como es posible apreciar en la Tabla D.4, sólo la primera muestra el balance iónico se aleja totalmente de la unidad. La razón de este comportamiento se debe a que dicha muestra fue analizada con una semana de diferencia luego de colectada la muestra, y sin haber utilizado cloroformo para la conservación de los aniones, lo cual produjo un sensible consumo de nitrógeno de la muestra. De tal forma que el peso de los aniones se vio directamente disminuido como se aprecia en la Tabla D.4. En cambio en las cuatro muestras restantes se utilizó ácido nítrico y cloroformo para la conservación y mantención de las muestras (química y biológica) tanto de aniones como de cationes.

A continuación son presentados algunos de los cromatogramas de muestras reales de aguas lluvia analizadas para cationes y aniones.

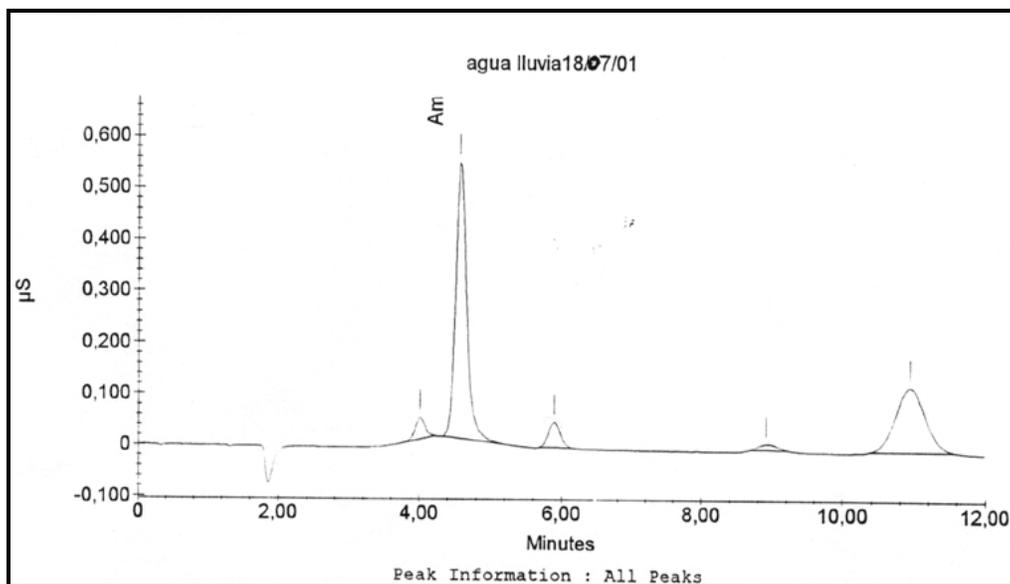


Figura D.1 Cromatograma de muestra de aguas lluvia de la Macro Zona, caracterizada para cationes.

Como es posible apreciar, el cromatograma de la Figura D.1 muestra las cinco señales de los cationes antes señalados.

En la Figura D.2, se entrega un cromatograma de caracterización de aniones en una muestra real de aguas lluvia correspondiente a un evento de precipitación en Santiago durante el día 18 de Julio.

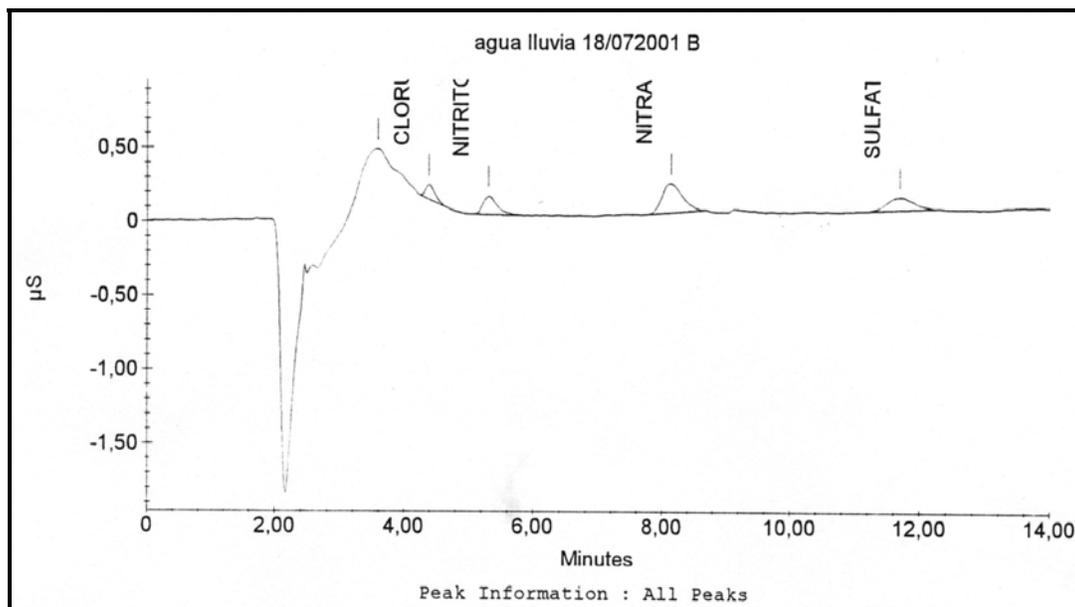


Figura D.2 Cromatograma de muestra de aguas lluvia de la Macro Zona, caracterizada para aniones.

En el cromatograma de la Figura D.2 se aprecian bajos niveles de concentración de los aniones presentes en un evento de aguas lluvia (0.2 – 0.3 μS en el eje vertical).

D.4. Conclusiones y recomendaciones de la etapa actual.

De acuerdo a metodología utilizada por la Organización Mundial de Meteorología⁵ (Santroch, 1995), existe un criterio de aceptabilidad para el balance de iones (“The Required Criteria for the Ion Balance”), basado en las concentraciones de aniones y cationes determinadas, de acuerdo al cual, se establecen los siguientes valores:

Tabla D.5 The Required Criteria for the Ion Balance

Anions + Cations (ueq/L)	Acceptable Ion Difference (%)
≤ 50	≤ 60
$> 50 \leq 100$	≤ 30
$> 100 \leq 500$	≤ 15
> 500	≤ 10

De acuerdo a la Tabla D.5, es posible concluir que en el caso en que las muestras de precipitaciones sean adecuadamente condicionadas y conservadas, el balance de iones debe mantenerse dentro de los límites establecidos por el criterio WMO. En el caso de las muestras de CENMA, para las cuales los niveles de concentración de los iones analizados estaría dentro de un rango menor a los 500 ueq/L, el criterio establece un límite no mayor a 15% de diferencia.

Como se aprecia en la Tabla D.4, en la última columna de la derecha (razón cationes/aniones), el criterio WMO de 15% de diferencia se cumple en todos los casos, con la excepción de la muestra M1, la cual fue expresamente incluida, para destacar la importancia del proceso de conservación de las aguas lluvias dentro del proceso de manejo del método analítico.

D.5. Referencias bibliográficas del anexo.

- 1.- M.A. Rubio, E.Lissi and G. Villena “ Nitrite in rain and dew in Santiago city, Chile. Its possible impact on the early morning start of the photochemical smog” *Atm Environment*, 0 (2001), 1-5.
- 2.- A.Ryaboshapko, P Oyola, E. Lissi, M.A.Rubio, “Composición química de hidrometeoros en la atmósfera de Santiago, Chile, *Información Tecnológica*, Vol 9, No 4, 1998.
- 3.- Implementación de sistema de calidad, Laboratorios de CENMA. Informe CENMA, remitido a Ministerio del Medio Ambiente de Canadá para la certificación de Laboratorio. 2000.
- 4.- Standard Method for the examination of water APHA, AWWA”, 19th ed. 1995.
- 5.- J.Santroch, 1995, “Chemical Analysis of precipitation for GAW: laboratory analytical methods and sample collection standards. WMO/TD NO 550, No 85, 27 pp.

E. Modelación Atmosférica

E.1 Objetivos

El objetivo general de esta sección, es establecer una metodología de simulación cuyos resultados en esta etapa del proyecto ayuden a mejorar la caracterización de los patrones de circulación de las zonas del Valle del Aconcagua y del Gran Concepción y aporten antecedentes técnicos para la delimitación de zonas potencialmente saturadas en esas áreas.

Considerando estos objetivos generales, los objetivos específicos son los siguientes:

1. Construcción de campos de viento para las zonas señaladas y revisión de aspectos asociados a la dispersión de contaminantes como la estabilidad y la altura de capa de mezcla.
2. Realizar un estudio de trayectorias hacia delante (forward) desde las fuentes más importantes en las zonas del Valle del Aconcagua y el Gran Concepción.
3. Elaborar la información necesaria para la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes para las zonas del Valle del Aconcagua y el Gran Concepción.

Los objetivos específicos 2 y 3 están condicionados al logro del primero. El tercer objetivo específico incluye la generación de información de emisiones sistematizada para las zonas de aplicación de esta etapa.

Tanto campos meteorológicos como emisiones, están orientados al uso del modelo de dispersión MATCH (Robertson et al, 1999). La elección del modelo de dispersión MATCH obedece, en primer lugar, a su disponibilidad para CENMA y en segundo lugar, a que su aplicación en Chile a entregado resultados en aplicaciones previas (Gallardo et al., 2000; Gidhagen et al., 2001).

La metodología que se desarrolla y aplica en las zonas del Valle del Aconcagua y del Gran Concepción podrá ser utilizada en otras regiones del país y otros estudios específicos.

E.2 Construcción de Campos de Viento

E.2.1 Antecedentes

La escala de los fenómenos que se quiere representar se encuentra en el orden de kilómetros a decenas de kilómetros, considerada mesoescala. Por ello se hace necesaria la generación de campos con resolución tal que capturen patrones de circulación en zonas de gran complejidad orográfica, como son el Valle del Aconcagua y el área del Gran Concepción.

En general existen dos aproximaciones al problema de generar campos de viento y otras variables meteorológicas en grilla para estudios de calidad de aire: pronóstico y diagnóstico (Jin Young Kim et al, 2000; Seaman, 2000; Stohl et al, 1997).

Se habla de pronóstico cuando se resuelven las ecuaciones básicas de conservación de masa, momento, energía y estado (termodinámica) para obtener los campos meteorológicos requeridos, entre ellos el viento. No obstante, la riqueza de esta aproximación en la descripción de los fenómenos físicos que ocurren en la atmósfera, este tipo de modelos no son simples de usar, por su inherente complejidad, son muy sensibles a las condiciones iniciales y de borde y alto costo computacional (Barna et al, 2000).

En el enfoque diagnóstico, se usan datos medidos para generar campos meteorológicos en grilla. En términos generales se requiere de menores recursos computacionales y son más simples de implementar. Sin embargo, su desventaja más importante radica en que los resultados dependen fuertemente de la calidad y distribución espacial de las observaciones disponibles, así como también de los métodos de diagnóstico utilizados, (Jin Young Kim et al, 2000).

Para la construcción de los campos meteorológicos se usará un esquema de tipo diagnóstico. Esta elección se debe, por un lado, al tipo de modelos disponibles y probados a la escala de resolución horizontal requerida por los objetivos del proyecto, por otro, al tipo de información disponible, y por último a los recursos computacionales disponibles para corridas largas en tiempo (varios meses), que pueden involucrar un alto costo en otro tipo de esquemas (Stohl et al, 1997; Seaman, 2000).

En la información disponible para la construcción de campos de viento se destacan básicamente tres tipos de datos:

- Datos de superficie. Relieve y uso de suelo.
- Observaciones Meteorológicas de superficie y altura (sondeos).
- Campos meteorológicos de un modelo de escala mayor (HIRLAM).

Los datos de relieve para ambas zonas tienen igual nivel de detalle. Se dispone de una grilla con resolución de 30 s de arco en latitud y longitud extraída de una base de datos denominada GTOPO disponible en el sitio internet <http://www.usgs.gov> correspondiente al Servicio Geológico de los Estados Unidos (US Geological Survey). Respecto a la información de uso de suelos requerida, se utilizará la información proveniente del mismo servicio con una

resolución aproximada de un kilómetro y 24 categorías que se encuentran listadas como anexo.

En relación a las series de observaciones meteorológicas de superficie y altura ambos casos tienen diferencias importantes. En el Gran Valparaíso se destacan las series de datos de altura de las estaciones de sondeos de Quintero y Santo Domingo correspondientes a la Dirección Meteorológica de Chile, a ellos se suman las observaciones de superficie de las redes de grandes fuentes emisoras, Fundición Ventanas, Fundición Chagres, Refinería de Petróleo Concón y recientemente las termoeléctricas San Pedro y Nehuenco en la zona de Quillota. Adicionalmente existen observaciones de la Armada de Chile y en las sedes de la U. Federico Santa María y U. de Valparaíso.

En el caso del Gran Concepción, la información disponible es de menor cuantía espacial y temporal. Existen observaciones de superficie en la zona de Talcahuano y algunas en Coronel. La estación de sondeos más cercana que aporta mediciones de altura es Puerto Montt distante unos 400 Km al sur del borde inferior del dominio escogido, por lo que su influencia en las variables de altura calculadas será menor.

E.2.2 Modelo HIRLAM

E.2.2.1 Antecedentes

De acuerdo con los objetivos planteados anteriormente, tanto el desarrollo de un estudio de trayectorias como la preparación de la información necesaria para el modelo de dispersión MATCH, requieren de la construcción de campos de viento de una resolución tal que las circulaciones características de las zonas del Valle del Aconcagua y del Gran Concepción sean reproducidas de manera adecuada.

Dos proyectos ejecutados anteriormente, uno sobre dispersión de azufre oxidado en Chile Central y otro sobre deposición de arsénico en el centro-norte del país, entregaron campos meteorológicos tridimensionales validados para un dominio que va desde varios cientos de kilómetros al norte de Arica por el norte, hasta aproximadamente Osorno por el sur, y desde alrededor de 600 km al este de la frontera Chile-Argentina hasta unos 500 km mar afuera de las costas chilenas. La Tabla E.1 muestra un detalle de la extensión temporal y espacial de los 10 períodos disponibles de los estudios antes mencionados.

Tabla E.1. Corridas del modelo HIRLAM disponibles para su utilización en este proyecto. Se indica el período simulado así como el dominio horizontal correspondiente.

Corrida	Fecha Inicio	Fecha Término	Latitud	Longitud
Ny_9706	16-May-97 03:00	16-Jun-97 00:00	24,9 - 40	63 - 75,5
FIVE_9801	01-Ene-98 03:00	28-Ene-98 00:00	24,9 - 40	63 - 75,5
Ny_9805	01-May-98 03:00	31-May-98 15:00	24,9 - 40	63 - 75,5
FC9906	15-Jun-99 03:00	15-Jul-99 00:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45
FC9910	01-Oct-99 03:00	31-Oct-99 15:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45
FC9911	21-Nov-99 03:00	20-Dic-99 15:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45
FC0001	16-Ene-00 03:00	15-Feb-00 00:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45
FC0005	15-May-00 03:00	16-Jun-00 00:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45
FC0007	20-Jul-00 03:00	21-Ago-00 00:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45
FC0009	15-Sep-00 03:00	15-Oct-00 00:00	15,1 - 40	62,95 - 75,45

Estos campos meteorológicos tienen una resolución horizontal de 0,1° x 0,1°, aproximadamente 10 km lo que no permite, de acuerdo a las evaluaciones de estos campos realizadas en el marco de los proyectos antes mencionados, reproducir las circulaciones de menor escala, particularmente en el Valle del Aconcagua y la cuenca de Santiago (Gallardo et al., 2000).

Para construir campos meteorológicos de una resolución de aproximadamente 2 km se propuso la utilización de los campos originales, producto de los estudios de azufre oxidado y de arsénico, como una primera aproximación para luego modificar estos campos de manera de incorporar los efectos de la topografía así como la asimilación de datos observados en los dominios de interés.

Los campos meteorológicos originales fueron obtenidos de la ejecución del modelo de pronóstico del tiempo HIRLAM (High Resolution Limited Area Model, <http://www.knmi.nl/hirlam>). Este modelo meteorológico es el resultado de una cooperación entre los institutos meteorológicos de Dinamarca, España, Finlandia, Holanda, Islandia, Irlanda, Noruega y Suecia. Básicamente, el sistema corresponde a un modelo de punto de grilla hidrostático y las resoluciones en las que actualmente se utiliza esta herramienta van desde los 5 a los 55 km horizontalmente. El modelo HIRLAM, debido a que se trató de corridas históricas en lugar de predictivas, se utilizó como una herramienta de interpolación dinámica de los resultados del modelo del Centro Europeo para el Pronóstico del Tiempo de Mediano Alcance (European Centre for Medium Range Weather Forecast, ECMWF <http://www.ecmwf.int>), los cuales fueron utilizados como condiciones de borde cada seis horas, con una resolución de unos 100 km. Un mayor detalle de las corridas del modelo HIRLAM se encuentra en Gallardo et al. (2000) y Gidhagen et al. (2001).

E.2.2.2 Evaluaciones previas de resultados disponibles de HIRLAM

En el marco de los proyectos de dispersión de azufre oxidado en Chile Central y de deposición de arsénico en centro-norte de Chile, se realizó una evaluación de los campos meteorológicos

que serán utilizados la cual entregó las siguientes conclusiones (Gallardo et al., 2000; Gidhagen et al., 2001):

- HIRLAM es capaz de capturar las variaciones estacionales de la nubosidad y precipitación en todo Chile, además, el modelo es capaz de reproducir las diferencias climáticas entre la zona norte y sur del país.
 - El modelo logra simular las variaciones sinópticas (sistemas de altas y bajas presiones pasos frontales) durante la mayor parte de los períodos simulados.
 - HIRLAM simula velocidades del viento muy altas en el sur y muy bajas en el norte del país, dentro de la depresión intermedia, probablemente asociadas a dificultades en la representación de la nubosidad. Asimismo, el modelo sobreestima la precipitación a lo largo de la costa norte de Chile.
 - Para la zona de Santiago, el modelo presenta diferencias con las observaciones particularmente en cuanto a la dirección del viento en superficie, en condiciones de bajas velocidades del viento (< 3 m/s). Esto se debe en parte a la resolución horizontal del modelo (ca. $10 \times 10 \text{ km}^2$) que es muy gruesa para la comparación realizada con las estaciones disponibles dentro de la cuenca de Santiago.
 - La comparación entre HIRLAM y las observaciones en altura es mucho más favorable que con las estaciones en superficie, en efecto, las características observadas en los sondeos verticales disponibles son reproducidas por HIRLAM sobre los 1000 m de altura.
 - HIRLAM es capaz de reproducir las características observadas, en cuanto a temperatura y velocidad y dirección de viento, en el perfilador vertical de La Platina (LAP-RASS) sobre los 800 – 1000 m de altura, dando cuenta que el modelo es capaz de reproducir las circulaciones de escala sinóptica en el dominio.

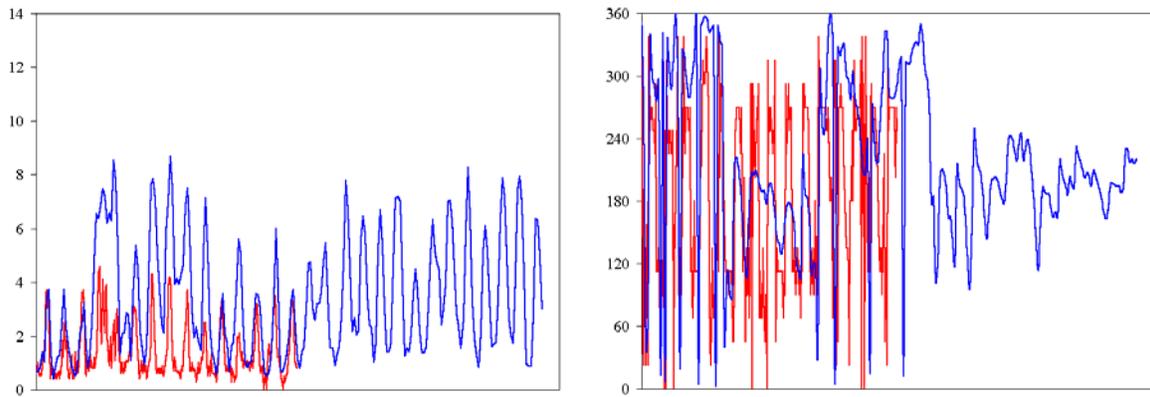
E.2.2.3 Comparación de HIRLAM con observaciones disponibles en la V Región

Como punto de partida del ejercicio de interpolación de los datos de HIRLAM utilizando el esquema diagnóstico, es necesario efectuar una comparación entre los resultados entregados por HIRLAM y las observaciones disponibles dentro de los dominios de modelación y que no fue incorporada en los proyectos anteriores.

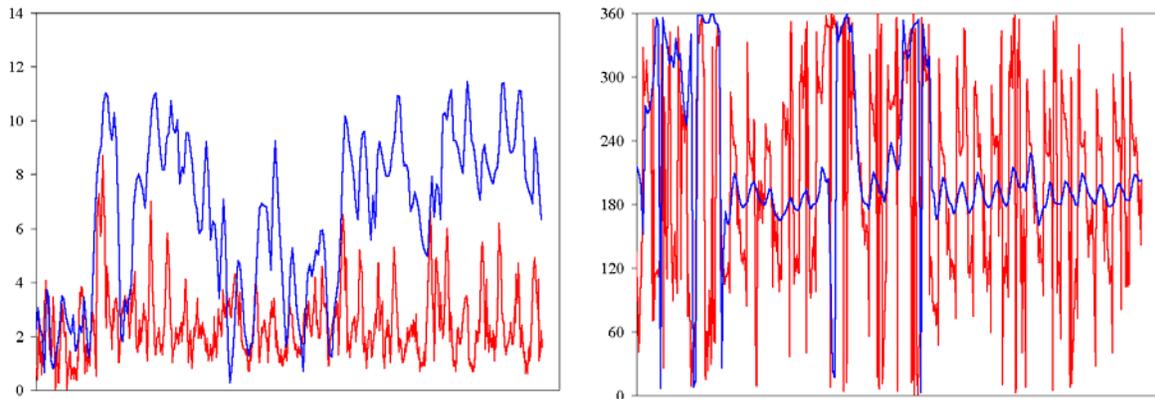
A modo de ejemplo y con el objeto de evaluar el comportamiento del sistema para un período de prueba, se presenta la comparación entre la simulación de HIRLAM y las observaciones en tres puntos de la Quinta Región, San Pedro (V08, 32.94 S, 71.27 W), Concón (V38, 32.96 S, 71.55 W) y Chagres (V20, 32.8 S, 70.97 W). Estas estaciones se escogieron debido a la disponibilidad de información meteorológica para el período de comparación (15 de Septiembre al 15 de Octubre del año 2000) y a que corresponden a situaciones geográficas diferentes. En efecto, la estación de San Pedro se encuentra en el valle de Quillota a unos 30 km de la costa y en una zona de topografía compleja, por otro lado, la estación de Concón se encuentra en la costa y permite evaluar la capacidad del modelo de reproducir la circulación de brisa marina y por último, la estación de Chagres se encuentra en el interior del valle del Aconcagua y en una zona topográficamente compleja.

Observando la serie de tiempo de velocidad y dirección del viento, (ver Figura E.1), se tiene que HIRLAM es capaz de reproducir el nivel de las observaciones para las estaciones del interior (San Pedro y Chagres) capturando incluso los ciclos diarios observados, (ver Figura E.2), en estas estaciones. Para la estación de Concón, HIRLAM no es capaz de reproducir ni el nivel ni la variabilidad de las observaciones. Esto se debe en parte a la gruesa topografía e información de uso de suelos incorporada en las corridas de HIRLAM lo que hace difícil la reproducción de características locales como la brisa marina y la variabilidad diaria de las observaciones, recuperándose la conclusión de los estudios anteriores respecto del análisis de los resultados de HIRLAM, cual es que el modelo es capaz de reproducir los patrones regionales de las variables meteorológicas pero no captura la variabilidad local de las observaciones.

San Pedro (V08)



Concón (V38)



Chagres (V20)

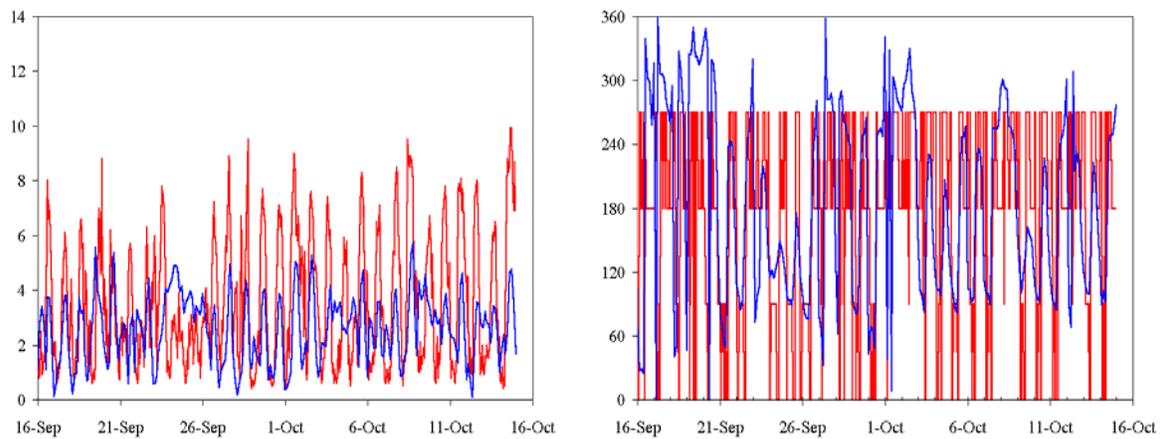


Figura E.1. Series de tiempo de velocidad (panel izquierdo, en m/s) y dirección (panel derecho, en grados) para el período del 15 de septiembre al 15 de octubre. La línea roja corresponde a las observaciones y la azul a las simulaciones.

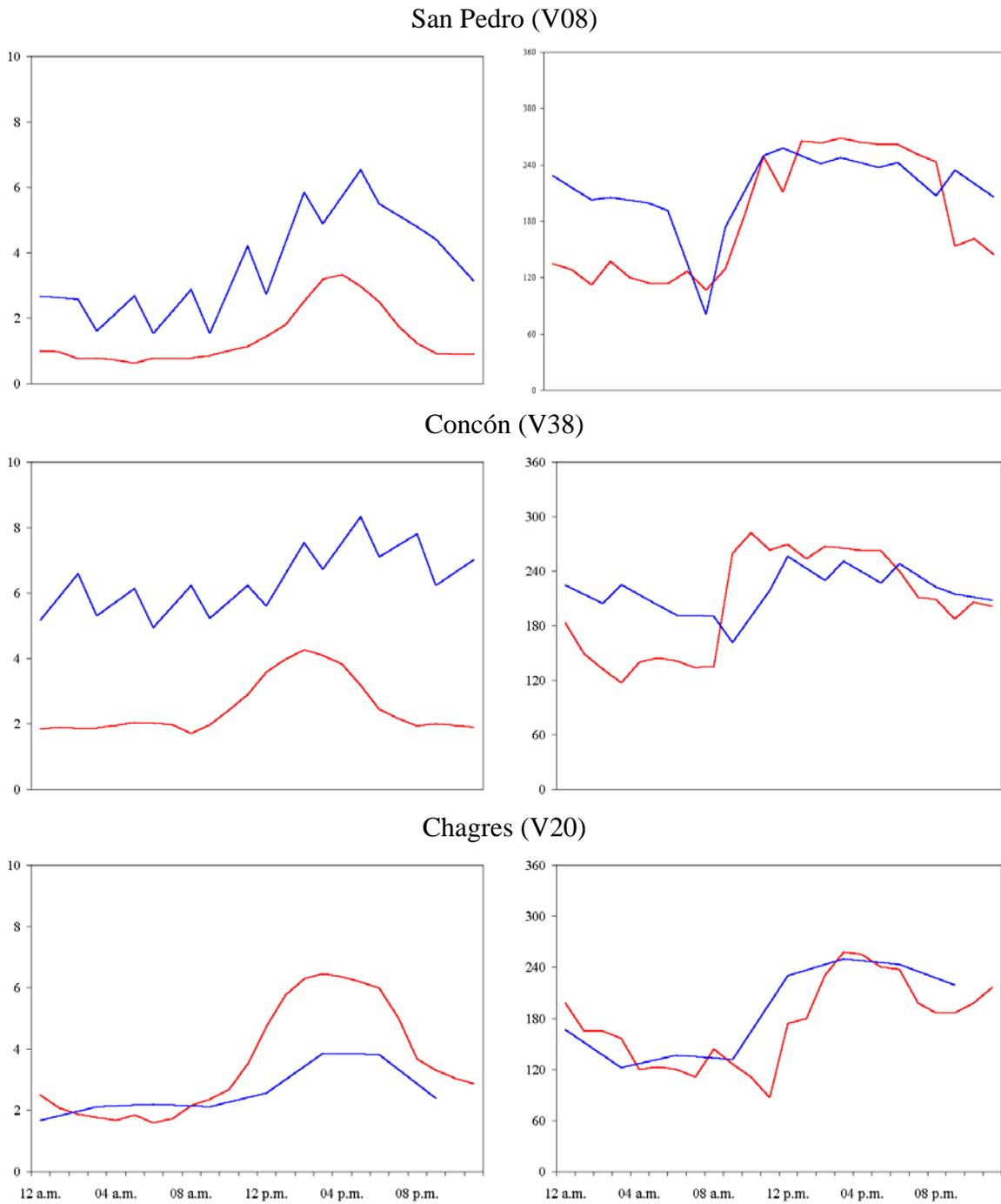


Figura E.2. Ciclos diarios de velocidad (panel izquierdo, en m/s) y dirección (panel derecho, en grados) promedio para el período del 15 de septiembre al 15 de octubre. La línea roja corresponde a las observaciones y la azul a las simulaciones.

E.2.3 Modelo CALMET

E.2.3.1 Antecedentes

Se ha escogido el modelo meteorológico de diagnóstico CALMET (Scire, J.S., Earth Tech, Inc. <http://src.com/calpuff>) para ser incorporado en el esquema de cálculo de campos meteorológicos. CALMET corresponde a una versión avanzada del modelo DWM (Diagnostic Wind Model, Douglas y Kessler, 1990) usado con anterioridad en CENMA. Existen numerosas referencias de aplicaciones de CALMET en diversos lugares del mundo, además es de libre disposición y cuenta con documentación sobre su formulación y uso.

La elección de resolución espacial y temporal de los campos a calcular tiene gran relevancia. En términos generales esta elección tiene relación con la escala de los fenómenos que se quiere capturar, la información disponible, las aplicaciones que utilizarán los campos y finalmente los costos computacionales del cálculo.

La resolución espacial horizontal escogida es 2 Km.. En términos generales la resolución vertical es más fina dentro de la capa límite atmosférica y más gruesa en niveles superiores, detalles más específicos se encuentran más adelante, en cada caso de estudio.

La resolución temporal depende básicamente del esquema de cálculo escogido, de las aplicaciones que usaran los campos y de la resolución de la información observada disponible. En este caso la resolución es una hora.

CALMET es un modelo de tipo diagnóstico compuesto por un módulo de generación de campo de vientos y un módulo micrometeorológico. Utiliza básicamente observaciones meteorológicas disponibles en algunos puntos e información de superficie, para construir el campo de viento y la estructura de la capa límite sobre tierra y agua en todo el dominio de cálculo.

El módulo de campo de vientos, en términos de cálculo consta de dos pasos generales. En el primero se ajusta un primer esquema de flujo a los efectos cinemáticos de relieve y bloqueo, y a los flujos de ladera. En un segundo paso se introducen las observaciones disponibles mediante una interpolación con un cierto radio de influencia. El viento vertical es calculado por medio de la minimización de la divergencia, permitiendo conservar la masa en el dominio de cálculo.

Las versiones más recientes de CALMET permiten la incorporación de resultados de modelos meteorológicos de escala mayor como MM5. Este tipo de información puede ser incorporada de tres modos:

- Como el primer campo general de viento.
- Como el campo ya ajustado a los efectos del relieve.
- Como pseudo observaciones.

En el primer esquema, el campo de viento final reflejará las alteraciones al campo de escala mayor en los niveles próximos a la superficie, por efecto del relieve y la influencia de las observaciones de superficie y de altura.

En el segundo, el flujo de cálculo no ejecuta las rutinas que introducen las perturbaciones impuestas relieve, suponiendo que el campo inicial ya considera esos efectos. De este modo el campo inicial sólo será perturbado por la influencia de las observaciones de superficie y de altura.

En el tercero, el campo resultado final se construye considerando los resultados del modelo de escala mayor como pseudo observaciones, junto con las observaciones de superficie y altura. La desventaja de este esquema es que si el modelo de escala mayor, por su resolución no captura la influencia de los accidentes del relieve, el campo resultado final tampoco lo hará.

En consideración a las características de los resultados disponibles de HIRLAM, en cuanto a su capacidad de reflejar patrones generales de circulación, y su debilidad para reproducir efectos locales, se usarán los resultados de HIRLAM en la primera modalidad de campo inicial a ser ajustado por la topografía y observaciones. Los detalles de la conexión HIRLAM-CALMET se verán más adelante.

La Figura E.3 muestra el flujo del esquema del módulo de campo de vientos de CALMET.

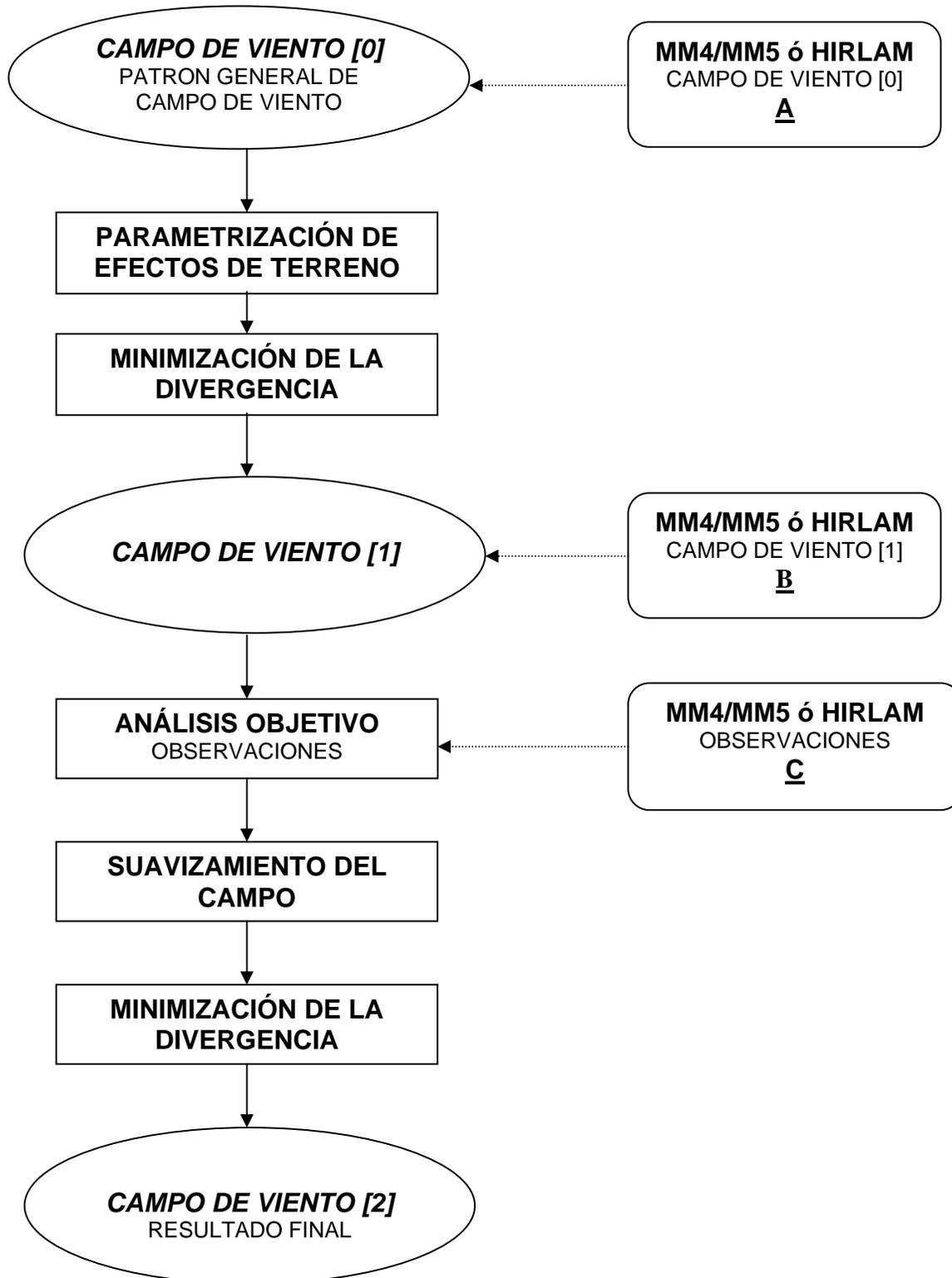


Figura E.3. Diagrama de Flujo del modelo CALMET. Los resultados de un modelo de escala mayor como MM4/MM5, HIRLAM u otro, pueden ser introducidos como Campo de Viento [0] considerándolo como patrón general de circulación (A), o como Campo de Viento [1] suponiendo que ya incorpora los efectos topográficos en el flujo (B), o bien como observaciones en el paso de análisis objetivo (C).

Una vez estimado el campo de viento en todo el dominio de simulación procede a operar el módulo micrometeorológico. El módulo micrometeorológico utiliza un esquema basado principalmente en el balance de energía superficial. En condiciones diurnas, se estima el flujo de calor sensible en superficie y luego se calculan iterativamente la longitud de Monin-Obukhov (L) y la velocidad de fricción superficial (u^*) (Holstlag et al, 1983). Con estas cantidades se calcula la altura de la capa límite convectiva. Por otra parte, se estima la altura de la capa límite mecánica o neutra mediante una relación empírica con la temperatura potencial y u^* (Venkatram, 1980a). CALMET considera la capa límite diurna como el máximo entre las alturas de capa límite convectiva y mecánica.

En condiciones estables, la velocidad de fricción superficial (u^*) se estima por un método basado en observaciones de viento y temperatura potencial (Weil y Brower, 1983; Venkatram, 1980a). Una vez calculado u^* , se estima la longitud de Monin-Obukhov, con estas cantidades se estima la altura de la capa límite estable con las aproximaciones empíricas de Venkatram (1980a) y Zilitinkevich (1972). CALMET considera la altura de la capa límite estable como el mínimo de las últimas.

En términos operacionales, las rutinas micrometeorológicas usan específicamente la caracterización de la superficie junto a observaciones de viento, cobertura y altura nubosa, temperatura y humedad. Por el momento no se dispone de observaciones de nubosidad. Sin un nivel adecuado de esta información, las estimaciones que se realicen con CALMET de la capa límite serán pobres.

E.2.3.2 Conexión HIRLAM-CALMET y adaptación de formatos de entrada

La conexión HIRLAM-CALMET corresponde a la construcción de una rutina de lectura de campos de HIRLAM disponible en un formato denominado GRIB (Stackpole, 1994), y su introducción en CALMET, como los campos que dan la estructura general de circulación, a ser perturbados por la topografía y las observaciones locales.

Esto se consiguió incorporando tres rutinas en el código de CALMET. Las dos primeras permiten leer desde los archivos GRIB de HIRLAM, los campos tridimensionales de viento zonal, viento meridional, temperatura y razón de mezcla de agua y el campo bidimensional de presión en superficie. La tercera rutina es una modificación de la que incorpora los datos del modelo MM5 a CALMET de manera de utilizar la información de HIRLAM.

Para poder incorporar los campos tridimensionales al funcionamiento de CALMET fue necesario transformar la coordenada vertical híbrida de HIRLAM (Robertson et al., 1999) a coordenadas de altura sobre el suelo usada por CALMET. Esto se realiza utilizando los campos de presión superficial y temperatura tridimensional dentro de la ecuación que define los niveles verticales de HIRLAM (Robertson et al., 1999) de la siguiente manera:

$$p(lat, lon, i) = a(i) + b(i)p(lat, lon, 0)$$

$$Z^*(lat, lon, i) = \left(\frac{(T(lat, lon, i+1) + T(lat, lon, i))287}{19,6} \right) \ln \left(\frac{p(lat, lon, i)}{p(lat, lon, i+1)} \right)$$

$$Z(lat, lon, i) = \frac{Z^*(lat, lon, i)}{2} + \sum_{j=1}^{i-1} Z^*(lat, lon, j)$$

$$Z_c = z - Z_g$$

con:

$p(lat, lon, i)$: campo tridimensional de presión ($i=0$ corresponde a la superficie)
 a, b : parámetros que definen e identifican cada nivel vertical del modelo, constantes en el tiempo

HIRLAM $T(lat, lon, i)$: campo tridimensional de temperatura

$Z^*(lat, lon, i)$: espesor que el nivel i tiene en la celda (lat, lon)

$Z(lat, lon, i)$: altura del centro del nivel i sobre el suelo para el punto (lat, lon)

Z_c : coordenada vertical CALMET

z : coordenada vertical carteciana

Z_g : altura del terreno

Adicionalmente a estas rutinas se han creado otros programas y rutinas que permiten la extracción de datos meteorológicos de superficie desde la base de datos de Airviro y su adaptación a los formatos de lectura de CALMET. Análogamente se ha generado una base de datos con sondeos de las horas 00 y 12 UTC de Quintero, Santo Domingo y Puerto Montt para los años 1998, 1999, 2000 y 2001, obtenidos desde la base de datos de la Universidad de Wyoming, Estados Unidos (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Un programa permite su adaptación a los formatos de lectura de CALMET.

E.2.4 Dominios de estudio

En esta etapa del estudio los esfuerzos están concentrados en las zonas del Valle del Aconcagua y el Gran Concepción.

La extensión de los dominios sobre los que se trabajará no es simple de determinar. En la literatura consultada, el método seguido busca un tamaño óptimo para la aplicación de modelos de diagnóstico mediante la sensibilización de los tamaños de los dominios haciendo mínima la diferencia entre los vientos calculados con el modelo de diagnóstico para sucesivos tamaños de grilla (Jin Young Kim et al, 2000). La convergencia del método también depende del paso de la grilla y del radio de influencia impuesto para las observaciones.

En este caso, también debe considerarse los objetivos específicos del proyecto, en términos de identificar áreas de influencia de grandes fuentes emisoras y centros urbanos. Los dominios preliminares escogidos para las aplicaciones en el Valle del Aconcagua y el Gran Concepción consideran en primer término los límites geopolíticos de tales regiones. Su extensión definitiva aun está sujeta a discusión, en función de los objetivos específicos y los resultados obtenidos con las trayectorias. En la Tabla E.2 se indica la extensión geográfica de las zonas seleccionadas.

El área que incluye el Valle del Aconcagua se extiende desde Papudo por el norte, hasta Punta Tres Cruces cercana a Cartagena. Hacia el interior se distinguen, separados por el Cordón de Chacabuco, el Valle del Aconcagua y parte de la Cuenca de Santiago. Los macizos de la Cordillera de la Costa que enfrentan la Región Metropolitana y el flanco norte del Valle del Aconcagua superan los 2000 metros. En el extremo nororiente se incluye parte de la Cordillera de Los Andes con cerros que superan los 3200 metros.

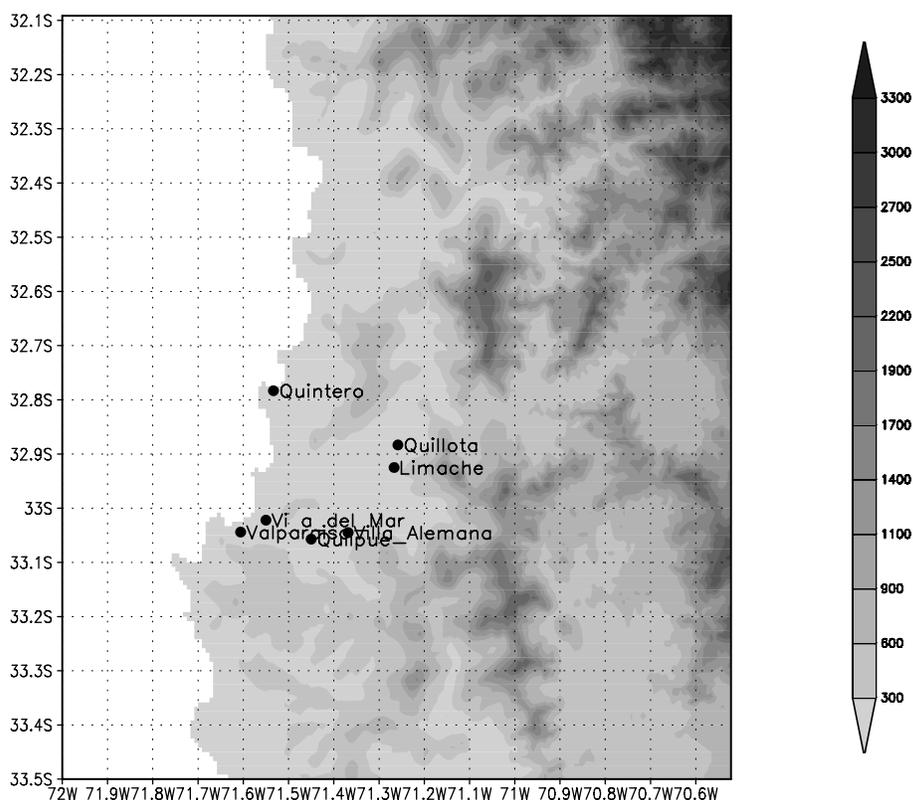


Figura E.4. La figura muestra la topografía de la zona en estudio que incluye el Gran Valparaíso. De sur a norte por la costa se extiende desde Punta Tres Cruces hasta Papudo. Hacia el interior se distinguen el Valle del Aconcagua y parte de la Cuenca de Santiago.

Tabla E.2 Extensión geográfica de las zonas en estudio.

ZONA	GRAN VALPARAISO	GRAN CONCEPCION
LAT MIN	33° 30' S	37° 30' S
LAT MAX	32° 05' S	36° 05' S
LON MIN	72° 00' W	73° 45' W
LON MAX	70° 30' W	72° 18' W
Extensión N-S aprox. [Km]	160	140
Extensión E-O aprox. [Km]	160	140

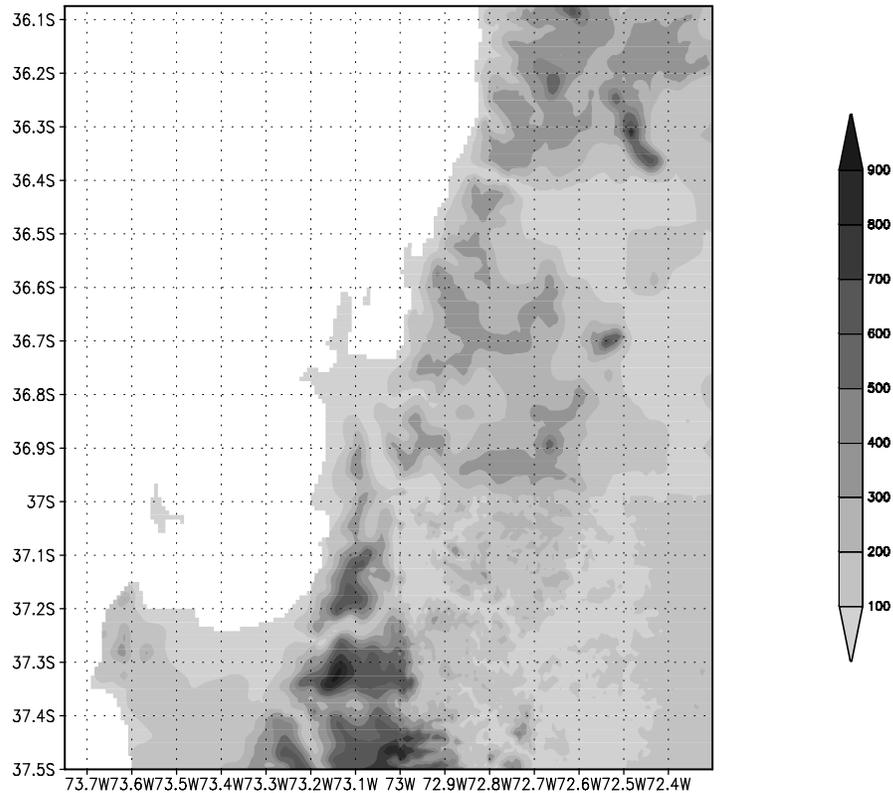


Figura E.5 . La figura muestra la topografía de la zona de la zona en estudio que incluye el Gran Concepción. Abarca desde el Golfo de Arauco hasta la desembocadura del Río Itata.

El área que incluye el Gran Concepción abarca, de sur a norte, desde el Golfo de Arauco hasta la desembocadura del Río Itata. Se distinguen las islas Quiriquina frente a Talcahuano y la isla Santa María frente a Arauco.

El área de mayor complejidad topográfica se encuentra en el flanco sur poniente Rio Bio-Bio con cerros cercanos a 1000 m muy cerca de la línea costera, frente a Lota y el Golfo de Arauco.

E.2.5 Campos de viento resultado HIRLAM-CALMET para el Valle del Aconcagua

Se generaron de campos de viento para la zona el Valle del Aconcagua, para los siguientes períodos:

- 01-Oct-99 03:00 al 31-Oct-99 15:00 (Figura E.6 y Figura E.7)
- 21-Nov-99 03:00 al 20-Dic-99 15:00 (Figura E.8 y Figura E.9)
- 16-Ene-00 03:00 al 15-Feb-00 00:00 (Figura E.10 y Figura E.11)
- 15-May-00 03:00 al 16-Jun-00 00:00 (Figura E.12 y Figura E.13)
- 15-Sep-00 03:00 al 15-Oct-00 00:00 (Figura E.14 y Figura E.15)

En la Tabla E.3 se indica el detalle de la grilla de cálculo usada.

Tabla E.3 Parámetros de la grilla de cálculo utilizada en modelo CALMET para Gran Valparaíso.

Extensión en E-O UTM	220.000	356.000
Extensión en Longitud (aprox)	72° 00' W	70° 30' W
Extensión en N-S UTM	6.290.000	6.450.000
Extensión en Latitud (aprox)	33° 30' S	32° 05' S
Número de grillas en eje X y eje Y	70	80
Paso de grilla en eje X y eje Y (Km)	2	2
Número de niveles verticales	10	
Niveles verticales (m)	10 30 60 120 220	
(alturas en (m) sobre el nivel del terreno)	450 800 1250 1850 2600	

Se utilizó el sondeo de Santo Domingo como observaciones de altura. La Tabla E.4 muestra las estaciones de superficie y los datos incluidos en la simulación.

Tabla E.4 Estaciones de superficie incluidas en la corrida de CALMET para el Valle del Aconcagua . Se destacan las estaciones para las cuales se realizaron comparaciones.

NOMBRE	CLAVE	UTM E	UTM N	Parámetros
La Greda	V12	268.204	6373.904	WDIR,WSPD
Los Maitenes	V13	270.075	6372.161	WDIR,WSPD
Puchuncaví	V15	274.376	6377.316	WDIR,WSPD
Valle Alegre	V19	271.887	6367.407	WDIR,WSPD
Hijuelas	V25	296.210	6371.420	WDIR,WSPD
La Calera	V26	294.820	6370.430	WDIR,WSPD
Planta Melón	V27	294.110	6369.950	WDIR,WSPD,TEMP,RHUM,RGBLOB

Para el período 15-Sep-00 03:00 al 15-Oct-00 00:00 se realizó una comparación con las mismas estaciones que se comparó HIRLAM en tres puntos de la Quinta Región, San Pedro (V08, 32.94 S, 71.27 W), Concón (V38, 32.96 S, 71.55 W) y Chagres (V20, 32.8 S, 70.97 W).

La Figura E.16 muestra las series de tiempo y la Figura E.17 muestra los ciclos diarios de velocidad y dirección del viento en los puntos de comparación. Se aprecia que la combinación HIRLAM-CALMET es capaz de reproducir las observaciones en aquellos puntos de comparación.

Campo de viento superficial promedio, Octubre 1999, hora 3

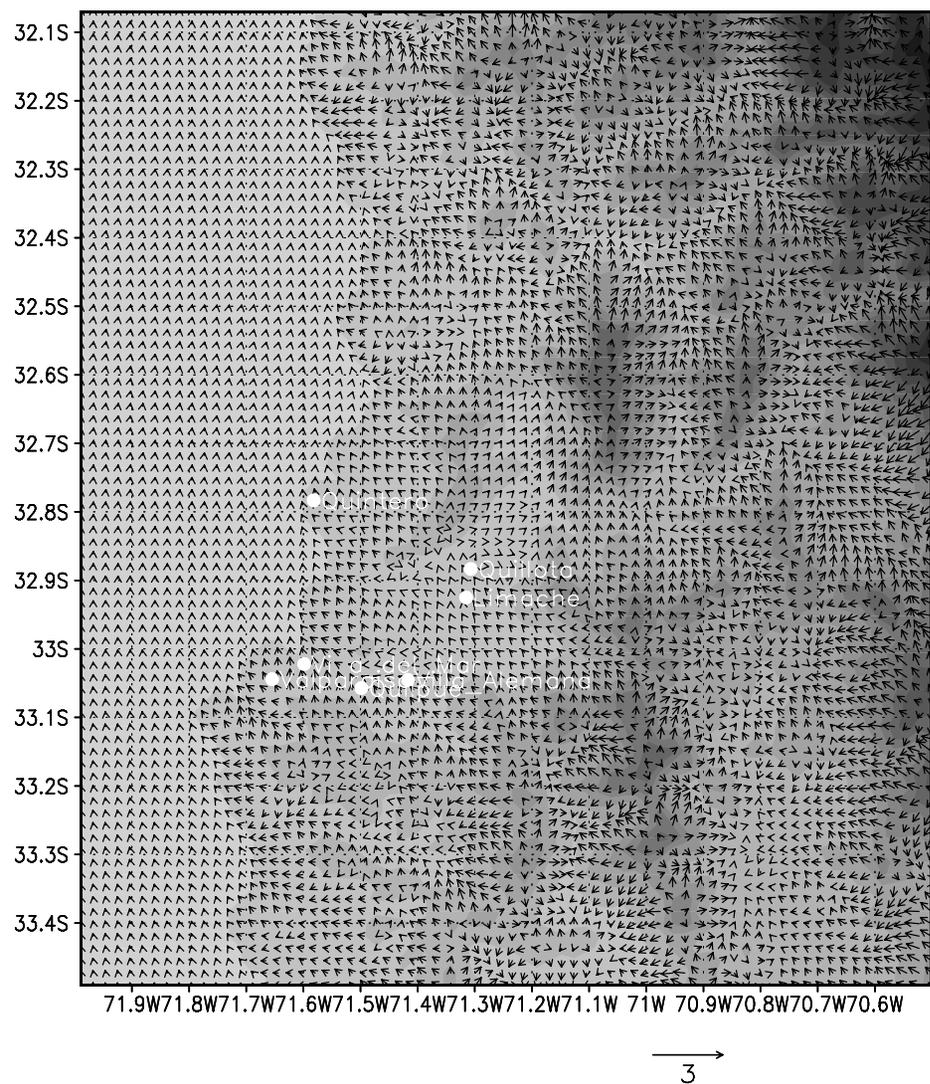


Figura E.6 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 3 (local) del período 1 al 31 de Octubre 1999.

Campo de viento superficial promedio, Octubre 1999, hora 15

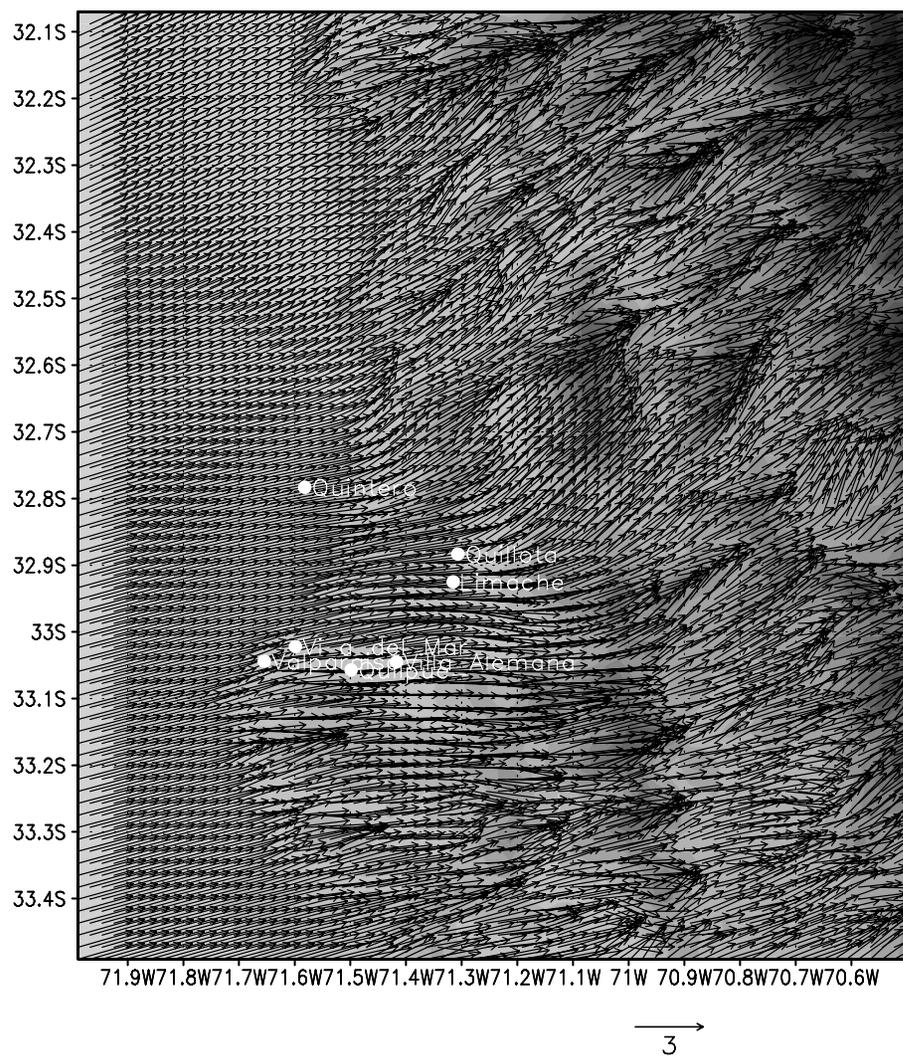


Figura E.7 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 15 (local) del período 1 al 31 de Octubre 1999..

Campo de viento superficial promedio, Nov–Dic 1999, hora :3

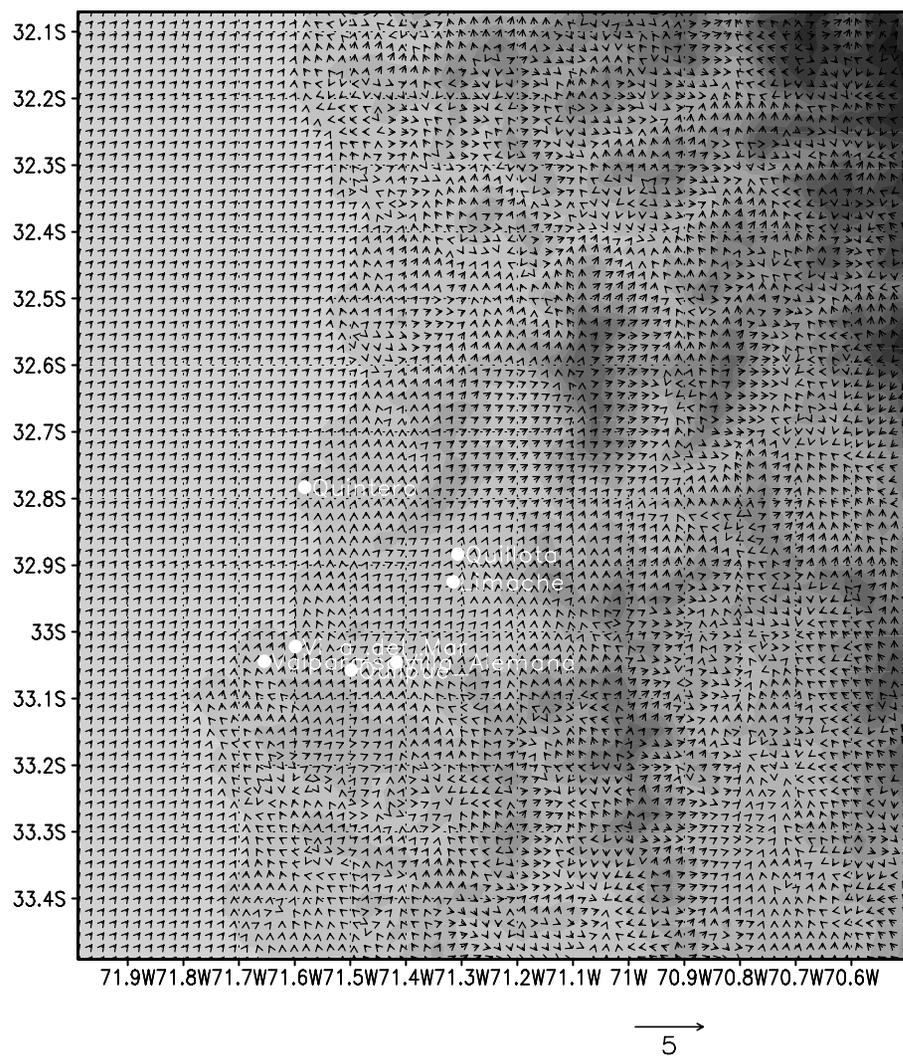


Figura E.8 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 3 (local) del período 21 de Nov. al 21 de Dic. 1999.

Campo de viento superficial promedio, Nov–Dic 1999, hora 15

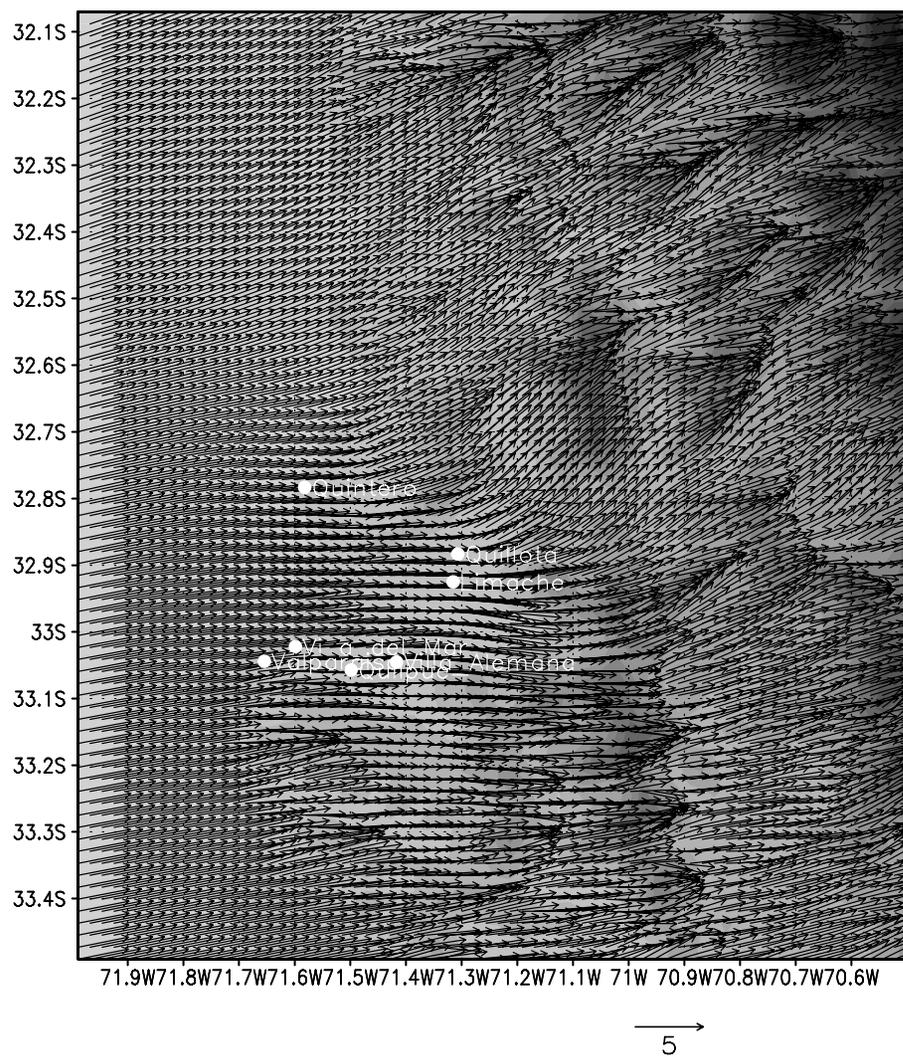


Figura E.9 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 15 (local) del período 21 de Nov. al 21 de Dic. 1999.

Campo de viento superficial promedio, Ene–Feb 2000, hora 3

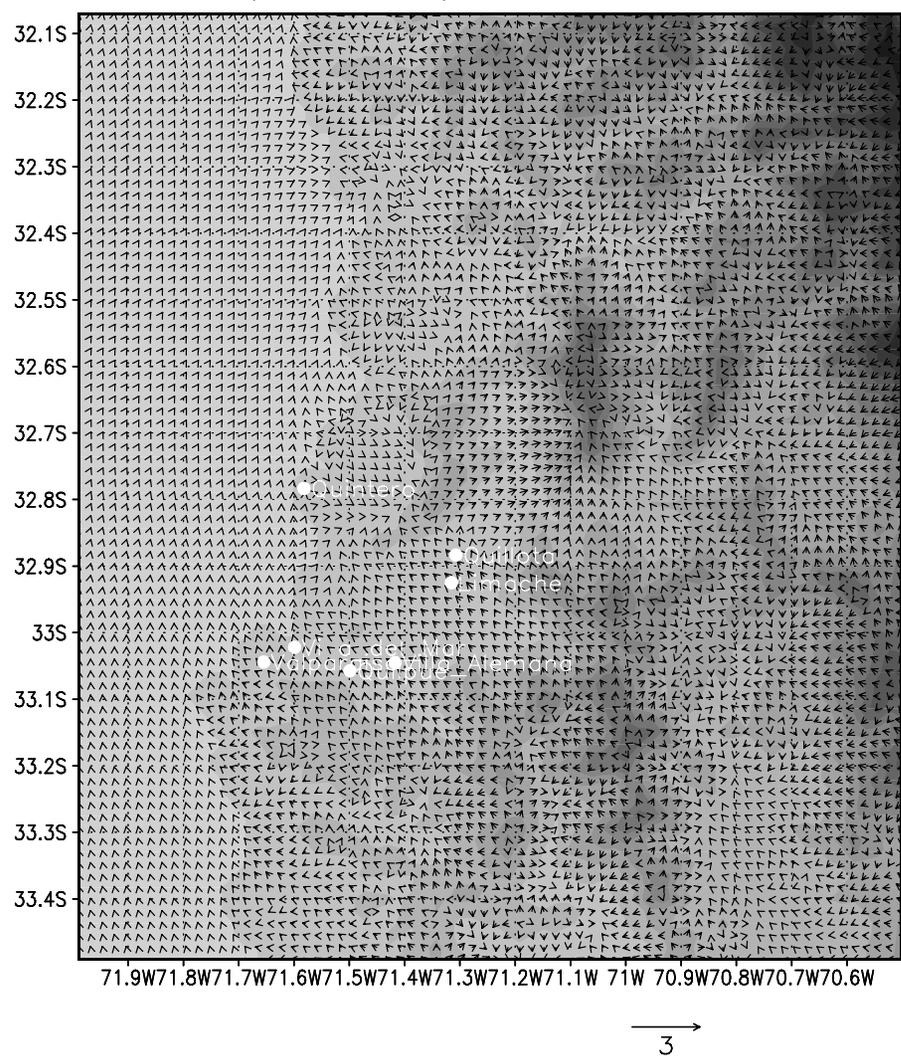


Figura E.10 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 3 (local) del período 16 de Enero al 15 de Febrero 2000.

Campo de viento superficial promedio, Ene–Feb 2000, hora 15

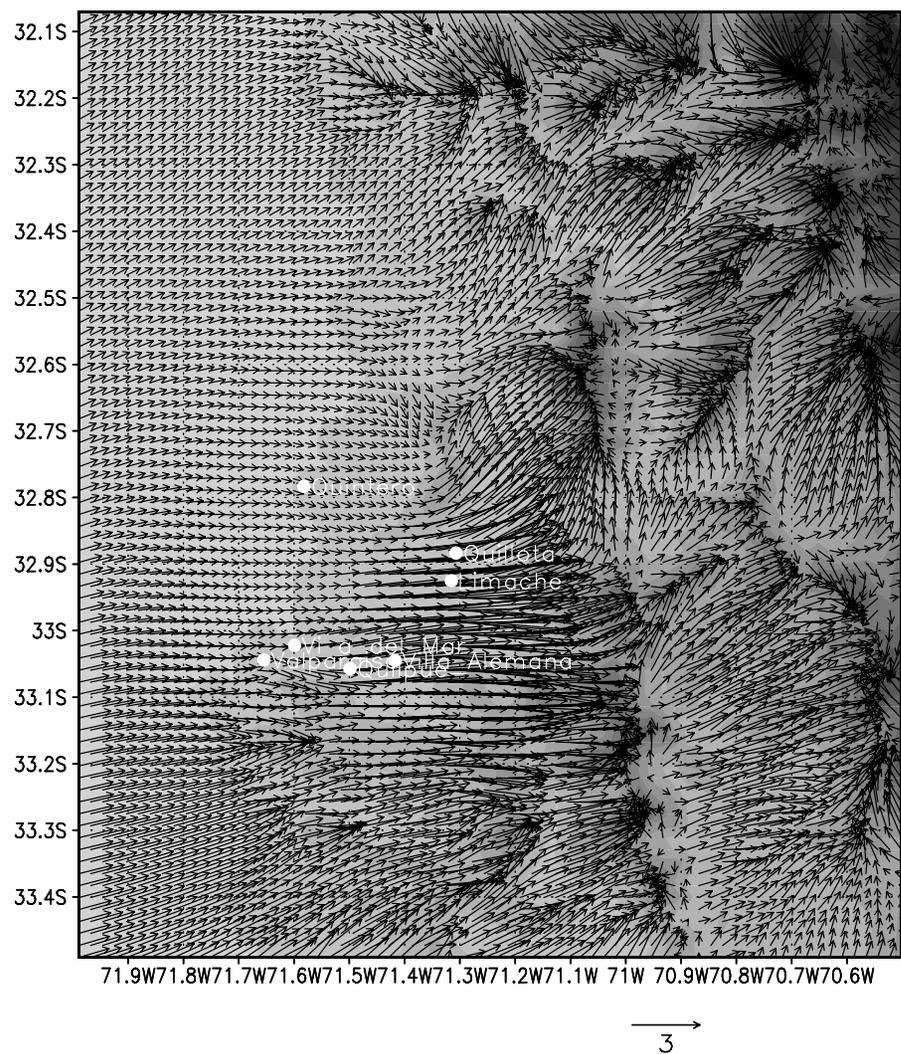


Figura E.11 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 15 (local) del período 16 de Enero al 15 de Febrero 2000.

Campo de viento superficial promedio, May–Jun 2000, hora 3

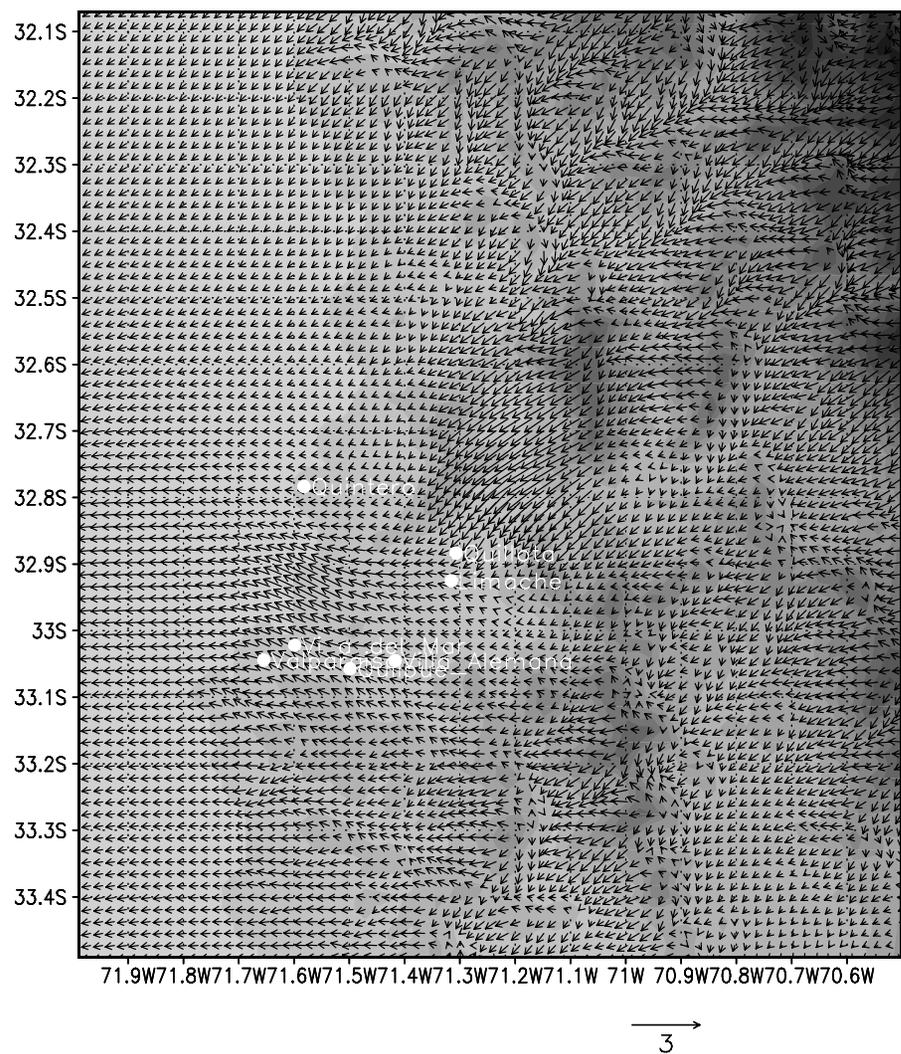


Figura E.12 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 3 (local) del período 15 de Mayo al 16 Junio 2000.

Campo de viento superficial promedio, May–Jun 2000, hora 15

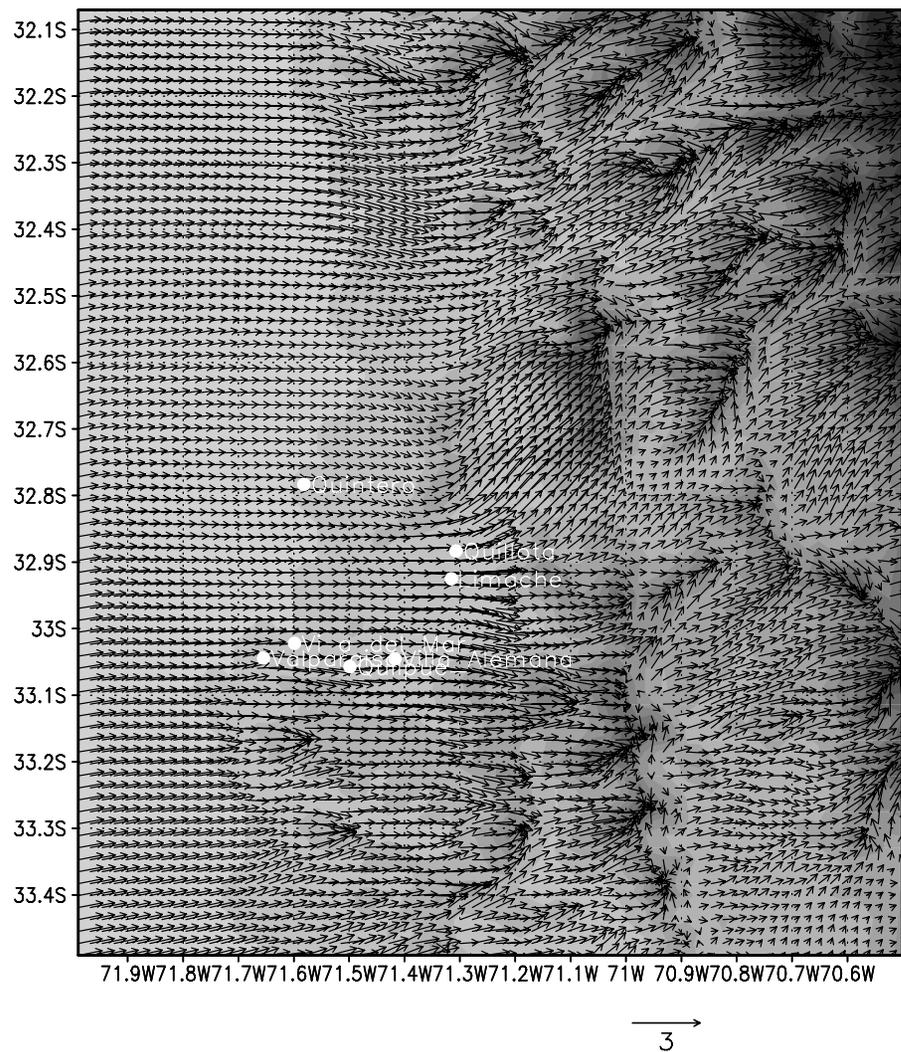


Figura E.13 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 15 (local) del período 15 de Mayo al 16 Junio 2000.

Campo de viento superficial promedio, Sep–Oct 2000, hora 3

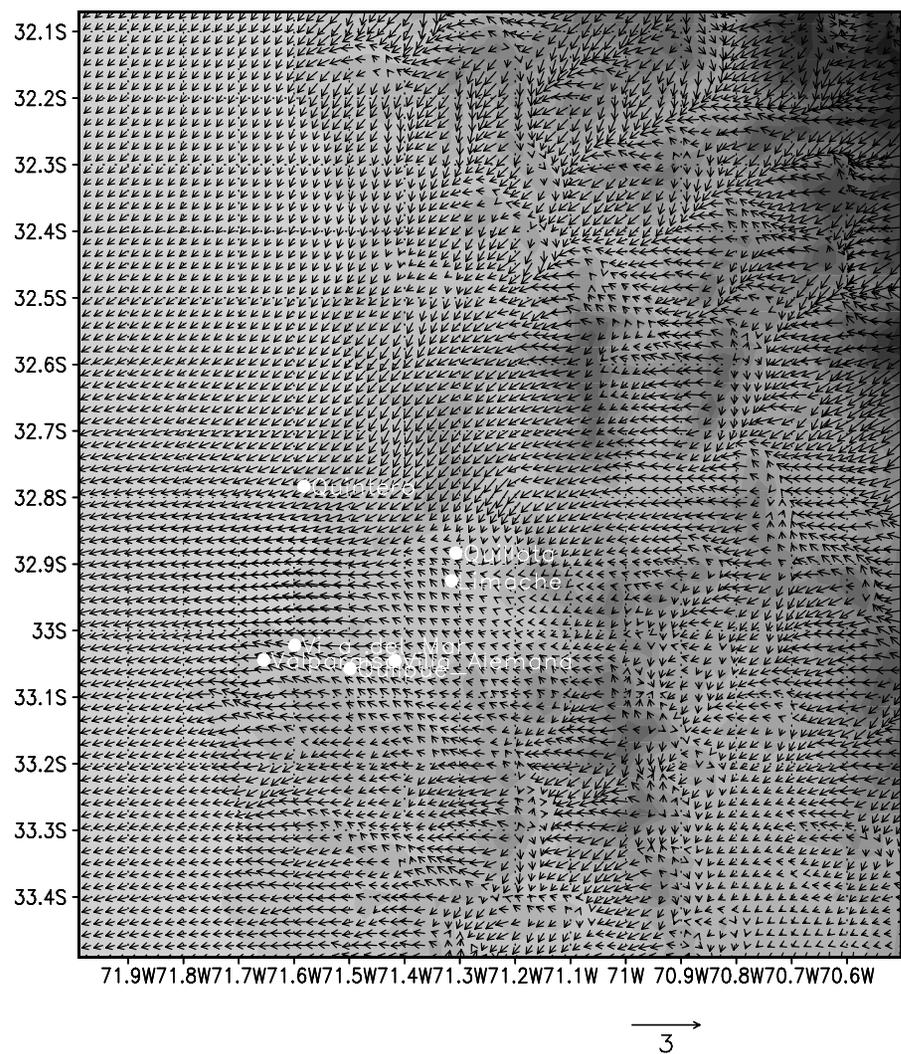


Figura E.14 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 3 (local) del período 15 de Sep. al 15 Oct. 2000.

Campo de viento superficial promedio, Sep–Oct 2000, hora 15

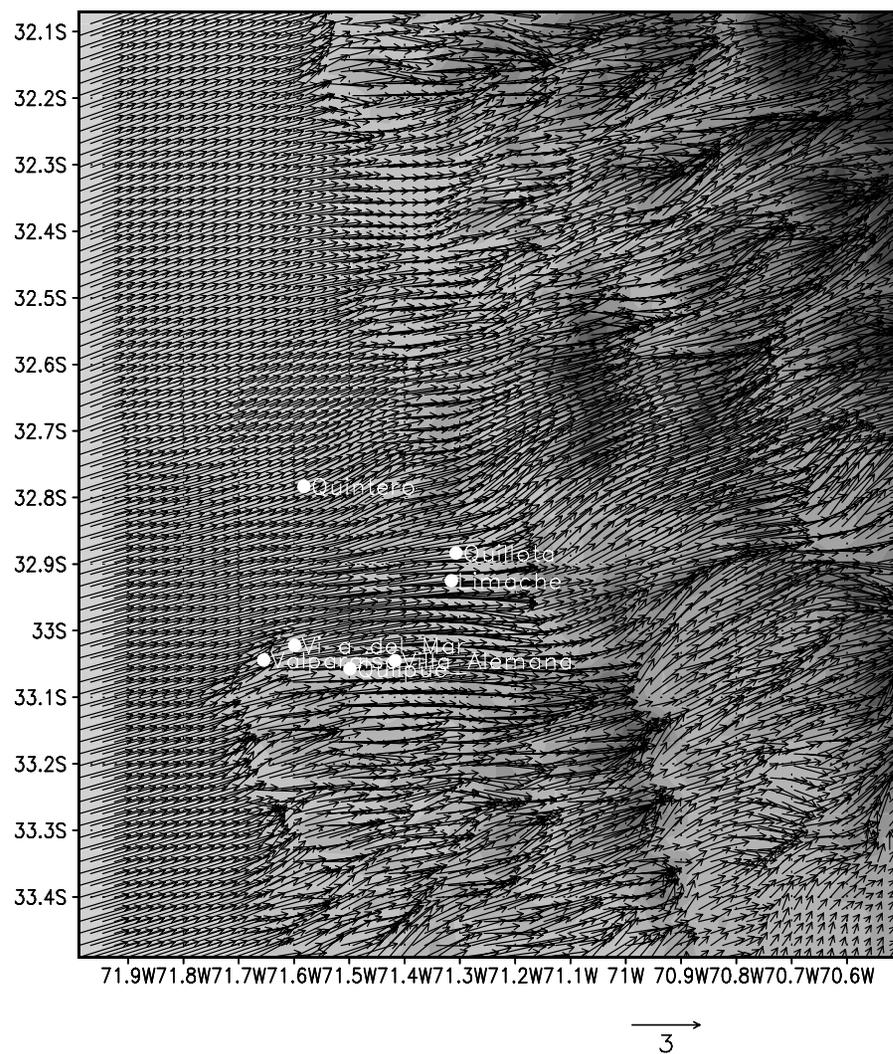
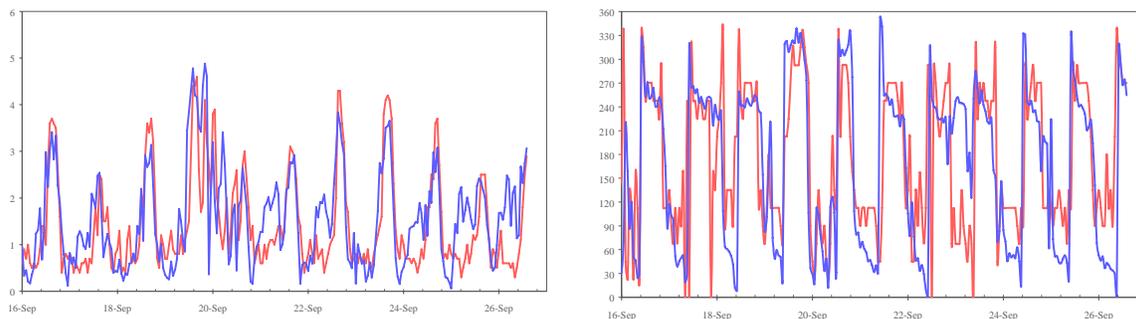
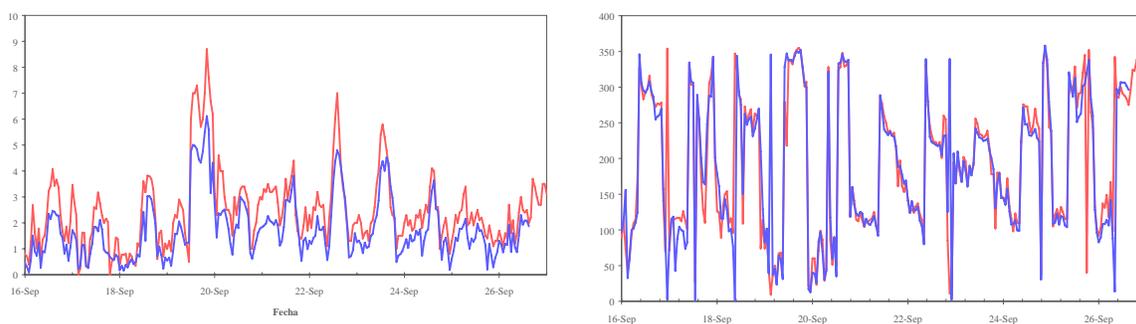


Figura E.15 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 15 (local) del período 15 de Sep. al 15 de Oct. 2000.

San Pedro (V08)



Concón (V38)



Chagres (V20)

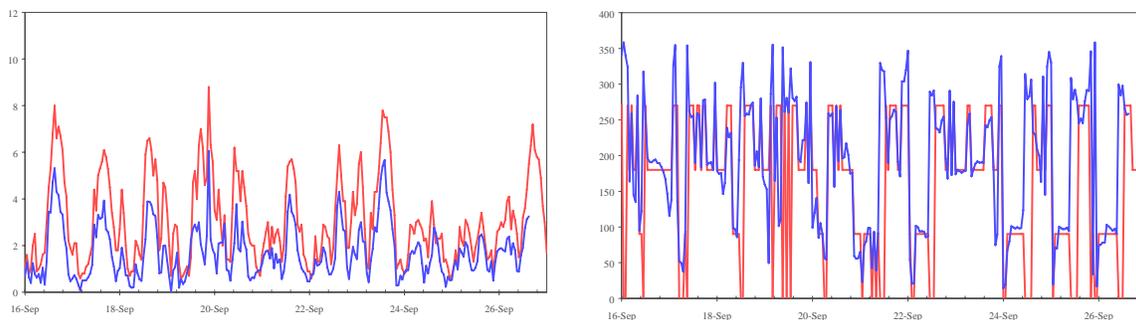
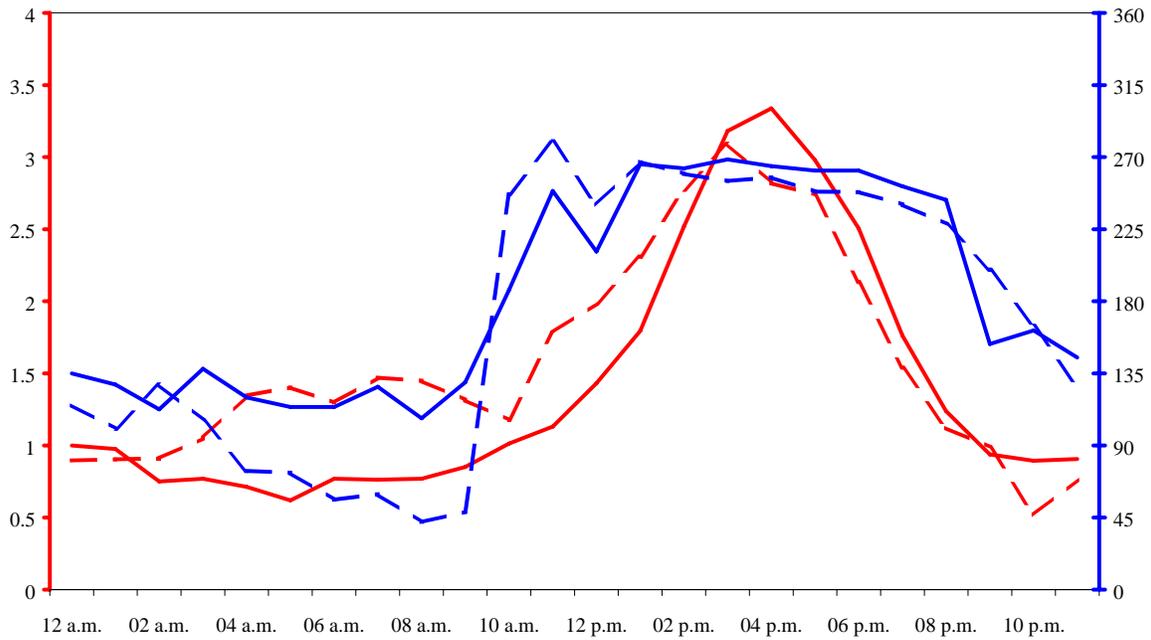
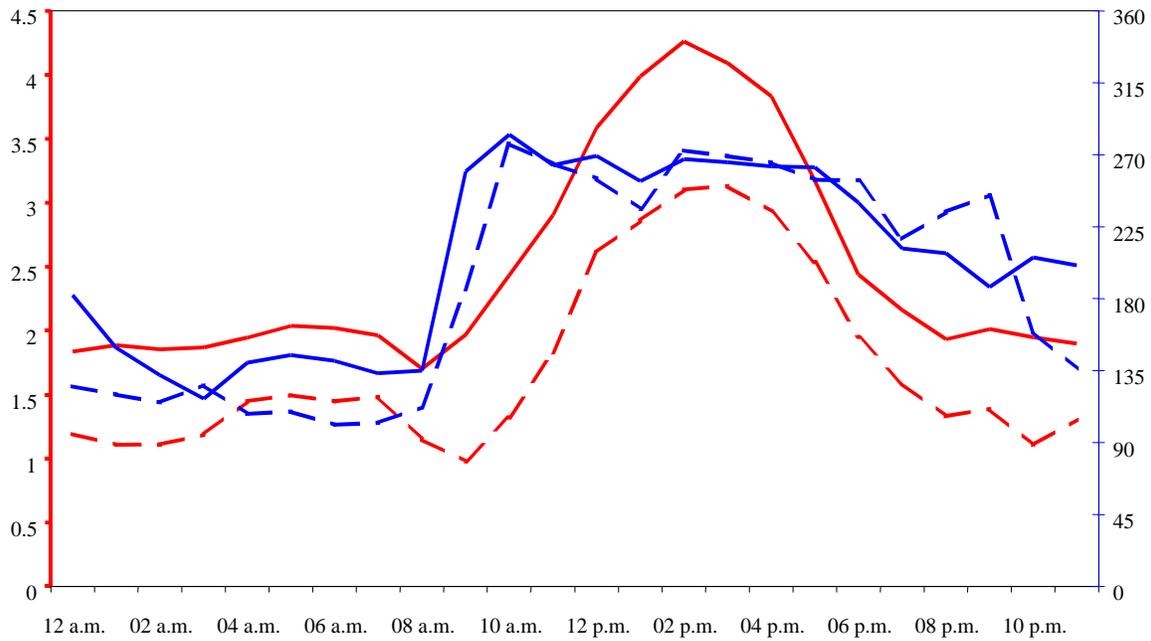


Figura E.16. Series de tiempo de velocidad (panel izquierdo, en m/s) y dirección (panel derecho, en grados) para el período del 15 de septiembre al 26 de septiembre año 2000. La línea roja corresponde a las observaciones y la azul a las simulaciones.

San Pedro (V08)



Concón (V38)



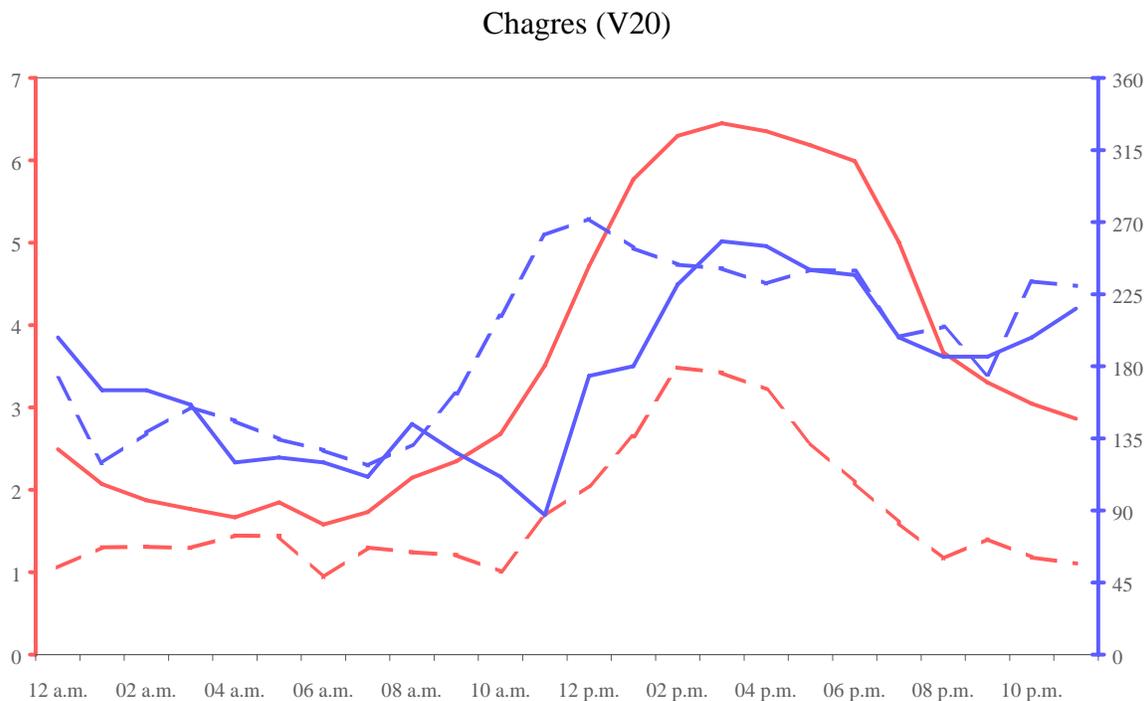


Figura E.17. Ciclos diarios de velocidad (líneas rojas, en m/s) y dirección (líneas azules, en grados) promedio para el período del 15 de septiembre al 26 de septiembre. La línea continua corresponde a las observaciones y la discontinua a las simulaciones.

E.2.6 Campos de viento resultado HIRLAM-CALMET para el Gran Concepción

Para el caso de estudio del Gran Concepción se aplicó la misma metodología usada en el Valle del Aconcagua.

Se generaron de campos de viento para el período 21 de Noviembre al 20 de Diciembre de 1999.(Figura E.8 y Figura E.9)

En la se indica el detalle de la grilla de cálculo usada.

Tabla E.5 Parámetros de la grilla de cálculo utilizada en modelo CALMET para el Gran Concepción.

Extensión en E-O UTM	610.000	750.000
Extensión en Longitud (aprox)	73° 45' W	72° 12' W
Extensión en N-S UTM	6.010.000	6.850.000
Extensión en Latitud (aprox)	37° 30' S	36° 05' S
Número de grillas en eje X y eje Y	70	80
Paso de grilla en eje X y eje Y (Km)	2	2
Número de niveles verticales	10	
Niveles verticales (m)	10 30 60 120 220	
(alturas en (m) sobre el nivel del terreno)	450 800 1250 1850 2600	

Se utilizó el sondeo de Puerto Montt como observaciones de altura y la estación meteorológica de Petrox como dato de superficie.

La diferencia en los resultados obtenidos en el caso anterior se marca en la disponibilidad de observaciones meteorológicas de superficie y altura. Las observaciones de superficie están limitadas a un área geográfica muy reducida en Talcahuano y a unos pocos kilómetros del aeropuerto de Carriel Sur. Sólo recientemente se implementaron mediciones meteorológicas y de calidad de aire en Coronel, y en el proyecto se realizaron mediciones en Chiguayante y la zona de Laraquete en el Golfo de Arauco.

Por otra parte se carece totalmente de información meteorológica de altura, estando la estación de sondeos Puerto Montt de la Dirección Meteorológica de Chile, a más de 400 Km. del borde sur del dominio de simulación. En estas condiciones, los resultados de superficie obtenidos reflejan los campos originales provistos por Hirlam, perturbados por los efectos de superficie simulados por Calmet. En altura, se reflejan los campos de Hirlam con la propagación atenuada de los efectos de superficie dentro de los primeros niveles de simulación de la atmósfera.

En condiciones nocturnas como diurnas se aprecian los efectos de la orografía sobre los campos de viento superficiales. Las alteraciones de un flujo muy homogéneo que viene desde el océano al enfrentar la costa, y la canalización por valle estrechos. Cualitativamente en la zona de Laraquete del Golfo de Arauco. se aprecia que los patrones de flujo observados en meses del año 2001 son similares a los simulados correspondientes al período 21 de Noviembre al 21 de Diciembre de 1999. Sin embargo, para el caso de Chiguayante el modelo no reproduce el drenaje nocturno por el río Bio Bio hacia el océano.

Los resultados del esquema de tipo diagnóstico se pueden mejorar aumentando la cobertura de las observaciones de superficie y de altura. Por otro lado, es recomendable realizar pruebas con un modelo de tipo dinámico y comparar resultados. En ambos casos, la disponibilidad de observaciones es fundamental, ya sea para su incorporación en los esquemas de cálculo, como para la validación de resultados de simulación y comprensión de los patrones de flujo en las áreas próximas a Concepción y la salida del Bio Bio al océano.

En consideración a estos antecedentes, se recomienda el establecimiento de observaciones regulares de superficie y realizar campañas de observación en altura en algunos puntos próximos a Concepción para realizar una caracterización del viento en altura en los niveles bajos de la atmósfera.

Campo de viento superficial promedio, Nov–Dic 1999, hora 3

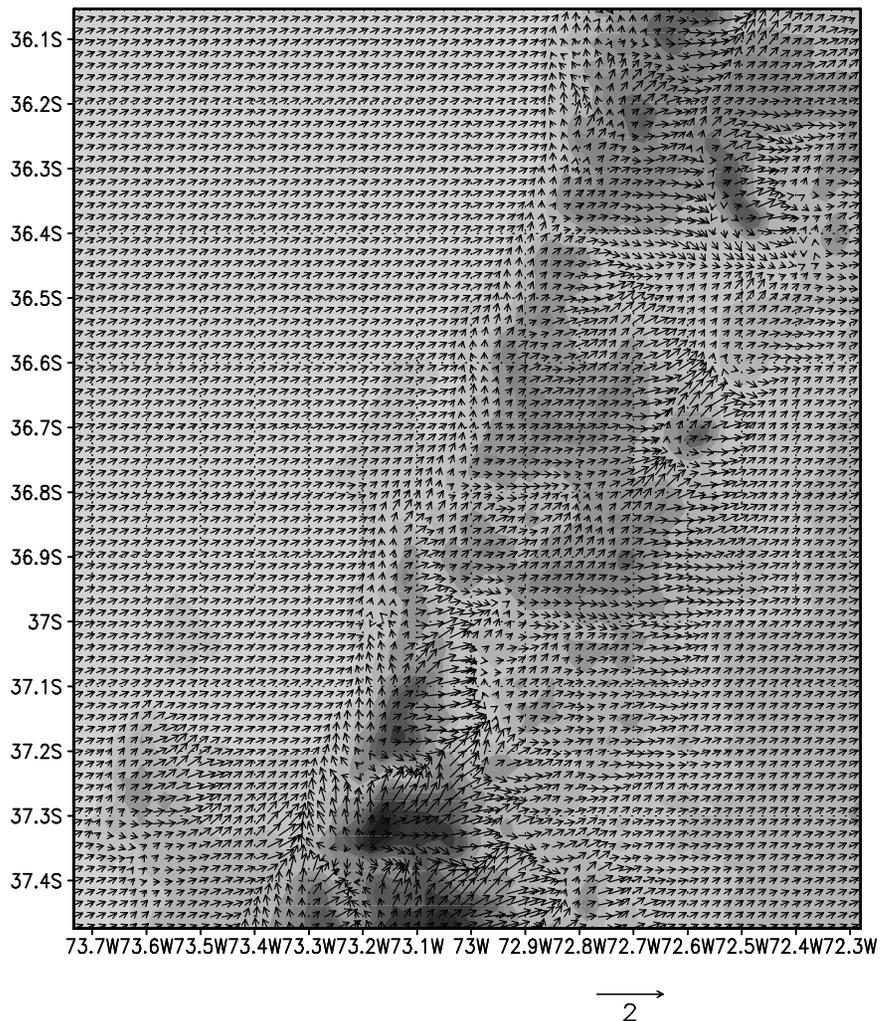


Figura E.18 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 3 (local) del período 21 de Noviembre al 20 de Diciembre 1999, en la zona del Gran Concepción.

Campo de viento superficial promedio, Nov–Dic 1999, hora 15

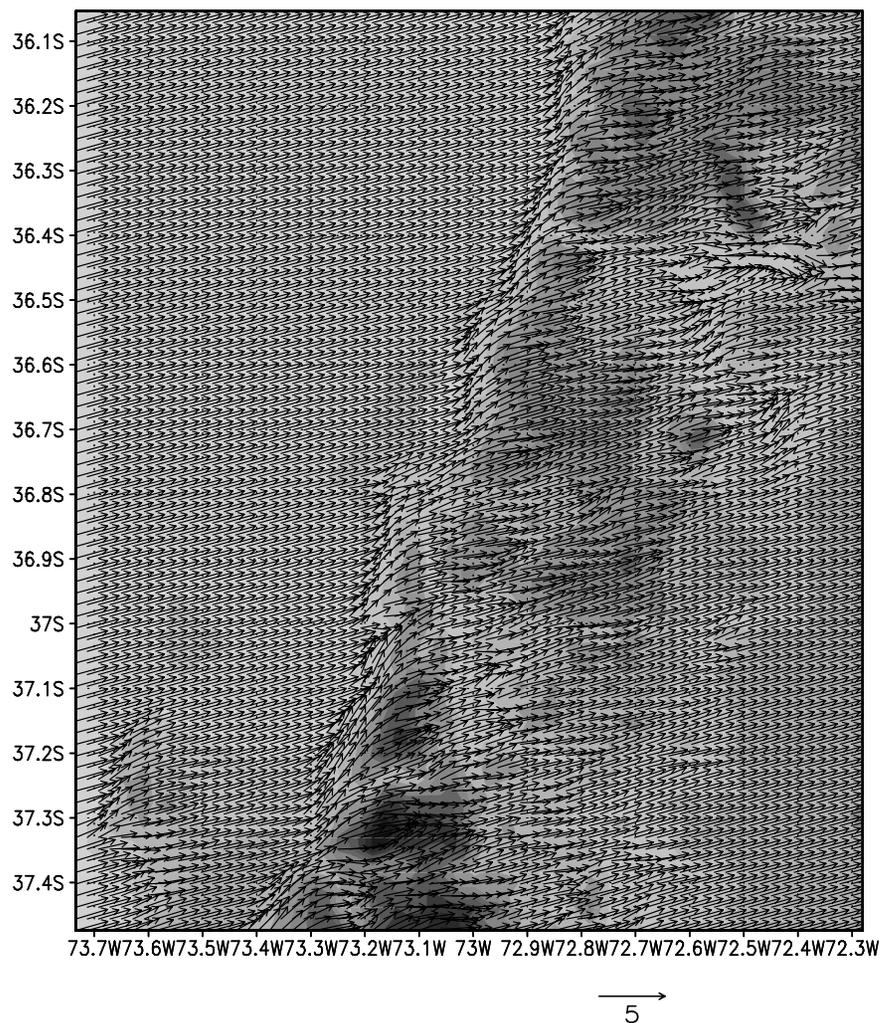


Figura E.19 Campo de viento superficial (10 m) construido con modelos HIRLAM-CALMET para la hora 15 (local) del período 21 de Noviembre al 20 de Diciembre 1999, en la zona del Gran Concepción.

E.3 Trayectorias de parcelas de aire

E.3.1 Objetivos

El objetivo de esta sección del estudio es generar antecedentes que aporten a la delimitación de zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua y el Gran Concepción mediante un análisis de trayectorias de parcelas de aire para identificar la influencia de fuentes emisoras importantes.

Para ello se calcularán trayectorias hacia delante en el tiempo (forward) para tener una visión aproximada de la influencia de las emisiones hasta unas cuantas horas adelante, en diferentes momentos del día.

E.3.2 Antecedentes

Las trayectorias básicamente son una herramienta que permite visualizar patrones de transporte en diferentes niveles de la atmósfera. La aplicación de trayectorias a estudios de calidad de aire tiene limitaciones que deben ser consideradas al interpretar sus resultados.

Los errores en los cálculos de trayectoria principalmente provienen del hecho de que los campos de viento son esencialmente variables en tiempo y espacio, por lo que la interpolación a la posición de una parcela en la grilla es la primera fuente de error (READY, <http://www.arl.noaa.gov/ready.html>).

Otra fuente de error proviene de la interpretación de sus resultados, pues se debe tener presente que las trayectorias no permiten dar cuenta factores primordiales que condicionan la contaminación atmosférica, tales como procesos de dispersión vertical y deposición de contaminantes atmosféricos.

Por otra parte es difícil realizar la validación de trayectorias calculadas sin hacer comparaciones y experimentos con trazadores, en general de alto costo y complejidad operacional (Baumann, 1997).

Otro método para estimar la precisión de las trayectorias es el uso de métodos de ensamble. Estos métodos dan cuenta del efecto de pequeñas variaciones en la posición inicial de la parcela y su amplificación en la trayectoria calculada. En otros términos corresponde a la realización de una sensibilización de la posición inicial (Stohl, 1999).

No obstante las limitaciones señaladas, trayectorias calculadas a partir de campos de viento son ampliamente utilizadas como herramientas de descripción de procesos de transporte atmosférico. En aplicaciones ambientales, las trayectorias se utilizan para evaluar relaciones emisor-receptor usando ya sea métodos estadísticos o modelos fisicoquímicos acoplados (Stohl, 1995).

En esta aplicación se realizarán interpretaciones principalmente de tipo cualitativa, quedando para etapas posteriores el desarrollo de metodologías de análisis estadístico.

E.3.3 Metodología de Cálculo

Una trayectoria es la integración en el tiempo y el espacio de la posición de una parcela de aire que es transportada por el viento. El transporte de la parcela de aire es calculado a partir de campos de viento ya calculados. Las trayectorias pueden ser calculadas hacia adelante (forward) o hacia atrás (backward) en el tiempo. En esta aplicación se calcularán hacia adelante, pues el objetivo es identificar las zonas de influencia de grandes fuentes.

El paso de tiempo entre campos de viento es dividido en n intervalos, suponiendo una transición del viento entre una hora y la siguiente. La parcela es transportada en cada intervalo por el viento calculado para el comienzo del intervalo e interpolado a la posición actual de la parcela considerando los puntos de grilla circundantes. En esta aplicación se ha programado un esquema de interpolación lineal en el espacio.

$$u_{h,k} = u_h + (u_{h+\Delta h} - u_h) \cdot \frac{k \cdot \Delta h}{n} \quad \text{con :}$$
$$x_{h,k+1} = x_{h,k} + u_{h,k}^* \cdot \frac{\Delta h}{n}$$

$k = 1..n$
 Δh =lapso entre campos de viento.
 u_h = campo de viento en la hora h .
 $u_{h,k}$ = campo de viento durante el intervalo k entre h y $h+\Delta h$.
 $x_{h,k}$ = posición de la parcela durante el intervalo k entre h y $h+\Delta h$.
 $u_{h,k}^*$ = velocidad de la parcela interpolada a la posición actual.

El esquema de cálculo anterior tiene un paso de tiempo determinado por el número de divisiones del lapso entre campos de viento. Una de las referencias consultadas (Flextra Trajectory Model, Stohl A. 1999, <http://www.forst.uni-muenchen.de/LST/METEOR/stohl/flextra.html>) indica dos criterios para estimar el paso de tiempo para el cálculo de trayectorias: al menos un quinto del paso de tiempo entre campos de viento, y otro que depende de una velocidad característica y del paso en longitud de la grilla. En este caso el primer criterio lleva a un paso de 12 minutos y el segundo a 20 minutos. En aplicaciones anteriores de esta metodología se realizaron pruebas cambiando el paso de cálculo, a partir de 5 minutos de paso las trayectorias no cambian. En esta aplicación se usará un paso de tiempo de 1 minuto.

E.3.4 Trayectorias en el Valle del Aconcagua

Con los campos de viento disponibles se calcularon trayectorias hacia adelante para los siguientes períodos:

- 16-Ene-00 03:00 al 15-Feb-00 00:00 (condiciones de verano)
- 15-May-00 03:00 al 16-Jun-00 00:00 (condiciones de invierno)

En ambos períodos se calcularon trayectorias para cada hora de simulación considerando los siguientes puntos de partida a las alturas indicadas:

- Sector de Ventanas, 220 m. (Figura E.20 y Figura E.21)
- Sector de Chagres, 120 m. (Figura E.22 y Figura E.23)

- Sector de Quillota, 120 m. (Figura E.24 y Figura E.25)
- Sector de Valparaíso, 30 m. (Figura E.26 y Figura E.27)

Las alturas de partida de las parcelas fueron escogidas considerando las alturas de emisión de las fuentes más representativas de las áreas escogidas.

La visualización de las trayectorias calculadas para cada hora del período 15 de Enero al 15 de Febrero del 2000, permite identificar que los efectos de las emisiones de grandes fuentes y núcleos urbanos pueden tener alcances de nivel local y regional, por lo que las medidas de control y gestión de la contaminación atmosférica deben tener también ambas dimensiones.

En el caso del período de condiciones de verano la intensidad del flujo diurno cobra gran importancia, al retirar las parcelas del dominio, en general, en menos de 24 horas. Por otra parte en condiciones invernales, asociadas típicamente a condiciones más estables, el flujo nocturno cobra mayor importancia y velocidades más bajas del viento permiten la recirculación de parcelas de aire dentro del dominio por más de un día. En ambas condiciones se aprecia que las emisiones localizadas en los puntos señalados pueden tener efectos de alcance regional.

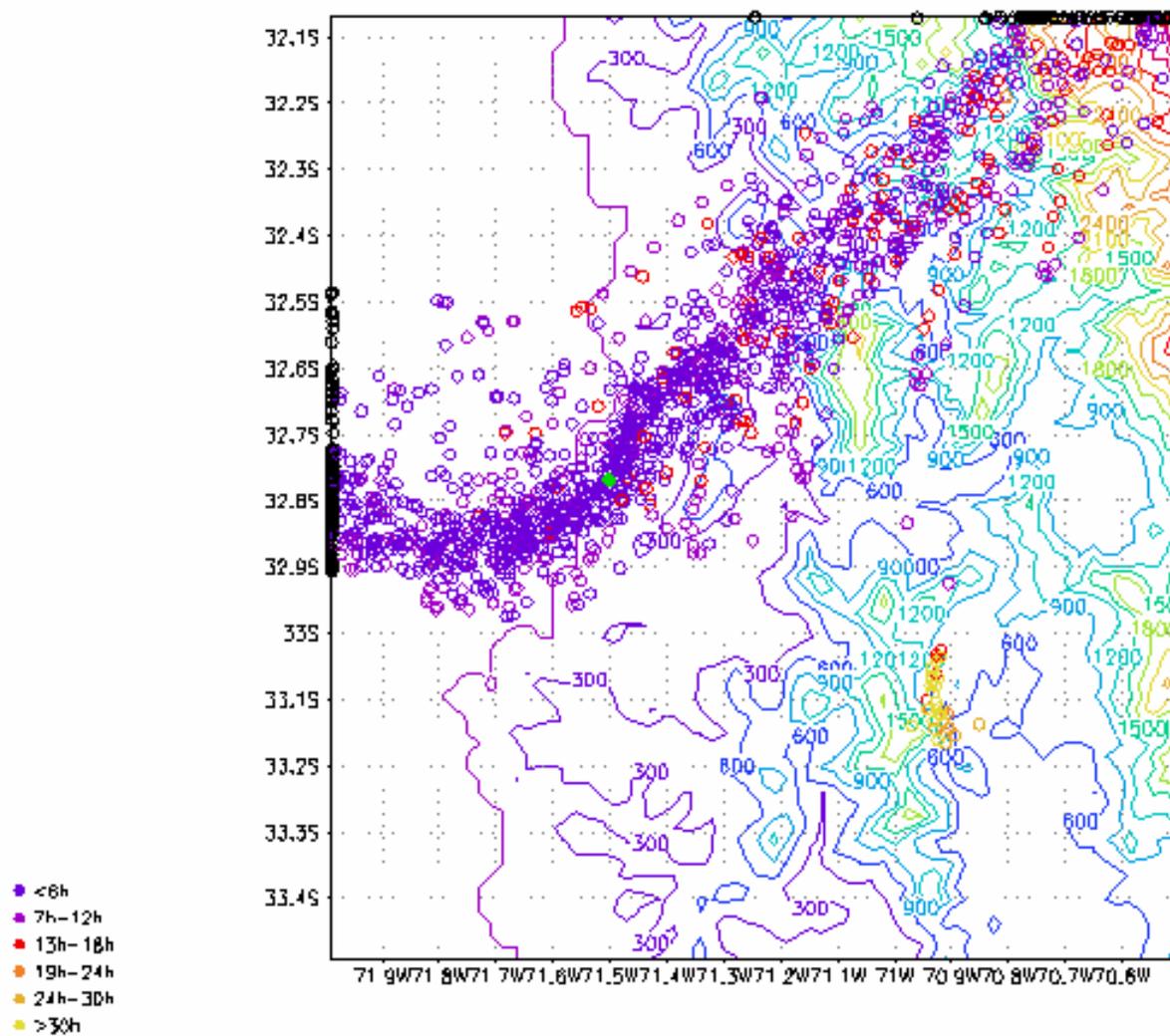


Figura E.20 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Ventanas en el nivel de 220 m en el período 15 de Enero 16 de Febrero 2000.

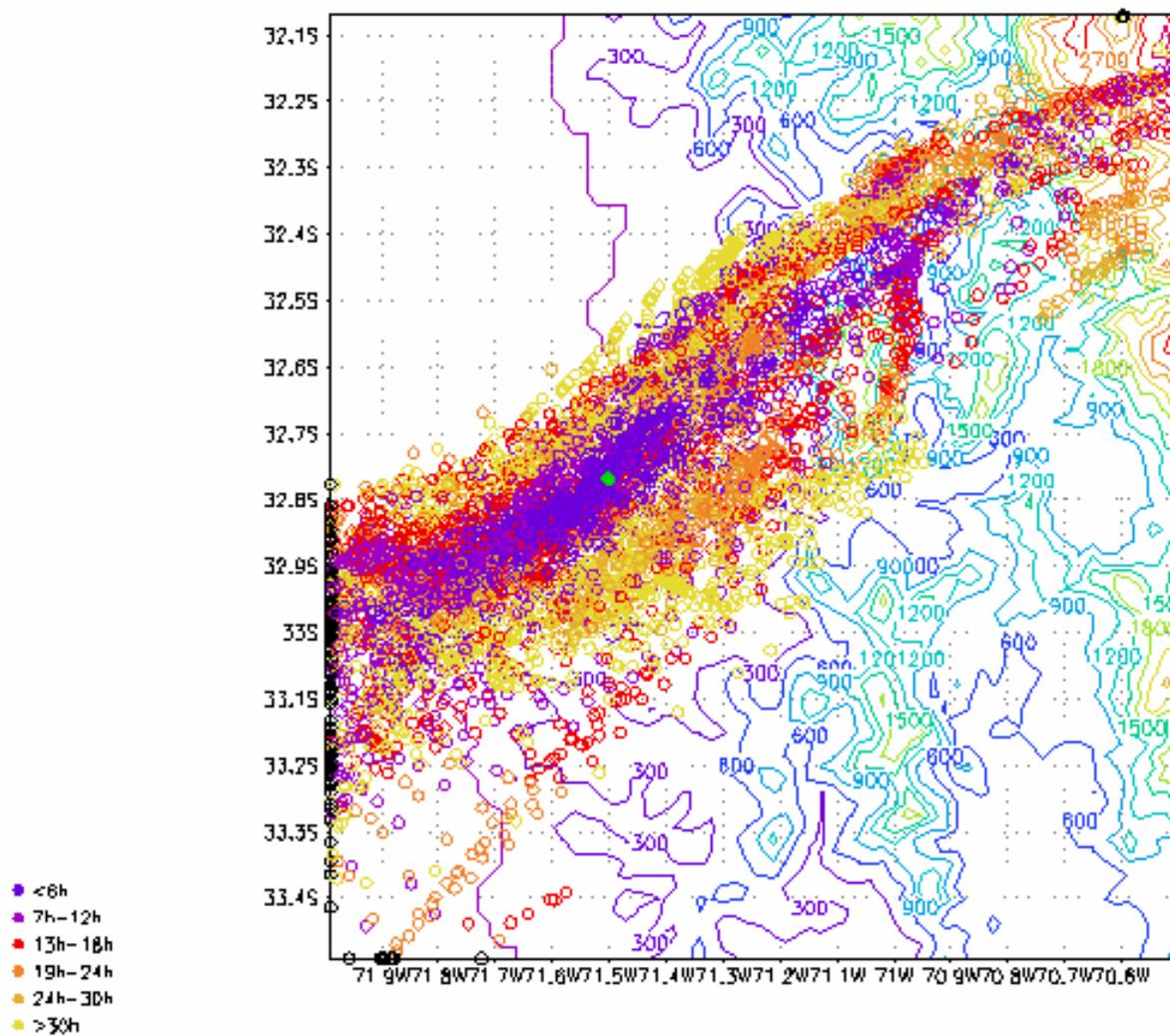


Figura E.21 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Ventanas en el nivel de 220 m en el período 15 de Mayo 15 de Junio 2000.

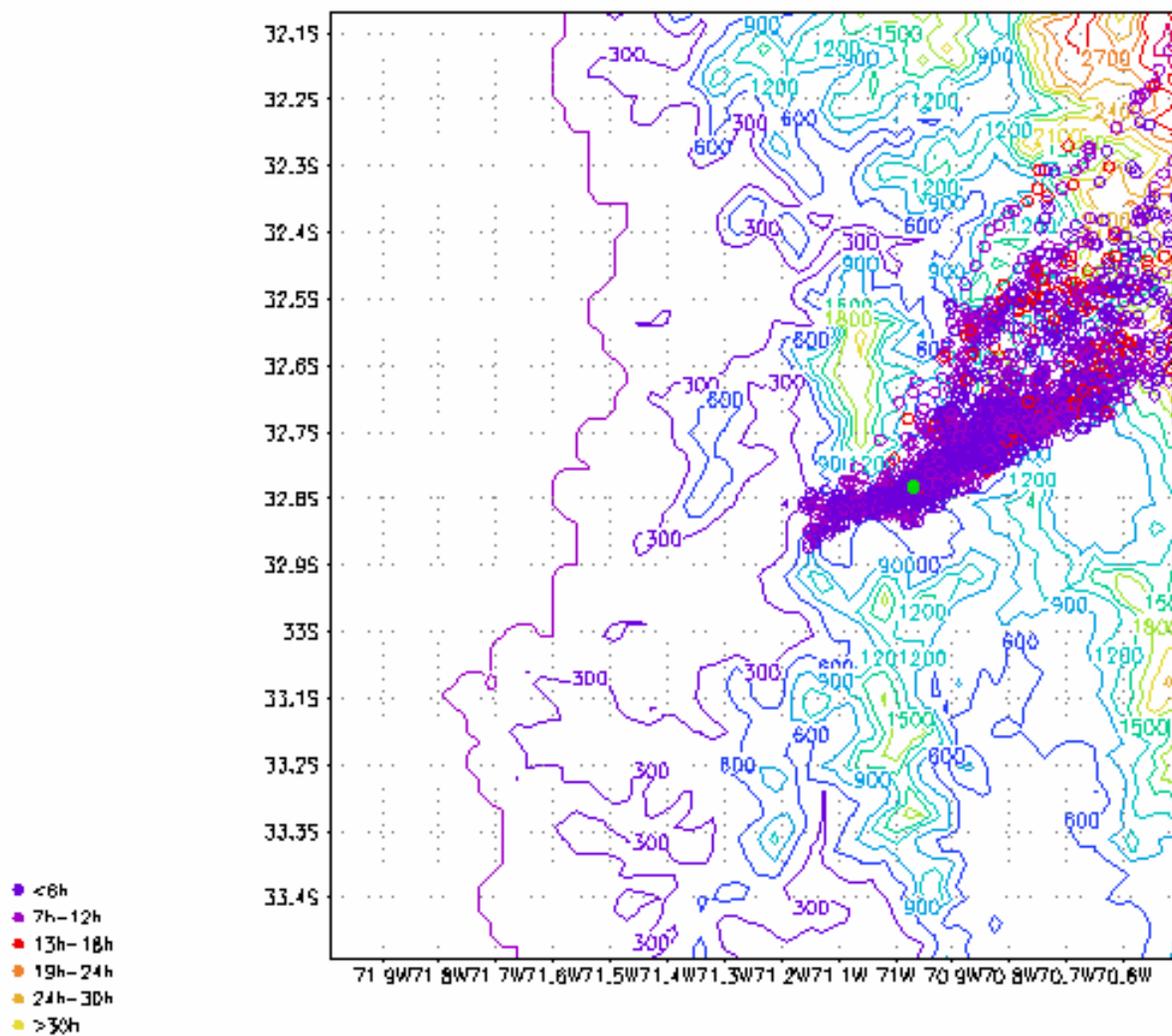


Figura E.22 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Chagres en el nivel de 120 m en el período 15 de Enero 16 de Febrero 2000.

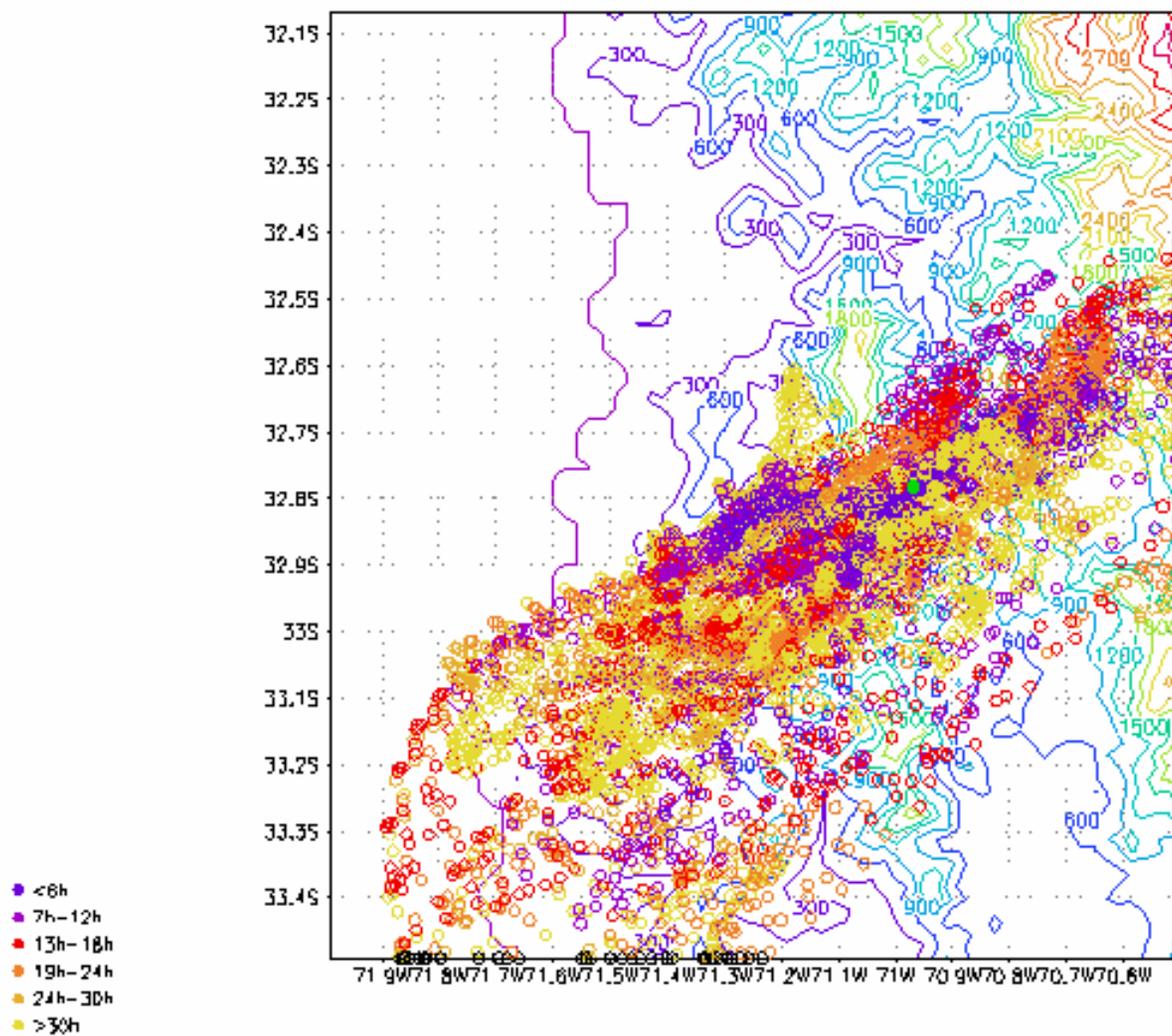


Figura E.23 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Chagres en el nivel de 220 m en el período 15 de Mayo 15 de Junio 2000.

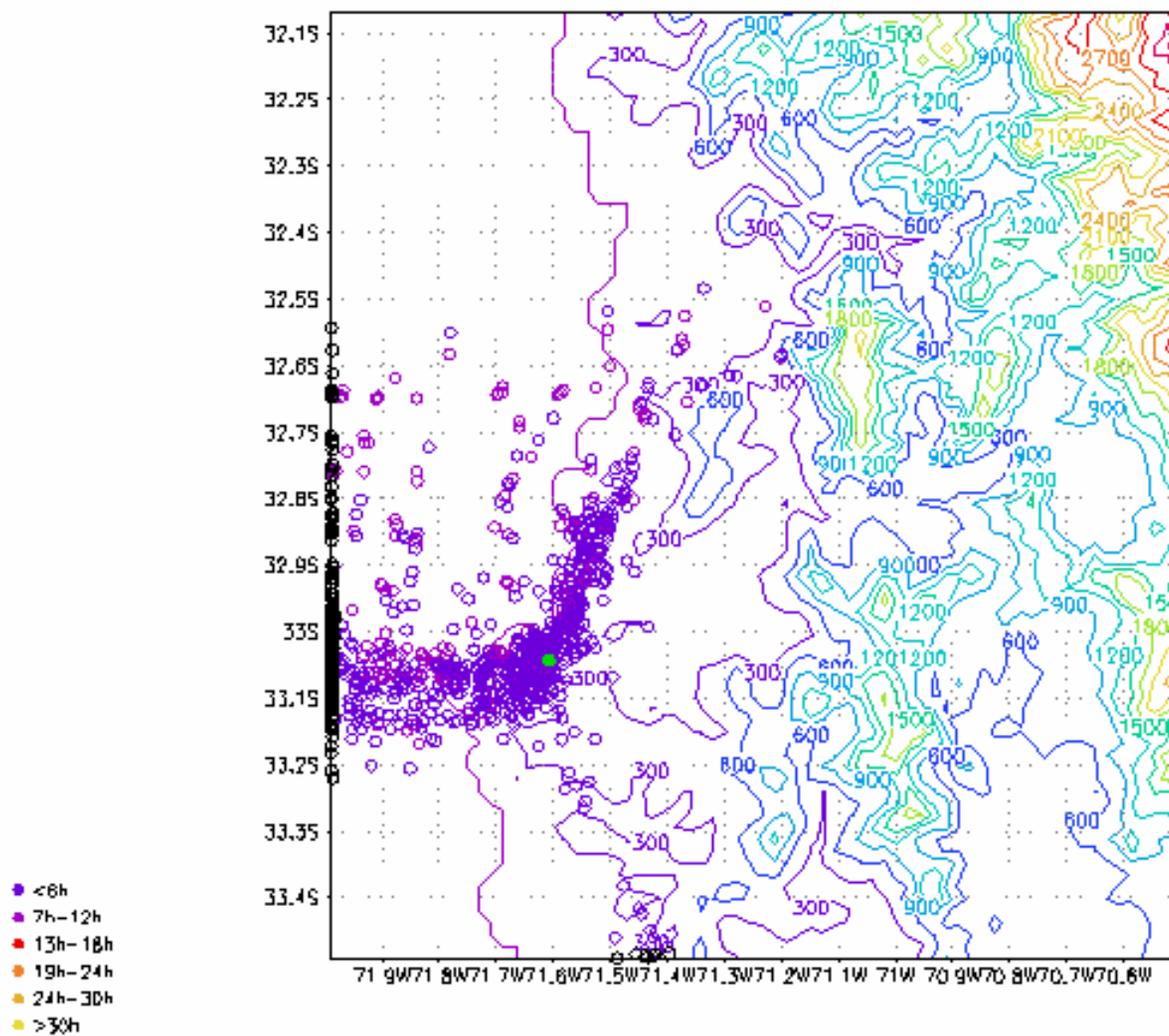


Figura E.24 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Valparaíso en el nivel de 120 m en el período 15 de Enero 16 de Febrero 2000.

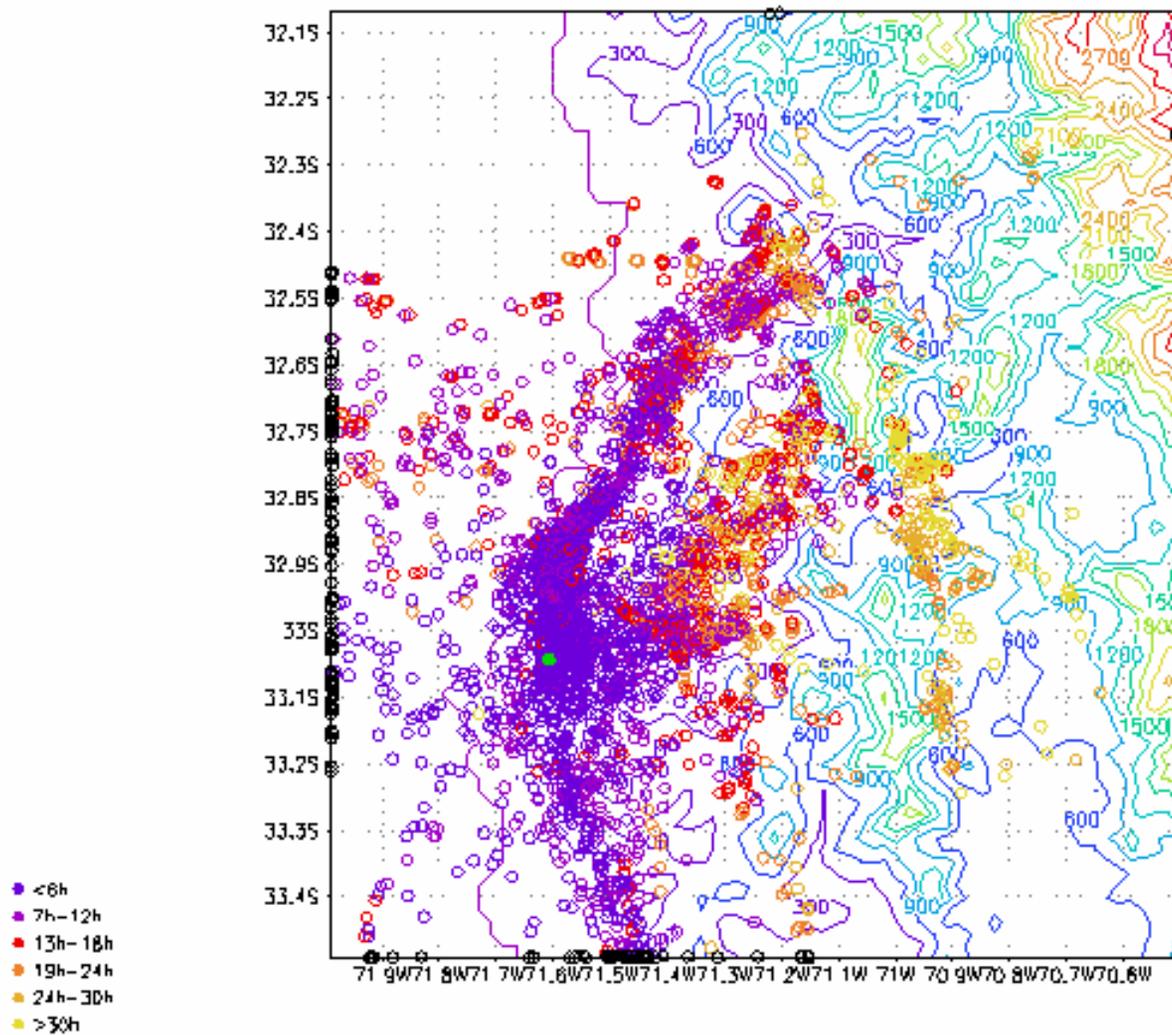


Figura E.25 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Valparaíso en el nivel de 30 m en el período 15 de Mayo 15 de Junio 2000

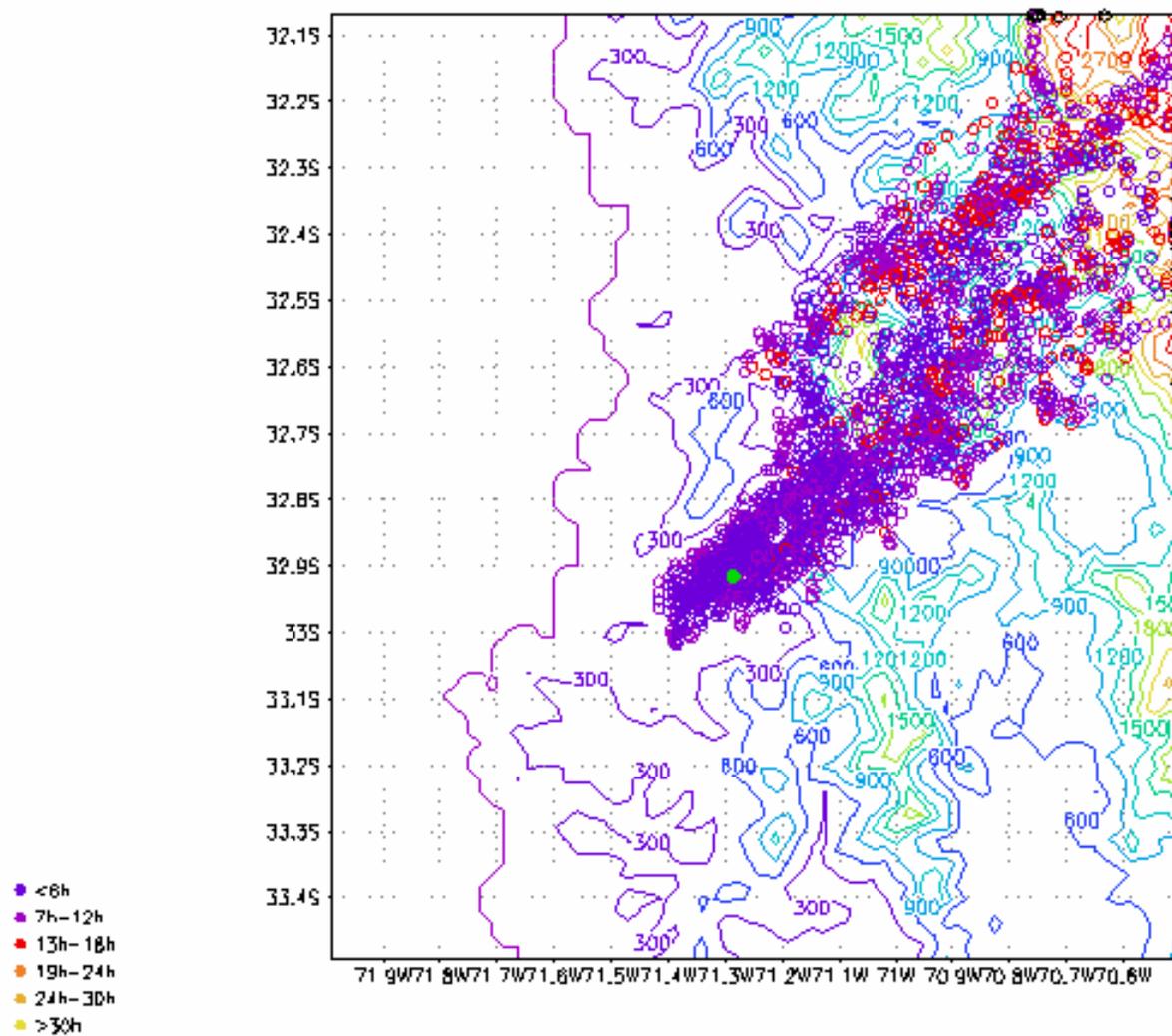


Figura E.26 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Quillota en el nivel de 120 m en el período 15 de Enero 16 de Febrero 2000.

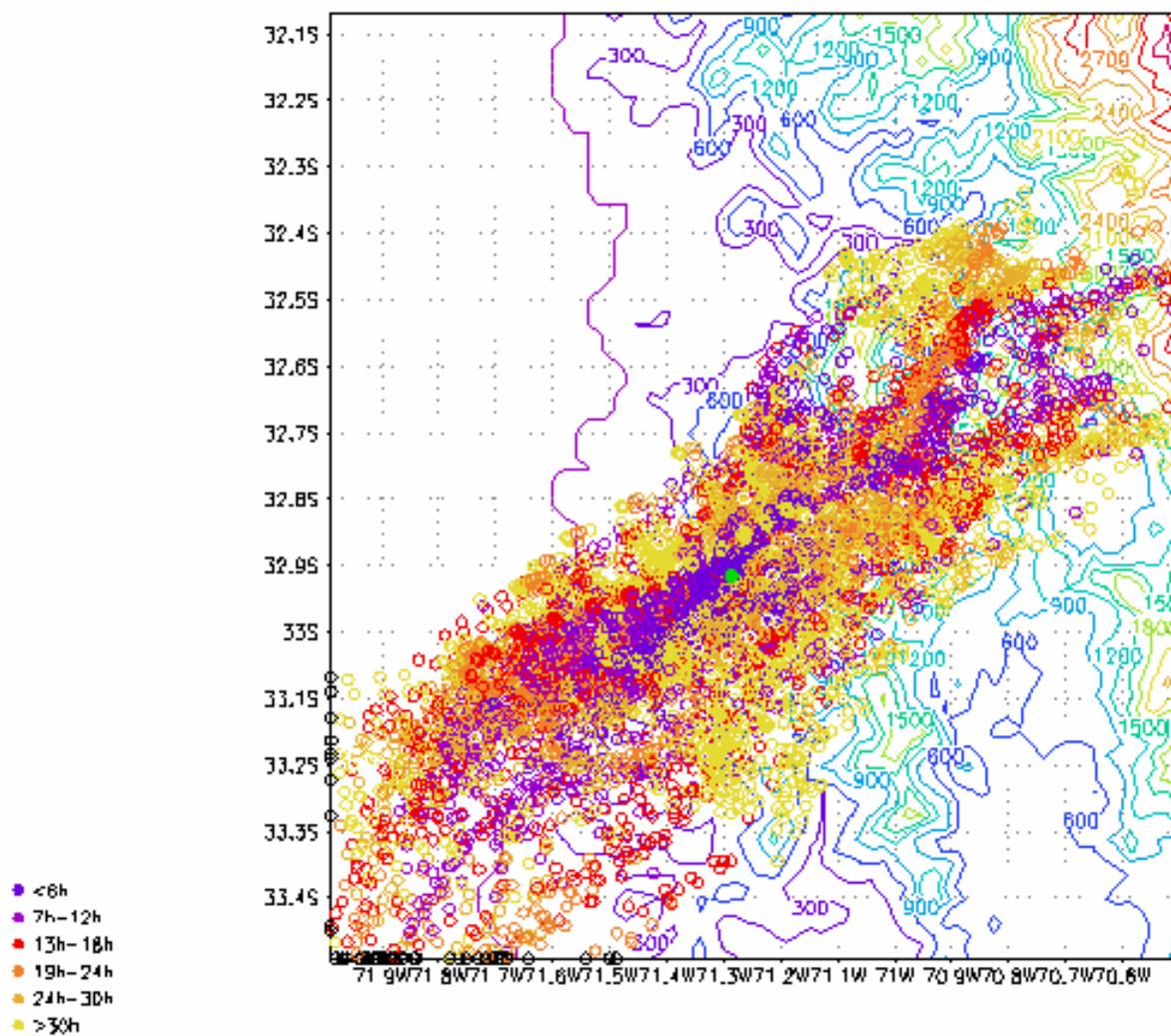


Figura E.27 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localización de Quillota en el nivel de 120 m en el período 15 de Mayo 15 de Junio 2000.

E.3.5 Trayectorias en el Gran Concepción

Con los campos de viento disponibles se calcularon trayectorias hacia adelante de parcelas con origen en Talcahuano, Coronel y Laraquete. Estos resultados preliminares muestran la posibilidad de impacto de las emisiones desde la zona de Coronel y en menor medida desde Talcahuano a la zona urbana de Concepción.

Dado que los meses disponibles corresponden a condiciones de verano prevalece el flujo sur oeste, sin embargo en condiciones invernales, con mas situaciones prefrontales es posible que la frecuencia de impacto de las emisiones producidas en la zona de Talcahuano sobre la ciudad de Concepción sea mayor.

Trayectorias adelante desde Talcahuano, Nov-Dic 1999

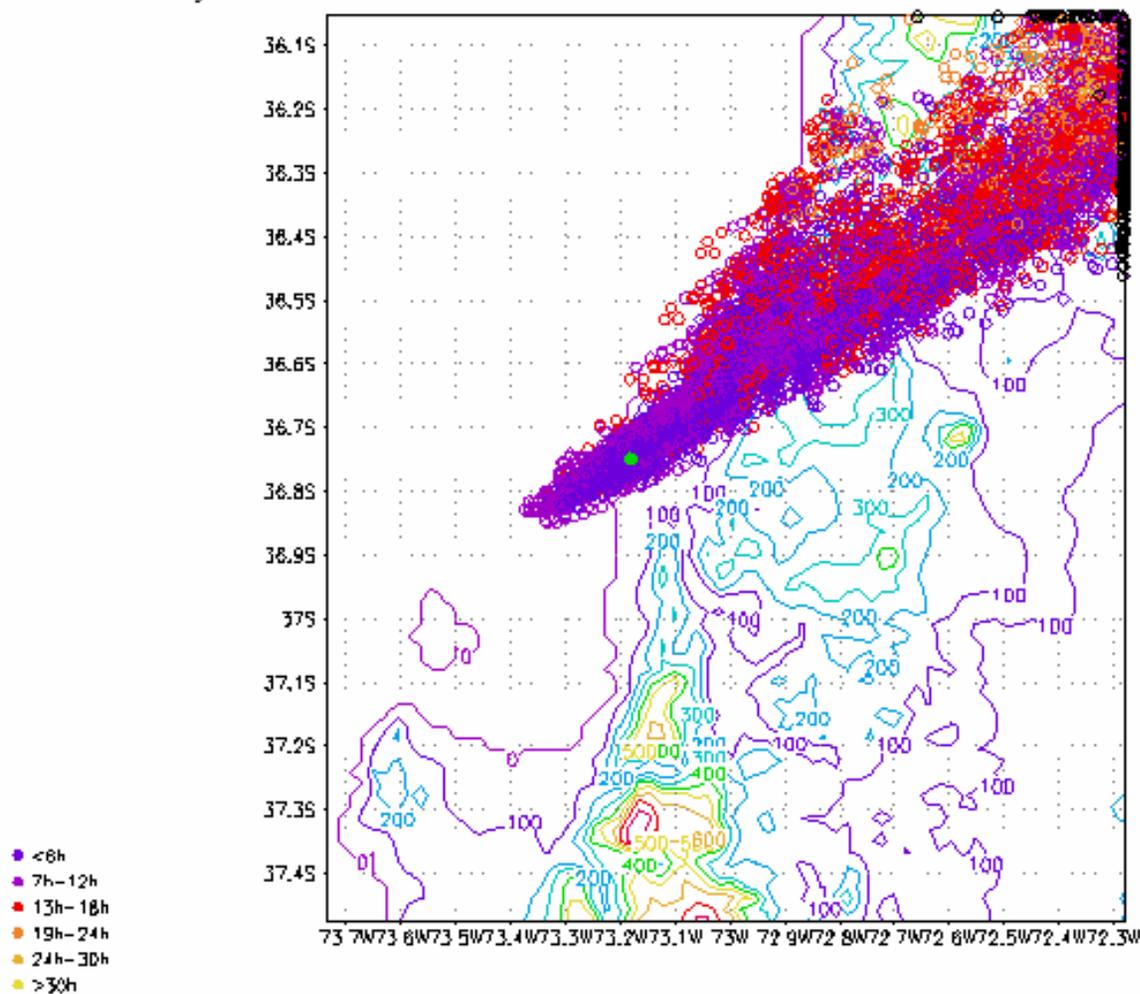


Figura E.28 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localidad de Talcahuano en el nivel de 60 m en el período 21 de Noviembre 20 de Diciembre 2000.

Trayectorias adelante desde Coronel, Nov-Dic 1999

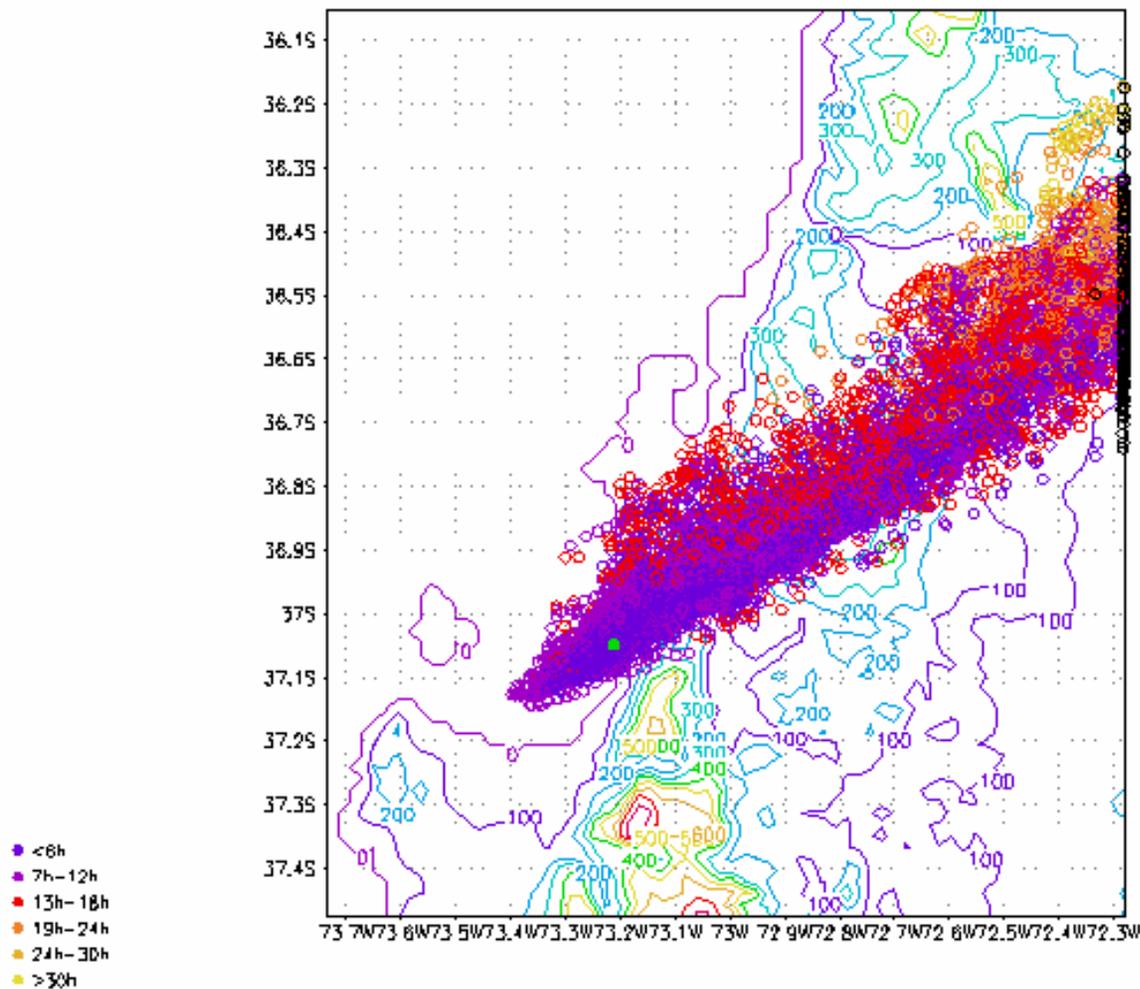


Figura E.29 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localidad de Coronel en el nivel de 60 m en el período 21 de Noviembre 20 de Diciembre 2000.

Trayectorias adelante desde Laraquete, Nov-Dic 1999

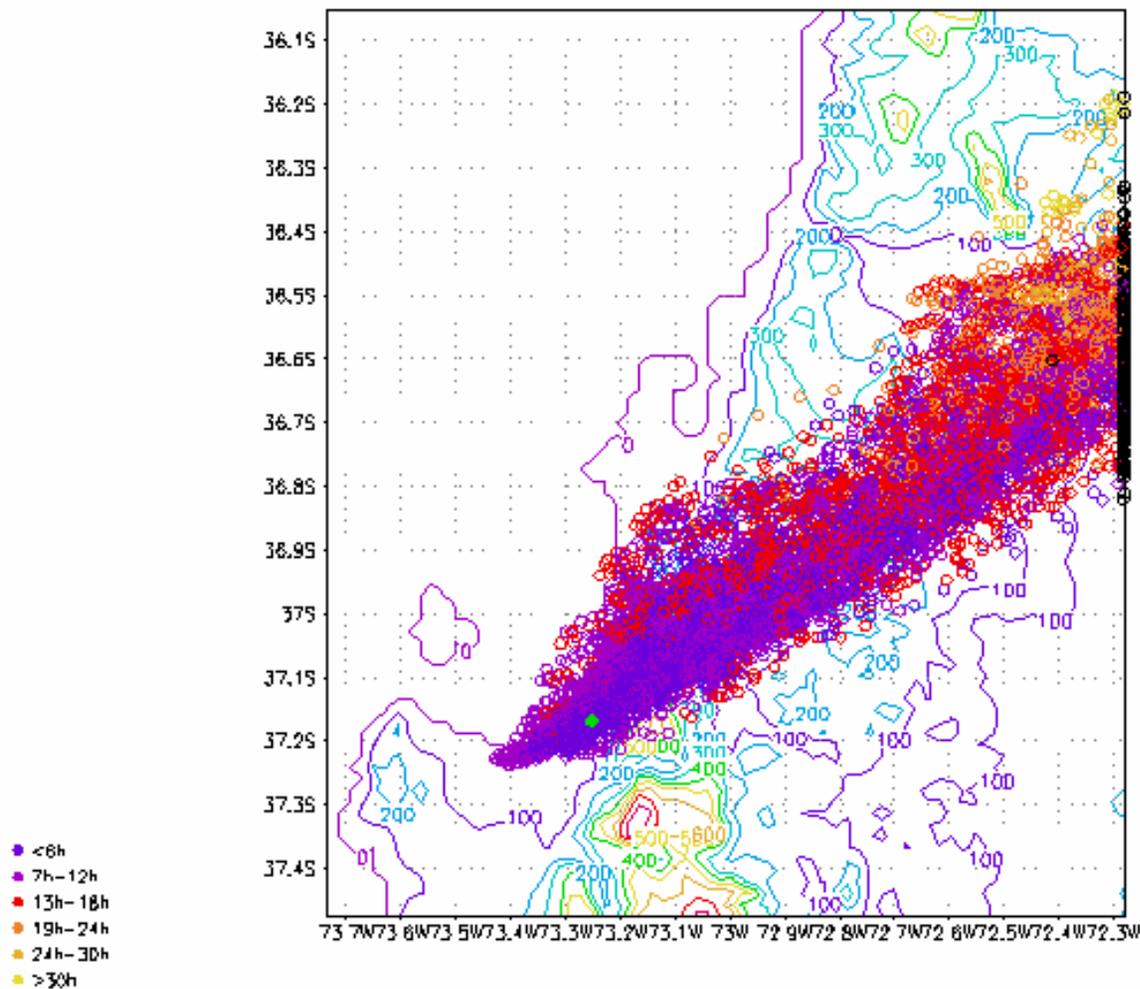


Figura E.30 Trayectorias de parcelas de aire que parten en la localidad de Laraquete en el nivel de 60 m en el período 21 de Noviembre 20 de Diciembre 2000.

E.4 Conclusiones y Recomendaciones

Se desarrolló e implementó la metodología necesaria para la generación de campos de viento de mayor resolución espacial y temporal (2 Km, 1 hora) a partir de la información disponible del modelo HIRLAM (10 Km, 3 horas).

El uso de un modelo de tipo diagnóstico permite obtener una resolución de 2 Km. en los campos de viento, ello mejora la representación de los rasgos de mesoescala, en comparación con las simulaciones disponibles de resolución de 10 Km.

No obstante las mejoras señaladas los resultados de los modelos tipo diagnóstico dependen fuertemente de la calidad y cobertura espacial de las observaciones por lo que en ambos casos de aplicación, Gran Concepción y Valle del Aconcagua existen lugares de gran complejidad orográfica desprovistos de información donde el modelo no entrega buenos resultados. Por otro lado, hay aspectos de la capa límite que no fueron posibles de mejorar con el modelo disponible. Para ello se propone la implementación de un modelo de tipo dinámico y campañas de mediciones meteorológicas orientadas a la caracterización de los niveles bajos de la atmósfera.

En vista de estos antecedentes, es recomendable realizar una coordinación de quienes realizan las observaciones e incluir dentro de los objetivos de medición además de los problemas locales a los que actualmente se orientan, el concepto de una representación de los flujos más regionales, asociados a problemas de impactos de más largo alcance. Así como también incorporar estaciones de observación en lugares de complejidad orográfica sin información como Los Andes, El Melón y San Felipe.

En el caso del Valle del Aconcagua sería conveniente disponer de mediciones regulares dentro de los primeros niveles de la atmósfera para tener una caracterización de la evolución de la capa límite en diferentes condiciones del año y tener información más precisa orientada a los problemas de contaminación atmosférica de nivel regional. Se recomienda realizar una campaña de mediciones en altura orientada a la caracterización de la capa límite junto a la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua. Esta recomendación también es aplicable al caso del Gran Concepción totalmente desprovisto de mediciones meteorológicas de altura.

También se aplicó una metodología de cálculo de trayectorias orientadas a visualizar la influencia de grandes núcleos emisores en las áreas de estudio.

La visualización de las trayectorias permite identificar que los efectos de las emisiones de grandes fuentes y núcleos urbanos pueden tener alcances de nivel local y regional, por lo que las medidas de control y gestión de la contaminación atmosférica deben tener también ambas dimensiones.

Los pasos siguientes propuestos para esta línea de trabajo de modelación atmosférica tienen relación por un lado con la mejora de los resultados de campos de viento para ambas zonas de estudio y por otro con el estudio de la dispersión de contaminantes primarios y problemas fotoquímicos.

Para ello sería muy conveniente comparar los resultados ya obtenidos con el modelo de diagnóstico con modelos de tipo dinámico que pueden mejorar la representación de la capa límite. Los resultados disponibles de Hirlam también pueden ser un punto de partida para la aplicación de modelos dinámicos.

Por otra parte también está el la aplicación de la técnica ya desarrollada en otras zonas como la VI Región, donde la influencia de las emisiones de la Fundición de Caletones es muy importante.

El uso de los resultados meteorológicos obtenidos para realizar aplicaciones con un modelo de dispersión de contaminantes es un paso natural para desarrollar caracterizaciones más detalladas de problemas locales y regionales de la contaminación atmosférica.

Finalmente la técnica implementada de trayectorias puede ser mejorada incorporando elementos estadísticos en su interpretación y análisis, así como también la metodología de cálculo para considerar la evolución de la capa límite a lo largo del día.

E.5 Referencias

Barna, M., Lamb, B., 2000. Improving ozonemodelling in regions of complex terrain using observational nudging in a prognostic meteorological model. *Atmospheric Environment*, 34, pgs 4889-4906.

Baumann, K., Stohl, A., 1997. Validation of a Long-Range Trajectory Model Using Gas Balloon Tracks from the Gordon Bennett Cup 95. *American Meteorological Society*, 36, pgs. 711-720.

Douglas, S.G., Kessler, R.C., Carr, E.L., 1990. User's Guide for the Urban Airshed Model, Volume III: User's Manual for the Diagnostic Wind Model. Report No. EPA-450/4-90-007C, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Gallardo, L., Olivares, G., Aguayo, A., Langner, L. y Aarhus, B., 2000. Regional Dispersion of Oxidized Sulfur over Central Chile Using the HIRLAM – MATCH system. Fortalecimiento del Sistema de Información de Calidad del Aire (Área de Trabajo 2): Aplicación de un modelo de escala regional sobre la zona central de Chile. Reporte Final. Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Gidhagen, L., 2000. Determinación de línea base nacional de contenido de arsénico en material particulado respirable. Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA – Chile.

GTOPO , US Geological Survey de Estados Unidos, <http://www.usgs.gov> .

Holstlag, A.A.M. and A.P. van Ulden, 1983. A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *J. Clim. and Appl. Meteor*, 22, pgs. 517-529.

Jin Young Kim, Young Sung Ghim, Yong Pyo Kim, Donald Dabdub, 2000. Determination of domain for diagnostic wind field estimation in Korea. *Atmospheric Environment*, 34, pgs. 595-601.

Robertson, L., Langner, J. y Engardt, M., 1996. MATCH-Meso-Scale Atmospheric Transport and Chemistry Modelling System – Basic Transport Model Description and Control Experiments with 222Rn. SMHI RMK Report N° 70.

Scire, J.S., Robe, F., Fernau, M., Yamartino, R.. A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (Ver 5, Jan 2000). Earth Tech, Inc., <http://src.com/calpuff> .

Seaman, N.L., 2000. Meteorological modeling for air-quality assessments. *Atmospheric Environment*, 34 (2000) 2231-2259.

Stackpole, J., 1994. The WMO format for the storage of weather information and the exchange of weather product messages in gridded binary form. Automation Division National Meteorological Center National Weather Service NOAA, February 18, 1994. [http://www-imk.fzk.de:8080/imk2/kasima/aktuelles/grib/format_grib_94feb]

Stohl, A., Wotawa, G., Seibert, P., Kromp-Kolb, H., 1995. Interpolation Errors in Wind Fields as a Function of Spatial and Temporal Resolution and Their Impact on Different Types of Kinematic Trajectories. American Meteorological Society, 36, pgs. 931-942.

Stohl, A., Baumann, K., Wotawa, G., Langer, M., Neininger, B., Piringer, M., Formayer, H., 1997. Diagnostic Downscaling of Large-Scale Wind Fields to Compute Local-Scale Trajectories. American Meteorological Society, 36, pgs. 931-942.

Stohl, A., 1999. The FLEXTRA Trajectory Model Version 3.0, User Guide (disponible en <http://www.forst.uni-muenchen.de/LST/METEOR/stohl/flextra.html>)

Venkatram, A., 1980^a. Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations. Boundary Layer Meteorology, 19, pgs 481-485.

Zilitinkevich, S.S., 1972. On the determination of the height of the Ekman boundary layer. Boundary Layer Meteorology, 3, pgs 141-145.

E.6 Anexo Lista de Tipos y Usos de Suelo del USGS

USGS Land Use/Land Cover System Legend (Modified Level 2)

Value Code Description

- 1 100 Urban and Built-Up Land
- 2 211 Dryland Cropland and Pasture
- 3 212 Irrigated Cropland and Pasture
- 4 213 Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture
- 5 280 Cropland/Grassland Mosaic
- 6 290 Cropland/Woodland Mosaic
- 7 311 Grassland
- 8 321 Shrubland
- 9 330 Mixed Shrubland/Grassland
- 10 332 Savanna
- 11 411 Deciduous Broadleaf Forest
- 12 412 Deciduous Needleleaf Forest
- 13 421 Evergreen Broadleaf Forest
- 14 422 Evergreen Needleleaf Forest
- 15 430 Mixed Forest
- 16 500 Water Bodies
- 17 620 Herbaceous Wetland
- 18 610 Wooded Wetland
- 19 770 Barren or Sparsely Vegetated
- 20 820 Herbaceous Tundra
- 21 810 Wooded Tundra
- 22 850 Mixed Tundra
- 23 830 Bare Ground Tundra
- 24 900 Snow or Ice

F. Emisiones

F.1. Generación de Archivos de Emisiones

F.1.1. Objetivo

El objetivo de esta actividad es la generación de archivos de emisiones para usar como entradas en un modelo de dispersión de contaminantes, para las zonas de estudio en la V Región (Gran Valparaíso-Valle del Aconcagua) y en la VIII Región (Gran Concepción).

Debido a las limitaciones de información disponible, se priorizará los tipos de fuentes que participan en mayor proporción en las emisiones de SO₂ y MP₁₀, contaminantes de mayor interés para la definición de zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua y Gran Concepción.

Los archivos tendrán el formato requerido por el modelo de dispersión MATCH.

F.1.2. Metodología general

Se ha elaborado recientemente un inventario de emisiones para la V Región (2ª Fase Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile, CONAMA- U. de Chile, 2001), y se encuentra en elaboración un inventario para la zona del Gran Concepción (Elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas en el Gran Concepción, CONAMA – U. De Chile, en ejecución).

Para llegar a generar los archivos de entrada que necesita el modelo de dispersión MATCH, se realizó una serie de procesos indicados en la Figura F.1. En el primer paso, la información de emisiones disponible se ingresó al Sistema de Administración de Inventario de Emisiones (SAIE) desarrollado en CENMA. Mediante SAIE, se generan archivos de entrada para el módulo de emisiones del sistema Airviro. Este sistema de información fue usado en el proyecto CONAMA-SMHI (Gallardo et al, 2000), donde se desarrolló un preprocesador para MATCH.

La alternativa de generación directa por SAIE, de los archivos requeridos por MATCH (Figura F.2), requiere un desarrollo que no está contemplado en este estudio.



Figura F.1 Esquema de flujo de información usado en este trabajo.



Figura F.2 Esquema futuro de flujo de información.

F.1.3. Características Generales del SAIE

La principal herramienta metodológica para la recopilación y adecuación de la información de emisiones consiste básicamente en la utilización del SAIE.

Esta herramienta permite realizar lo siguiente:

- Manejo de la diversidad de datos relacionados al inventario de emisiones, provenientes de diversas fuentes.
- Cálculo automático de las emisiones para fuentes contaminantes (incorporación de metodologías de cálculo).
- Incorporación de planillas de emisiones para fuentes calculadas externamente.
- Generación de inventarios de emisiones distribuidos geográficamente en la Región en estudio (resolución a nivel de celdas).
- Generación de inventarios especiados químicamente.
- Generación de información de entrada a modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

El sistema se estructura en base a módulos, distinguiéndose los de plataforma y los de emisiones:

Módulos de Plataforma:

- Módulo Geográfico
- Módulo Geo-Airviro
- Módulo Químico
- Módulo Administrativo
- Módulo Meteorológico

Módulos de Emisiones

- Módulo de Fuentes Móviles
- Módulo de Fuentes Comunes
- Módulo de Resto de Fuentes

F.1.4. Información disponible

De los estudios de inventarios de emisiones generados para las Regiones V y VIII, se obtuvo la información que permitió alimentar el sistema.

En general, los módulos plataforma ya se encontraban poblados al momento de iniciar el presente estudio, lo cual fue realizado anteriormente, en los estudios de Inventarios en Regiones. La información que se ha incorporado corresponde a:

- Base geográfica de la Región.
- Listado de sustancias químicas.
- Información de temperaturas de la Región.

Los módulos de emisiones se muestran separadamente más adelante.

Es importante destacar que los objetivos de los trabajos de generación de inventarios en las regiones V y VIII sólo contempló la generación de los llamados “inventarios planos”, que proporcionan información a nivel anual, con distribución geográfica, que en algunos casos es sólo a nivel comunal, incorporando solamente los contaminantes primarios (NO_x, CO, SO_x, PM₁₀, COV y NH₃).

Estos antecedentes indican que el nivel de desarrollo de estos inventarios no es suficiente para dar cumplimiento a los objetivos del presente estudio, donde se requieren salidas de emisiones distribuidas geográficamente y con resolución temporal de 1 hora.

No obstante lo anterior, los estudios técnicos de base de levantamiento de información en general incorporan un nivel mayor de detalle en algunos casos.

En lo que sigue de esta sección se identifica para cada módulo de emisiones, la información que falta para utilizar la herramienta SAIE.

F.1.4.1. Inventario V Región

Módulo de Fuentes Móviles.

- La red de transporte considerada en el estudio sólo contempla la Ciudad de Valparaíso y no se encuentra georeferenciada. Por otra parte, para el resto del parque vehicular se utilizó una metodología simplificada que no permite la generación directa de archivos AIRVIRO.
- La metodología utilizada para la estimación de las emisiones de carretera corresponde a un método simplificado que no permite la generación de los archivos AIRVIRO.

Módulo de Fuentes Comunales.

- La distribución espacial (sólo nivel comunal) de las emisiones de aquellas fuentes que dependen del nivel de ingreso, fueron efectuadas con una metodología simplificada. Esta metodología no permite la utilización directa del SAIE para la generación de los archivos AIRVIRO.
- El estudio no contempla la generación de ciclos temporales de las fuentes.

Módulo de resto de fuentes

Para el caso de fuentes de grilla se tiene:

- La distribución espacial (sólo nivel comunal) de las emisiones de aquellas fuentes que dependen del nivel de ingreso, fueron efectuadas con una metodología simplificada. Esta metodología no permite la utilización directa del SAIE para la generación de los archivos AIRVIRO
- En general las fuentes del tipo grillas no incorporan información de ciclos temporales

Para el caso de fuentes puntuales se tiene:

- En general para las fuentes industriales se recopiló información insuficiente de georeferenciación.

- El estudio base contempla ciclos temporales para un alto porcentaje de las fuentes.
- La información no incorpora el código de clasificación de fuentes (CCF) considerado en el sistema.
- Para la mayoría de las fuentes industriales existen datos de la geometría de la chimenea

F.1.4.2. Inventario VIII Región

El inventario de emisiones de la VIII Región se encuentra disponible para su análisis.

F.1.5. Identificación de actividades a realizar en el marco de este estudio

El objetivo principal de este trabajo fue orientado a la generación de archivos de modelación para las fuentes con mayores emisiones de SO_x y MP. Por lo tanto, las actividades que se presentan a continuación sólo se encuentran orientadas a la estructuración y recopilación de información necesaria para el sistema de cálculo.

Fuentes Fijas Industriales

- Incorporación de ciclos temporales de funcionamiento de las fuentes
- Asignación de código de clasificación de fuentes según tipo de actividad (CCF). A partir de los estudios base.
- Identificación geográfica de las fuentes (coordenadas UTM's), mediante el empleo de cartas geográficas y otras herramientas disponibles
- Incorporación de datos de descarga de emisiones (alturas, diámetros, velocidades de salida de gases y temperatura).
- Clasificación de calderas, puntuales y grupales.
- Clasificación de procesos, grandes, medianos y pequeños.
- Distribución espacial de estimaciones globales. En este punto es de especial importancia aclarar que la metodología de generación del inventario para las fuentes fijas consideró, para algunas fuentes el levantamiento de información directamente en terreno y para el resto se utilizó una metodología simplificada que no entrega distribución espacial.
- Generación de un programa de comunicación directo entre el programa de cálculo de emisiones de estanque de almacenamiento de combustible y el SAIE.
- Ordenamiento general de la información y generación de archivos de entrada BATCH requeridos por el SAIE.

F.1.5.1. Descripción del trabajo realizado

Para el caso de la V Región las actividades enunciadas anteriormente requirieron del ordenamiento y clasificación de la información base de los estudios.

Se utilizaron las siguientes metodologías.

F.1.5.2. Clasificación de Calderas

SAIE tiene un tratamiento distinto para el caso de calderas, clasificando en puntuales o grupales según el caudal de gases¹. Esta información no se encuentra disponible en regiones. Para introducir esta clasificación se usó el siguiente procedimiento:

Primera etapa

- Ordenamiento de la información de calderas por consumo energético².
- Identificación del consumo energético mínimo a partir del cual todas las fuentes son puntuales
- Identificación del consumo energético máximo a partir del cual todas las fuentes son grupales
- Con estos antecedentes se tiene un banda de consumos energéticos para la cual se tiene tanto calderas puntuales como grupales. De esta manera dentro de la banda se tiene que, en la medida que aumenta el consumo energético aumenta la cantidad de fuentes puntuales y las grupales disminuyen (a nivel de tendencia)
- Para estos efectos se generó una ecuación de tendencia de fuentes puntuales y de fuentes grupales y se definió el punto de intersección entre ambas como el consumo energético límite.

Segunda etapa

- A partir de la información disponible se calcula el consumo energético de las calderas contenidas en el inventario
- Ordenamiento de las calderas por consumo energético
- Clasificación como puntuales todas aquellas cuyo consumo energético es mayor o igual al encontrado en la primera etapa y las menores como grupales

F.1.5.3. Clasificación de Procesos

Al igual que en el caso anterior el SAIE tiene un tratamiento distinto para los procesos medianos o grandes y los pequeños. Para esto simplemente se ordenaron las fuentes del tipo proceso según la emisión de PM10 y todas aquellas que aportan el 80% de las emisiones fueron clasificadas como medianas o grandes y el resto como pequeñas.

F.1.5.4. Distribución espacial de estimaciones globales

Como se ha mencionado anteriormente, el universo de fuentes no visitada se estimó mediante el empleo de una metodología global, que entregó valores de emisión no distribuidos geográficamente. Para resolver este problema se siguieron los siguientes pasos:

- Identificación de la cobertura del valor global estimado (ej: Provincia de Valparaíso)
- Diferenciación de la estimación global según tipos de combustibles

¹ Caudal corregido a plena carga mayor o igual a 1000 m³N/hr o caudales menores a 1000 m³N/hr, respectivamente

² En la Región Metropolitana se cuenta con una base de datos de un gran número de fuentes medidas

- Obtención de estadísticas generales de consumo de ese combustible en las comunas que componen la provincia
- Determinación porcentual de distribución comunal
- Aplicación de lo anterior a la estimación global, obteniendo emisiones por comuna
- Generación de una fuente ficticia para cada comuna que contenga las emisiones asignadas

En general estas fuentes se distribuyen en forma uniforme en todas las celdas que componen la comuna.

F.1.6.Resultados

F.1.6.1. Inventario V Región

Se generaron archivos AIRVIRO para la V Región. Las fuentes grandes son reportadas como fuente puntuales. Las fuentes pequeñas son reportadas como una capa de grillas.

F.1.6.2. Inventario VIII Región

Se generaron archivos Airviro para la VIII Región, con la información preliminar obtenida durante este período.

F.2. Descripción de SAIE

F.2.1.Esquema General

En la Figura F.3 se presenta una estructura general del Sistema de Administración de Inventarios de Emisiones (SAIE).



Figura F.3 Esquema General del SAIE

Los principales objetivos de esta herramienta son:

- Manejo de la diversidad de datos relacionados al inventario de emisiones provenientes de instituciones públicas y privadas, tanto nacionales como internacionales.
- Cálculo automático de las emisiones para fuentes contaminantes (incorporación de metodologías de cálculo)
- Incorporación de planillas de emisiones para fuentes calculadas externamente
- Generación de inventarios de emisiones distribuidos geográficamente dentro de la Región en estudio (resolución nivel celdas).
- Generación de inventarios especiados químicamente
- Generación de información de entrada a modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

F.2.2.Estructura del SAIE

El sistema se encuentra estructurado en base a módulos, distinguiéndose los de plataforma y los de emisiones:

Módulos de Plataforma

- Módulo Geográfico
- Módulo Geo-Airviro
- Módulo Químico
- Módulo Administrativo
- Módulo Meteorológico

Módulos de Emisiones

- Módulo de Fuentes Móviles
- Módulo de Fuentes Comunales
- Módulo Resto de Fuentes

Los módulos de plataforma incorporan en términos muy generales, la siguiente información:

- Base geográfica de la Región
- Definición de mallas geográficas de modelos de dispersión
- Listado de sustancias químicas
- Información de temperaturas de la Región

Los módulos de emisiones se describen a continuación.

F.2.2.1. Módulo de Fuentes Móviles

Este módulo efectúa en forma automatizada el cálculo de emisiones para los tipos de fuentes y tipos de descarga ilustrados en la Figura F.4.

En general para la aplicación de esta metodología se requiere la siguiente información:

Sub Módulo de Arcos

- Red de transporte urbano
- Red de carreteras
- Generación de Tipos de calles características (perfiles temporales de flujos y composición de vehículos)
- Generación de Tipos de Carreteras características (perfiles temporales de flujos y composición de vehículos)
- Factores de Emisión
- Perfiles de Especiación de PTS y COVs

Sub Módulo de Grillas

- Información de temperaturas diarias y mensuales
- Datos de Permisos de Circulación
- Matriz de Transformación Encuesta Origen – Destino
- Factores de Emisión
- Perfiles de Especiación de PTS y COVs

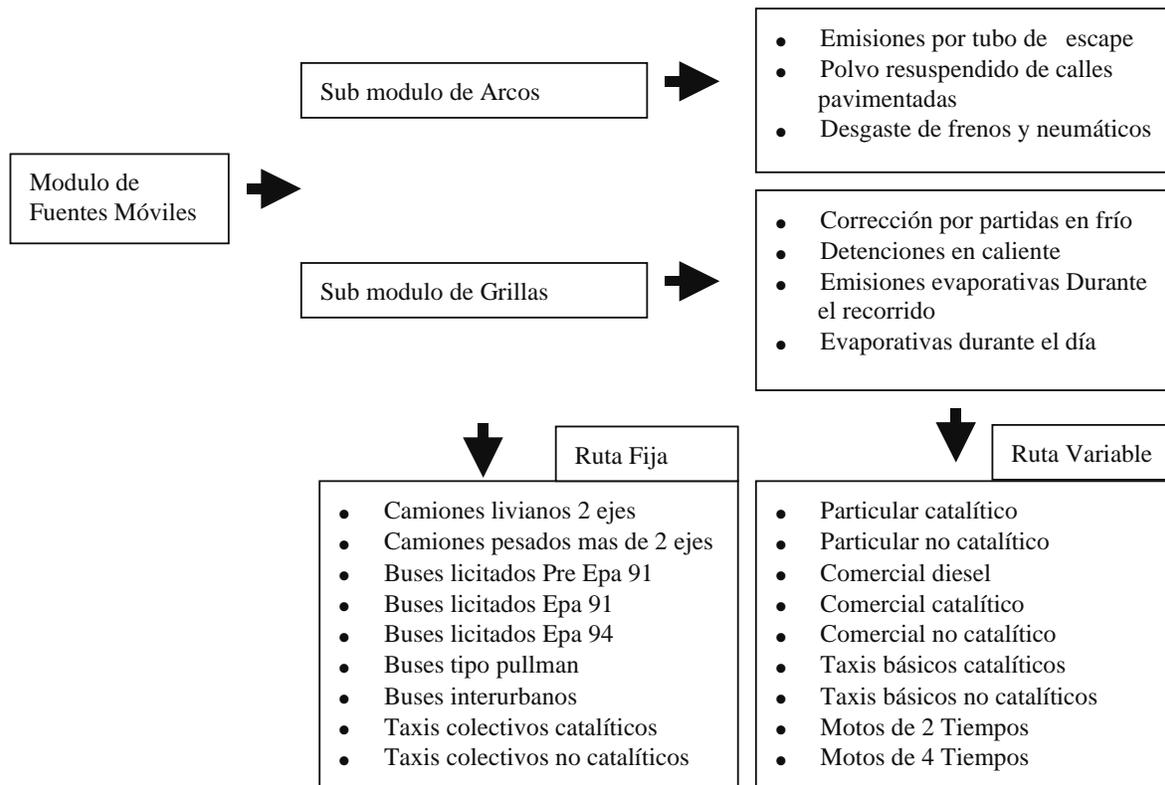


Figura F.4 Esquema General Módulo de Fuentes Móviles

F.2.2.2. Módulo de Fuentes Comunes

Este módulo efectúa en forma automatizada el cálculo de emisiones para los tipos de fuentes y tipos de descarga ilustrados en la Figura F.5.

En general para la aplicación de esta metodología se requiere la siguiente información:

- Información de Ingresos de la población
- Intensidad de consumo por tipos de productos según nivel de ingresos (esto solo es requerido para distribuir geográficamente las emisiones de aquellas fuentes cuyo nivel de consumo es función del nivel de ingreso)
- Niveles de operación regionales o comunales
- Ciclos de funcionamiento temporal de las fuentes
- Factores de Emisión
- Perfiles de Especiación de PTS y COVs

La metodología de actividades agrícolas (pesticidas y preparación de terrenos) y crianza de animales requieren de información técnica muy específica. La cual se encuentra disponible en el sistema en general para todas las Regiones del País.



Figura F.5 Esquema General Módulo de Fuentes Comunes

F.2.2.3. Módulo de Resto de Fuentes

Este módulo incorpora para las fuentes ilustradas en la Figura F.6 solo los resultados de los cálculos de emisiones³ ya que en la mayoría de los casos la metodología se aplica mediante un software externo (Ej. estanques) o bien esta se encuentra en procesos de estructuración (Ej. fuentes fijas industriales). No obstante lo anterior en el caso de las fuentes puntuales (fuentes fijas, aeropuertos, estanques de almacenamiento de combustible y lagunas de tratamiento de aguas) el sistema incorpora la información identificatoria y técnica relevante, dados los requerimientos de este tipo de información por los modelos para el caso de fuentes puntuales

³ En general estas planillas de emisiones pueden contener todo el universo de sustancias contaminantes.

En general para este módulo se requiere la siguiente información

Fuentes de Grilla

- Planillas de emisiones distribuidas comunalmente
- Ciclo temporal de funcionamiento

Fuentes Puntuales

- Emisiones por fuente específica
- Datos técnicos y identificatorios de la fuente
- Ciclo temporal de funcionamiento por fuente o global por actividad

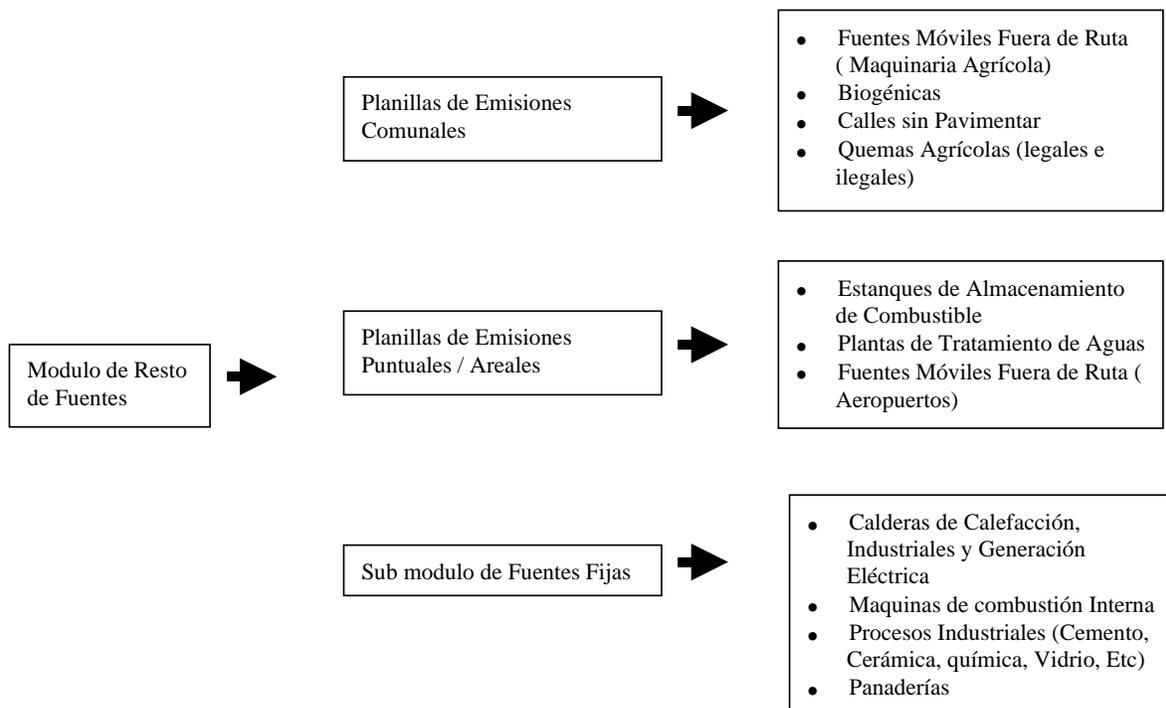


Figura F.6 Esquema General Módulo de Resto de Fuentes



Fundación
Centro Nacional del Medio Ambiente
Av. Larraín N° 9975, La Reina, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 275 1455, <http://www.cenma.cl>



DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE

AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

INFORME FINAL

Informe Técnico LMA-04-2001

Preparado para

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Diciembre 2001
SANTIAGO, CHILE

© Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA)

Año 2001

**DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA
MACROZONA CENTRAL DE CHILE. AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR
INFORME FINAL**

Informe Técnico LMA-04-2001

Ninguna parte de este Informe puede ser reproducido, transmitido o almacenado, sea por procedimientos mecánicos, ópticos o químicos, sin permiso expreso de CENMA.

No obstante lo anterior, CENMA autoriza la reproducción parcial o total del presente informe a las Instituciones Públicas del Estado, con la sola citación de su fuente.

Fundación CENMA

Prof. Luis A. Riveros, Presidente

Dr. Raúl G.E. Morales, Director Ejecutivo

Ing. Regina Massai, Jefe Unidad de Proyectos

Informe preparado por el Laboratorio de Modelación y Análisis Atmosférico:

Ing. Pablo Ulriksen, Jefe de Laboratorio

Andrés Cabello Blanco, Modelación Atmosférica

Gerardo Alvarado Zúñiga, Análisis de Información de Calidad de Aire

Marcelo Araya Mendoza, Análisis y Procesamiento de Información Meteorológica

Manuel Merino Thayer, Meteorología Aplicada a Contaminación Atmosférica

Rodrigo Romero, Medición de Calidad de Aire

Gustavo Olivares, Modelación Atmosférica

Jaime Escobar, Inventario de Emisiones

Fundación Cenma

Av. Larraín 9975, La Reina, Santiago, Chile

Teléfono: 275 1455, Fax: 275 1688

La Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) es una institución creada por la Universidad de Chile, con el objetivo principal de entregar apoyo científico-técnico al Estado, para la formulación e implementación de políticas de protección ambiental en el país, en conformidad con la constitución política de Chile

Su creación ha sido posible gracias a un visionario proyecto de cooperación técnica suscrito en 1995 a través de las Agencias de Cooperación Internacional de los gobiernos de Japón (JICA) y Chile (AGCI). La contraparte chilena del convenio está conformada por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entidad ministerial del gobierno, que tiene la responsabilidad global de implementar el proyecto, y por la Universidad de Chile, la cual, junto con brindar el soporte académico, contribuye con los terrenos y edificios de la Fundación Nacional del Medio Ambiente y es responsable de la ejecución misma del proyecto. En tanto que la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), durante estos últimos cinco años, ha contribuido con provisión de equipos, maquinarias, entrenamiento de personal chileno en Japón y con misiones de expertos japoneses en Chile

En las instalaciones de la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente se interrelacionan, por primera vez en nuestro país, laboratorios químicos para estudios de calidad de aire y combustibles, de residuos sólidos, de residuos líquidos y de calidad microbiológica de aguas, además de un completo laboratorio analítico central. Se cuenta también con sistemas de monitoreo automático de información ambiental, tanto de calidad de aire como de estaciones meteorológicas, equipamientos para recolección de muestras y un sistema de información orientado a problemas ambientales.

La Fundación CENMA es administrada sin fines de lucro y está ubicada en la comuna de La Reina, en la ciudad de Santiago de Chile, en un terreno de 2.5 hectáreas, donde dispone de 3000 M² de edificaciones en uno y dos pisos. La función principal de la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente es fortalecer las capacidades técnicas requeridas para contribuir a la formulación de la política ambiental chilena y ser un elemento gravitante en el Sistema de Gestión Ambiental del país. Por ello, también esta llamada a cumplir un rol significativo en la capacitación del personal de las entidades del sector público con competencia ambiental y con las Direcciones Regionales de la CONAMA. A través de estas entidades se relaciona también con los municipios y otros servicios regionales involucrados en temas ambientales.

La Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente es el canal ejecutor del proyecto de cooperación técnica con Japón y, asimismo, asesora a la CONAMA en una serie de campos de alto contenido técnico, tales como campañas de medición y actualización de inventarios, entre otros temas.

La existencia y funcionamiento de la Fundación CENMA constituyen una pieza fundamental para que el gobierno y el país encaren, sobre la base de la información ambiental y su análisis científico, las definiciones de política ambiental que aseguren el desarrollo sustentable de Chile. En este contexto, la fundación aspira a "*constituirse en una institución nacional con nivel de referencia, orientada a servir de apoyo científico-técnico a los organismos públicos con atribuciones en las áreas de monitoreo ambiental, elaboración e implementación de regulaciones y estándares ambientales, control y fiscalización ambiental*".

Los programas prioritarios desarrollados por la Fundación Nacional del Medio Ambiente desde su creación se han centrado en cuatro áreas:

- Pronóstico de episodios de contaminación atmosférica, que incluye el desarrollo de una metodología para pronosticar episodios críticos, la operación de una red meteorológica aplicada a contaminación atmosférica de la Región Metropolitana, y campañas de monitoreo de la calidad del aire.
- Análisis de factores de emisión de fuentes fijas y móviles. La determinación de grupos prioritarios de fuentes fijas (por su impacto en emisiones), la caracterización de flujos viales para distintas categorías de vehículos y la medición de la influencia del deterioro de los vehículos en los factores de emisión forman parte del trabajo en esta área.
- Estimación de emisiones de quemas agrícolas, biogénicas y evaporativas. El desarrollo de metodologías para estimar las emisiones de quemas e incendios, así como de las emisiones evaporativas de procesos industriales y de las aportadas por la vegetación, se abordan en esta área de trabajo.
- Planes de acción para residuos industriales sólidos y líquidos. Se han elaborado informes sobre el uso de residuos peligrosos como combustible adicional; pautas de manejo de RISES; caracterización de residuos peligrosos; y determinación de rubros industriales más contaminantes, considerando el tipo de descargas.

Los programas anteriores han sido desarrollados por la Fundación desde el comienzo formal de sus operaciones, en junio de 1996. Los tres primeros, relacionados con calidad de aire, han servido de apoyo a la CONAMA de la Región Metropolitana en la generación e implementación del Plan de Prevención y Descontaminación del Aire de la ciudad de Santiago, entregado durante 1997.

De acuerdo a los términos del proyecto de cooperación Chile - Japón, los fondos requeridos para la operación de la Fundación provienen, en la actualidad, parcialmente del presupuesto de la Nación y, complementariamente, por contratos con instituciones públicas y privadas para el desarrollo de estudios específicos, que concuerden dentro de los delineamientos del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. El programa de cooperación técnica de Japón ha aportado más de US\$ 12.000.000 en equipos para laboratorios, en equipos de monitoreo (estaciones para medición de contaminación atmosférica, meteorología, calidad de agua), en el Sistema de Información y en otras maquinarias y equipos, además de expertos y becas de entrenamiento en Japón.

El equipamiento de los laboratorios de la Fundación le permite hoy obtener muestras ambientales en los medios aire, agua, suelo y residuos industriales, para medir la presencia de contaminantes en estado sólido, líquido o gaseoso, tales como hidrocarburos aromáticos, metales pesados en material particulado, dioxinas, pesticidas, microorganismos patógenos y una gran variedad de otras sustancias tóxicas.

La Fundación está operando una red de estaciones meteorológicas que incluye 24 estaciones de superficie y un sondeador de perfiles atmosféricos (LAPRASS), además de dos equipos para sondeos atmosféricos de baja altura con globos. El área cubierta por las mediciones meteorológicas se extiende desde Pichidangui a Constitución (500 Km de distancia), e incluye la cuenca de Santiago, cerros del entorno, valles que aportan flujos de aire y algunas localidades costeras.

El sistema de información instalado en la Fundación, que cuenta con una avanzada tecnología en informática y telecomunicaciones, está capacitado para generar y administrar todo tipo de información ambiental, incluyendo administración de sistemas de bases de datos, modelos de simulación numérica, procesamiento de imágenes y otros. Para el apoyo de los procesos de monitoreo de meteorología y calidad de aire se dispone de un sistema que permite la recolección automática de datos desde las estaciones de monitoreo y su presentación gráfica.

Tras cinco años de montaje y preparación de recursos humanos, con la implementación de técnicas diversas, sus laboratorios de química ambiental han desarrollado un riguroso programa de aseguramiento de la calidad, y con una auditoría conducida a través del Ministerio del Ambiente del Gobierno Canadiense, se ha obtenido su acreditación internacional en las normas ISO 17025.

Al iniciarse este año 2001, la fundación ha orientado todos sus esfuerzos a cuatro grandes áreas de acción:

1. **Investigación en Ciencias Ambientales.** Con el objeto de potenciar al máximo su capacidad instalada y recursos humanos, se ha iniciado un vigoroso programa de desarrollo en líneas de investigación de problemas ambientales del país. En este contexto se ha comenzado a trabajar en problemas de contaminación por arsénico, debido a la naturaleza propia de los suelos del Norte del país y debido a la gran actividad minera y sus problema de contaminación por este elemento. También hemos iniciado un amplio programa en Ciencias Atmosféricas, conducente a caracterizar la calidad del aire de la zona central de Chile, a objeto de prever los diferentes impactos que tienen las grandes ciudades, la actividad industrial y minera en vistas a aminorar los efectos sobre la población y los recursos de flora y fauna. Y una tercera área emergente lo constituye el estudio de los ecosistemas acuáticos, dado el nivel de vulnerabilidad frente a un creciente desarrollo productivo de los sectores mineros, agrícolas, agroindustriales, pesqueros y recreativos, tanto en aguas continentales como marinas.
2. **Formación de recursos humanos calificados.** En este ámbito, se han iniciado dos grandes rumbos. El primero es la puesta en marcha de una Escuela de Estudios Ambientales, destinada a capacitar funcionarios públicos y de empresas privadas en los temas de (a) Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), Gestión de Calidad Ambiental en la Empresa (ISO 14.000) y Análisis de Evaluación de Riesgos Ambientales en sistemas complejos (puertos, transportes, industrias químicas, ciudad, etc.). Y hemos iniciado un programa de trabajo conjunto con la Universidad de Chile para la formación de postgrado en Ciencias Ambientales, con la implementación de Magister y Doctorados en áreas específicas.
3. **Implementación y desarrollo de servicios ambientales de alta tecnología.** Atendiendo a la alta calidad de nuestros laboratorios y personal entrenado, estamos en condiciones de continuar ofreciendo estudios analíticos específicos de alta tecnología, mientras no se constituya aún una infraestructura nacional que de cobertura a este tipo de estudios, requeridos particularmente por instituciones públicas y del Estado. Por otra parte, continuaremos desarrollando actividades de intercomparación y de puesta en marcha de nuevas metodologías para diversos laboratorios nacionales y de países que así lo requieran, conjuntamente con desarrollar servicios de certificación y auditorías ambientales.
4. **Centro internacional de entrenamiento en técnicas analíticas y de investigación ambientales.** Atendiendo al desarrollo alcanzado en este marco de cooperación internacional con Japón, es de nuestro interés poder integrar a otros países de la región en esta tarea de alcanzar metas de estándares internacionales en estudios ambientales, y con la cooperación internacional, actualmente estamos buscando los mecanismos apropiados de financiamiento para hacer de nuestro Centro un lugar apropiado para la formación de recursos humanos de países de América Central, Sur y del Caribe.

Finalmente, en el interés de servir a nuestros objetivos misionales, CENMA abre sus puertas a todas las instituciones estatales, públicas y privadas del país, a fin de responder a requerimientos de apoyo científico-tecnológico en su gestión ambiental, tanto a nivel de servicios de alta tecnología, como al desarrollo de proyectos de investigación y formación de recursos humanos.

Dr. Raúl G.E. Morales
Director Ejecutivo

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

**PROYECTO
DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE
AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR**

Equipo de Trabajo de CENMA

Pablo Ulriksen Ugarte	Jefe de Proyecto
Andrés Cabello Blanco	Modelación Atmosférica
Gerardo Alvarado Zúñiga	Análisis de Información de Calidad de Aire
Marcelo Araya Mendoza	Análisis y Procesamiento de Información Meteorológica
Manuel Merino Thayer	Meteorología Aplicada a Contaminación Atmosférica
Rodrigo Romero	Medición de Calidad de Aire
Gustavo Olivares	Modelación Atmosférica
Jaime Escobar	Inventario de Emisiones

Contraparte Técnica del Proyecto

Laura Gallardo K.	CONAMA
Christian Santana O.	CONAMA
Rodrigo Lucero	CONAMA
Myrna Araneda	Dirección Meteorológica de Chile
Olga Espinoza	Servicio Agrícola y Ganadero
Walter Folch	Ministerio de Salud
René Garreaud	Universidad de Chile, Departamento de Geofísica

DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE

AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

La Macrozona Central de Chile reúne casi la mitad de la población total del país y buena parte de la actividad económica, tanto industrial como agrícola, que conlleva la presencia de grandes emisiones de contaminantes, las cuales unidas a las condiciones meteorológicas de la zona, determinan la existencia de problemas de contaminación atmosférica en la Macrozona.

El término Macrozona Central de Chile ha sido usado para referirse en forma general a la zona central de Chile, con varias interpretaciones sobre su extensión geográfica. La interpretación más usual se refiere a la zona del Gran Santiago y regiones vecinas, que presentan una tendencia a formar una megaciudad, enlazando mediante sistemas de transporte rápido la ciudad de Santiago con Valparaíso-Viña del Mar y con Rancagua hacia el sur. Por otro lado, en el Consejo de Desarrollo Sustentable de CONAMA, el Comité de Apoyo Técnico tiene representantes de los Consejos Consultivos Regionales, agrupados en Macrozona Norte, Macrozona Central, Macrozona Sur (<http://www.conama.cl/CDS>). Desde un enfoque geográfico-climático, la zona de la depresión interior que se extiende entre la V y VIII regiones, presenta características climáticas similares, de clima templado y estación seca de verano prolongada (4 o más meses).

En este trabajo se utiliza el término Macrozona Central para referirse a la zona entre la V y VIII Regiones, área que incorpora a los núcleos urbanos más poblados del país.

Esta zona ha experimentado un enorme desarrollo económico expresado en inversiones en infraestructura y se prevé que dicho desarrollo continuará y se fortalecerá en los próximos años, por lo que se hace necesario contar con herramientas pertinentes a la planificación y con evaluaciones de línea base del recurso aire en zonas urbanas y suburbanas de la Macrozona Central.

En este contexto, se identificó la necesidad de llevar a cabo un diagnóstico integral del estado y de la sustentabilidad del recurso atmosférico en la Macrozona Central de Chile, para lo cual es necesario implementar y aplicar herramientas pertinentes, con el objeto de dar respaldo técnico a las políticas de gestión ambiental, a niveles regional e interregional. Con estos fines se planteó un programa de cinco años plazo y que en su primera etapa, motivo del presente estudio, involucra actividades de monitoreo exploratorio, modelación atmosférica y análisis de información disponible para establecer un primer diagnóstico de la calidad del aire y de la sustentabilidad del recurso atmosférico en la Macrozona.

Las principales actividades desarrolladas para alcanzar dicho objetivo fueron:

- Recopilar, analizar y evaluar información relevante sobre monitoreo atmosférico disponible en los organismos públicos y en la literatura especializada.
- Implementar un programa de monitoreo exploratorio para evaluar posibles sitios de una red regional de monitoreo atmosférico (meteorológico y de calidad del aire) y proponer un diseño conceptual de una red regional de monitoreo.
- Evaluar e interpretar con ayuda de modelos de dispersión, análisis estadísticos, modelos meteorológicos y modelos de trayectorias los datos recolectados, en particular, para las zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua y el Gran Concepción.
- Estimar la extensión de las zonas saturadas por dióxido de azufre (SO₂) y material particulado respirable (PM10) en el Valle del Aconcagua (V Región) y por SO₂ en la zona del Gran Concepción (VIII Región).

Los análisis en esta primera etapa fueron centrados en la V y VIII regiones, los resultados y conclusiones obtenidos se basan en información recopilada y generada por el proyecto, constituida por los siguientes grupos:

- Información disponible (principalmente del período 1997 a 2001) en la V y VIII regiones para los contaminantes Dióxido de Azufre (SO₂), Ozono (O₃), Oxidos de Nitrógeno (NO₂ y NO), Material Particulado Respirable (MP10), Material Particulado Fino (MP2.5).
- Mediciones meteorológicas realizadas en Casablanca (V Región), Arauco y Chiguayante (VIII Región).
- Resultados de una campaña exploratoria de gases con tubos pasivos (NO_x, SO₂ y O₃), en ocho lugares distribuidos entre la V y la VII Región.
- Información disponible de emisiones de distintas fuentes e inventarios de emisiones atmosféricas de las regiones que conforman la Macrozona Central de Chile.
- Construcción de campos meteorológicos y trayectorias de masas de aire en la V y VIII Regiones.

El diagnóstico se traduce en un análisis de la información de calidad de aire, meteorología y emisiones, presentando los elementos y herramientas metodológicas que constituyen las bases sobre las que se realizan las posteriores recomendaciones sobre la extensión de zonas que podrían ser objeto de programas de control de la contaminación atmosférica en la V y la VIII Regiones, y de los criterios que dan origen al diseño conceptual de una red de monitoreo de la calidad del aire en la Macrozona Central de Chile.

Principales resultados y conclusiones del análisis realizado en el presente estudio en cuanto al diagnóstico de calidad de aire en la Macrozona e identificación de zonas de control.

En cuanto al problema de material particulado, en la V Región existe un problema generalizado a nivel anual. Ello puede estar relacionado con la formación de aerosoles secundarios por la presencia de grandes fuentes emisoras de óxidos de azufre (SOx) y óxidos de Nitrógeno (NOx).

La estación La Greda, parte de la red del Complejo Industrial Ventanas, constituye un caso excepcional de excedencia de norma diaria de MP10. Los antecedentes indican la existencia de efectos locales.

Los problemas más agudos por SO₂ están relacionados principalmente con fuentes cercanas, sin embargo, las observaciones y los análisis de trayectorias muestran que los efectos de las emisiones de las fuentes más importantes, pueden alcanzar grandes distancias, con la posibilidad de generar superposición entre fuentes muy alejadas en la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua. Dentro de este grupo de fuentes se considera el Complejo Industrial Ventanas, Refinería de Petróleos Concón (RPC), la Fundición Chagres y el núcleo urbano de Valparaíso que incluye la actividad portuaria, de la que no se dispone de antecedentes de emisiones.

Los ejemplos más notables de superposición de efectos se encuentran en la localidad de Concón y en las ciudades de Viña del Mar y Valparaíso. Los análisis realizados a partir de trayectorias y observaciones de SO₂ y viento muestran la posibilidad de una influencia significativa desde Ventanas a esa localidad, que también recibe el impacto de RPC. La hipótesis del transporte de SO₂ por largas distancias desde Ventanas es consistente con la alta correlación positiva obtenida entre las mediciones de SO₂ en Valparaíso-Viña del Mar y las reducciones de emisión de azufre desde Ventanas.

Se infiere que los problemas observados de ozono son de escala regional, ello a partir de la distribución de fuentes de precursores (núcleos urbanos, termoeléctricas y emisores de compuestos orgánicos volátiles), los valores observados donde existe monitoreo ozono y los patrones de transporte de masas de aire; en consecuencia, la gestión debe apuntar a un manejo a nivel regional. Se debe ampliar la cobertura de los inventarios de emisión que incluyen a las fuentes de precursores, NOx y compuestos orgánicos volátiles (COV) principalmente, y también se deben iniciar campañas que apunten a determinar los niveles en áreas donde se advierte la posibilidad de impactos importantes y que requieren ser vigilados, como población, recursos agrícolas y reservas naturales.

De aquí emanan recomendaciones sobre medidas inmediatas, como realizar una inspección y evaluación de la localización de todas las estaciones existentes y en particular de aquellas que muestran comportamientos particulares, para evaluar su representatividad e identificar posibles fuentes locales de contaminación.

Medidas de más largo aliento incluyen estudiar la composición de MP10 y MP2.5 en distintos lugares de la costa y hacia el interior del valle del Aconcagua, para verificar la presencia de aerosoles secundarios como indicadores de la extensión del impacto de las grandes fuentes emisoras de la Región.

Los antecedentes recogidos indican que se requiere ampliar las zonas de control para atacar los problemas actuales y realizar un manejo sustentable del recurso aire en función de las perspectivas de desarrollo de la Región.

En consideración a que los niveles de SO₂ observados muestran los efectos más agudos en los entornos de las fuentes más importantes de emisión de azufre, y que los antecedentes recogidos indican su gran relevancia en los problemas de escala regional, se recomienda privilegiar la gestión de los problemas generados por la emisión de azufre oxidado al origen de estos, es decir, al control de las fuentes individuales importantes ya identificadas, más que al establecimiento de amplias áreas de manejo. Paralelamente, también se recomienda la ampliación de zonas de vigilancia mediante el establecimiento de observaciones en zonas que requieren de protección y que pueden estar recibiendo impactos importantes.

Según los antecedentes presentados, los contaminantes O₃ y MP10 constituyen problemas de mayor escala. Se recomienda considerar como zona de control al conjunto de áreas donde se verifican problemas de MP10 anual y niveles elevados de O₃, anexando además aquellas comunas donde se estima niveles altos de estos contaminantes, así como también aquellas que muestran influencia potencial sobre los lugares donde se ha constatado o se infiere un problema. El área de control recomendada cubre las provincias de San Felipe de Aconcagua, con excepción de la comuna de Putaendo, la totalidad de la provincia de Quillota y la provincia de Valparaíso, con excepción de las comunas de Casablanca y Juan Fernández.

En la VIII Región existe muy poca información fuera del área de Talcahuano que permita constatar problemas de calidad de aire por efecto de las emisiones provenientes de la actividad de importantes núcleos urbanos y de industrias, cuyas emisiones pueden impactar en forma significativas zonas de gran extensión.

Las mediciones de material particulado y SO₂ realizadas en Talcahuano entregan antecedentes sobre algunos problemas que pueden tener una extensión regional y otros de una escala muy reducida.

Es muy probable que los problemas más agudos detectados puedan ser resueltos con controles focalizados a fuentes específicas, más que involucrar amplias zonas en planes de manejo de gran envergadura y costo.

Los problemas de mayor alcance y persistencia requieren ser explorados a nivel regional, incluyendo mediciones de calidad de aire, meteorología y caracterización química de material particulado para estudiar la formación de aerosoles secundarios.

No hay mediciones disponibles de ozono en la zona estudiada. El gran desarrollo urbano de Concepción y otros centros poblados, junto con la presencia de la industria petroquímica, constituyen una motivación para la exploración de posibles problemas de ozono en el entorno de grandes centros poblados, pues ambos son fuentes emisoras relevantes de NOx y COV, que son precursores de ozono.

En virtud de los antecedentes expuestos, las recomendaciones de gestión se orientan en primer término a investigar y resolver los problemas agudos por material particulado respirable (MP10) y dióxido de azufre (SO2), que aparentemente son de una escala muy reducida en el sector de San Vicente.

También se detectan problemas por SO2 que pueden ser de una escala mayor, para ello se recomienda ampliar las zonas de vigilancia con mediciones prospectivas en el área de Concepción, al interior del curso del río Bio Bio, Penco, Tomé, y San Pedro.

Tanto el material particulado como el ozono también pueden constituir problemas de gran extensión. En estos casos se recomienda realizar mediciones exploratorias de ozono y material particulado en Concepción, Talcahuano y viento abajo en Penco y Tomé.

Principales resultados y conclusiones del análisis realizado en el presente estudio en cuanto a una Red de Monitoreo Regional para la Macrozona.

Se ha realizado el diseño conceptual de una Red de Monitoreo Regional de la Calidad de Aire que se extiende desde la V Región hasta la VIII Región.

Los principales objetivos planteados para esta red son:

- Evaluación de los niveles actuales de calidad de aire a los cuales está expuesta la población, para estimar riesgos en salud.
- Evaluación de niveles de calidad de aire en sectores rurales, con fines de estimar el riesgo de deterioro de la productividad agrícola y proteger recursos naturales renovables.
- Evaluación del riesgo de deterioro de la calidad del aire en áreas de alta vulnerabilidad a la presencia de contaminantes, particularmente en zonas de paisaje prístino y de especies sensibles a la contaminación.
- Evaluación de los niveles de fondo de calidad de aire y de sus tendencias a mediano plazo, que indicarán tempranamente la posible acumulación de efectos de emisiones distribuidas en áreas geográficas extensas.

Además de los objetivos de monitoreo, hay consideraciones especiales que se toman en cuenta, como aspectos tecnológicos básicos y la existencia de redes públicas y privadas, ubicadas en ciudades y en entornos de grandes fuentes emisoras.

El nivel de recursos que se destina en la actualidad a monitoreo de calidad de aire en la zona del Valle del Aconcagua es alto, encontrándose una gran densidad de puntos de monitoreo en torno a grandes fuentes, y extensas áreas sin cobertura. Se sugiere re-evaluar la totalidad de las redes existentes en la V Región, buscando compatibilizar los objetivos propios de monitoreo de cada fuente emisora, con las recomendaciones de objetivos regionales y localizaciones propuestas. Ello es coherente con la constatación hecha en este estudio en cuanto a que el impacto de las principales fuentes industriales de la región no se limita a su entorno inmediato, sino que abarca al menos el Valle del Aconcagua, superponiéndose al impacto de otras fuentes. Por lo tanto, no es adecuado considerar en forma aislada cada red de monitoreo, sino que es necesario integrarlas al análisis y la gestión de calidad de aire de escala regional, que es un problema multicausal.

Para las estaciones orientadas a la vigilancia de impactos sobre recursos agrícolas y áreas protegidas ubicadas en la VI Región y en la zona Sur de la Región Metropolitana, se propone evaluar la factibilidad de que sean asociadas a la actual red de monitoreo pasivo de la Fundación Caletones. Ello, pues esa fuente parece tener un impacto relevante en las concentraciones de SO₂ sobre las zonas propuestas.

Se recomienda aplicar también el enfoque anterior, es decir, la revisión de la localización de las estaciones actualmente asociadas a grandes fuentes emisoras, a las estaciones en operación ubicadas en la VIII Región. De esta forma se tiende optimizar el uso de recursos ya destinados con fines de monitoreo de calidad de aire en el país.

Se identifican algunos aspectos específicos de mayor detalle espacial que lo que puede entregar la red regional propuesta, los cuales requieren un análisis especial, para lo cual se propone la realización de estudios complementarios, entre ellos:

- Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes.
- Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua.
- Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona.
- Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda.

Perspectivas y Requerimientos Futuros

Finalmente, podemos decir que en el transcurso del año 2001, a través de la aplicación de técnicas exploratorias de monitoreo atmosférico y técnicas simples de modelación, se obtuvo un primer diagnóstico de la contaminación atmosférica para esta zona de Chile y una propuesta de diseño para una red de monitoreo con cobertura regional en zonas suburbanas y rurales. Además, se realizaron recomendaciones específicas de gestión sobre áreas en la V y VIII región donde se constatan o se infieren, sobre la base de antecedentes fundados, la existencia de problemas de calidad de aire.

Este diagnóstico debe ser profundizado, así como también las herramientas desarrolladas para realizarlo. En particular, debe desarrollarse con mayor detalle el diseño de una Red de Monitoreo Regional, incorporando aspectos tecnológicos y económicos que permitan la evaluación de su factibilidad. Esta red, complementaria y coordinada con las redes públicas y privadas ya existentes en la Macrozona Central de Chile, se puede concretar en una propuesta más definitiva a partir de rondas de discusión, seminarios y otras actividades con la participación de todos los actores, empresas, servicios públicos (salud, agrícolas), gobierno, etc,

Para el año 2002, se debe establecer la aproximación metodológica para abordar los impactos sobre la vegetación y la agricultura. El establecimiento de normas secundarias y la evaluación económica de los planes de prevención y descontaminación se ve muchas veces dificultada por la falta de información específica respecto de los efectos sobre las especies cultivadas en Chile y también de la vegetación en general.

Por otra parte, los indicadores biológicos son indicadores tempranos y sistémicos cuya implementación sería beneficiosa para evaluar tempranamente eventuales impactos en varias zonas del país, por ejemplo, las regiones australes. Aquí se requiere establecer diseños metodológicos para la evaluación de estos impactos incluyendo curvas de dosis-respuesta para cultivos relevantes y bioindicadores tales como líquenes y musgos.

Parte importante de las conclusiones obtenidas descansan en los resultados de modelación. En este ámbito, se deberá avanzar en la estimación de contribuciones relativas de grandes fuentes sobre la calidad del aire de la Macrozona así como en la implementación de herramientas de modelación pertinentes a estos fines en toda la Macrozona Central de Chile.

Los antecedentes antes referidos son fundamentales para elaborar normas primarias y secundarias y planes para el control y manejo de los problemas de contaminación fotoquímica y de material particulado fino (PM2.5), todos problemas relevantes en la Macrozona Central de Chile. Todos estos ámbitos son pertinentes a la consecución del objetivo último de este programa, es decir, diagnosticar de modo integral el estado y la sustentabilidad del recurso atmosférico en la Macrozona Central de Chile permitiendo la sustentación técnica de las políticas de desarrollo regional e interregional.

CONTENIDO

1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	1
1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
1.1.1 <i>Objetivo General (para el año 2001)</i>	1
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	1
1.1.3 <i>Resultados esperados</i>	2
1.2 ESTRUCTURA DEL INFORME.....	2
2 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DE AIRE.....	3
2.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RELACIONADA CON MONITOREO ATMOSFÉRICO	3
2.1.1 <i>Antecedentes de monitoreo de calidad de aire y meteorología recopilados</i>	4
2.1.2 <i>Resultados V Región (Valle del Aconcagua)</i>	8
2.1.3 <i>Resultados V Región (Valparaíso y Viña del Mar)</i>	27
2.1.4 <i>Resultados VIII Región (Gran Concepción)</i>	30
2.1.5 <i>Red de tubos pasivos instalada por el proyecto</i>	36
2.2 RÉGIMEN DE VIENTOS TÍPICOS EN LA ZONA CENTRAL.....	40
2.2.1 <i>Disponibilidad de información</i>	40
2.2.2 <i>Patrones de flujos de aire típicos de condiciones diurnas y nocturnas</i>	41
2.3 ESTIMACIONES DE EMISIONES	45
2.3.1 <i>V Región</i>	46
2.3.2 <i>Región Metropolitana</i>	48
2.3.3 <i>VI Región</i>	50
2.3.4 <i>VIII Región</i>	51
2.3.5 <i>Comparación de Inventarios</i>	51
2.3.6 <i>Conclusiones</i>	52
2.4 MODELACIÓN ATMOSFÉRICA.....	54
2.4.1 <i>Campos de viento V Región</i>	54
2.4.2 <i>Trayectorias Valle del Aconcagua</i>	58
2.4.3 <i>Campos de viento VIII Región</i>	60
2.4.4 <i>Trayectorias VIII Región</i>	65
3 ANTECEDENTES PARA DELIMITAR ZONAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE	67
3.1 INTRODUCCIÓN	67
3.2 V REGIÓN-VALLE DEL ACONCAGUA.....	68
3.2.1 <i>Material Particulado (MP10)</i>	71
3.2.2 <i>Dióxido de Azufre (SO₂)</i>	79
3.2.3 <i>Ozono</i>	88
3.3 RECOMENDACIONES V REGIÓN.....	95
3.4 VIII REGIÓN-AREA GRAN CONCEPCIÓN	99
3.4.1 <i>Material Particulado Respirable (MP10)</i>	100
3.4.2 <i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	104
3.5 RECOMENDACIONES VIII REGIÓN.....	108
4 PROPOSICIÓN DE UNA RED DE MONITOREO REGIONAL DE CALIDAD DE AIRE PARA LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE Y MEDICIONES COMPLEMENTARIAS.....	111
4.1 ANTECEDENTES.....	111
4.2 EXTENSIÓN DE LA ZONA CUBIERTA POR LA RED REGIONAL	112
4.3 MEDICIONES DE CALIDAD DE AIRE EN LA MACROZONA CENTRAL	113
4.4 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA RED REGIONAL DE CALIDAD DE AIRE.....	115
4.4.1 <i>Objetivos del monitoreo de calidad de aire</i>	115

4.4.2	Objetivos principales de una red de monitoreo.....	115
4.4.3	Consideraciones especiales.....	116
4.4.4	Criterios para seleccionar áreas para ubicación de estaciones de monitoreo.....	116
4.4.5	Relación con las redes de monitoreo existentes.....	117
4.4.6	Tipos de estaciones de monitoreo de calidad de aire.....	117
4.5	RED REGIONAL DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE PROPUESTA.....	118
4.6	ESTUDIOS ESPECIALES COMPLEMENTARIOS A LA RED REGIONAL.....	129
4.6.1	Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes.....	129
4.6.2	Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua.....	129
4.6.3	Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona.....	129
4.7	DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE DEPOSICIÓN SECA Y HÚMEDA.....	130
4.8	REFERENCIAS.....	131
5	RESUMEN DE PROPOSICIONES.....	133
5.1	PROPOSICIÓN PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN REPORTADA POR REDES DE MONITOREO PRIVADAS.....	133
5.2	PROPOSICIÓN PARA ESTANDARIZAR LOS PROCEDIMIENTOS DE GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AIRE.....	133
5.3	PROPOSICIÓN PARA OPTIMIZAR LAS REDES DE MONITOREO DE OZONO Y PRECURSORES EN EL VALLE DEL ACONCAGUA.....	134
5.4	MONITOREO DE SO ₂ EN EL ENTORNO DE RPC.....	134
5.5	MONITOREO DE SO ₂ EN EL ENTORNO DE VENTANAS.....	134
5.6	MONITOREO DE SO ₂ EN EL ENTORNO DE CHAGRES.....	135
5.7	MEJORAMIENTO DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA EN EL VALLE DEL ACONCAGUA.....	135
5.8	CAMPAÑA DE MEDICIONES METEOROLÓGICAS EN ALTURA EN LA V REGIÓN.....	135
5.9	MEDICIONES METEOROLÓGICAS EN LA VIII REGIÓN.....	135
5.10	MODELAMIENTO METEOROLÓGICO DE CAMPOS DE VIENTO.....	136
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
6.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	137
6.2	ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	138
6.3	MODELACIÓN ATMOSFÉRICA.....	139
6.3.1	Campos de vientos V Región-Valle del Aconcagua.....	139
6.3.2	Trayectorias en V Región-Valle del Aconcagua.....	140
6.3.3	Campos de viento VIII Región-Gran Concepción.....	141
6.3.4	Trayectorias VIII Región-Gran Concepción.....	141
6.4	ANTECEDENTES PARA DECLARACIÓN DE ZONAS SATURADAS.....	142
6.4.1	V Región-Valle del Aconcagua.....	142
6.4.2	VIII Región-Gran Concepción.....	143
6.5	PROPOSICIÓN DE UNA RED REGIONAL DE MONITOREO.....	144
6.6	ESTUDIOS ESPECIALES COMPLEMENTARIOS A LA RED REGIONAL.....	146
6.6.1	Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes.....	146
6.6.2	Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua.....	146
6.6.3	Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona.....	146
6.6.4	Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda.....	146
6.7	RESUMEN DE RECOMENDACIONES.....	147
	Optimización de redes de monitoreo en la V Región.....	147

ANEXOS

- A. Recopilación y análisis de información de calidad de aire y meteorología
- B. Mediciones meteorológicas realizadas durante el proyecto
- C. Campaña exploratoria de contaminantes gaseosos mediante tubos pasivos
- D. Campaña exploratoria de contaminantes inorgánicos en aguas lluvia en Santiago
- E. Modelaciones atmosféricas
- F. Estimación de emisiones a la atmósfera

DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE

AÑO 2001: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

INFORME FINAL

1 Antecedentes del estudio

El Centro Nacional del Medio Ambiente está desarrollando el estudio "Diagnóstico integral de la contaminación atmosférica en la Macrozona Central de Chile", para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, cuyo objetivo general es aportar antecedentes técnicos para la gestión integral del recurso aire en la zona central de Chile. El Año 2001 se ha desarrollado la fase de diagnóstico preliminar de calidad de aire, primera parte de un programa que se extiende por cinco años.

Este Informe Final da cuenta del trabajo realizado en esta primera fase.

En el informe se presentan los resultados de las diferentes actividades desarrolladas en el proyecto durante este período, que corresponden a:

- Recopilación y análisis de información relacionada con monitoreo atmosférico.
- Mediciones meteorológicas, de calidad de aire y de composición química de aguas lluvia.
- Modelaciones atmosféricas.
- Antecedentes para declaración de zonas saturadas.

Se incluyen además propuestas para mejorar la información que entregan las redes de monitoreo privadas instaladas en la región.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo General (para el año 2001)

Realizar un diagnóstico preliminar de la contaminación atmosférica en la macrozona central de Chile.

1.1.2 Objetivos específicos

- Recopilar, analizar y evaluar información relevante sobre monitoreo atmosférico disponible en los organismos públicos y en la literatura especializada.
- Implementar un programa de monitoreo exploratorio para evaluar posibles sitios de una red regional de monitoreo atmosférico (meteorológico y de calidad del aire) y proponer un pre-diseño conceptual de red regional de monitoreo.

- Evaluar e interpretar con ayuda de modelos de dispersión, análisis estadísticos, etc., los datos recolectados, en particular, para las zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua y el Gran Concepción.
- Estimar la extensión de las zonas saturadas por dióxido de azufre (SO₂) y material particulado respirable (PM10) en el Valle del Aconcagua (V Región) y por SO₂ en la zona del Gran Concepción (VIII Región).

1.1.3 Resultados esperados

- Evaluación y catastro preliminar de los datos atmosféricos, incluyendo estimaciones de emisiones disponibles en Chile central, con énfasis en aspectos de representatividad y calidad.
- Diagnóstico preliminar de la calidad del aire en el área de estudio, incluyendo su variabilidad interanual, estacional y diurna.
- Evaluación a partir de técnicas exploratorias (tubos pasivos) de al menos cuatro puntos de monitoreo representativos de niveles regionales (suburbanos o rurales).
- Diseño conceptual de una red regional de monitoreo, que incluirá los objetivos del monitoreo, los contaminantes a monitorear, la ubicación de puntos de monitoreo, las metodologías de medición, alternativas de instrumental, consideraciones logísticas, etc.
- Estimación de la extensión de zonas potencialmente saturadas en el Valle del Aconcagua (por SO₂ y PM10) y el Gran Concepción (por SO₂).
- Presentaciones de resultados del proyecto, a través de seminarios, documentos y publicaciones.

1.2 Estructura del informe

El Informe incluye los principales resultados obtenidos en el estudio. Está organizado en los siguientes Capítulos:

1. Antecedentes y objetivos del estudio.
2. Diagnóstico preliminar de la calidad del aire.
3. Antecedentes para delimitar zonas de gestión de calidad de aire en las regiones V y VIII.
4. Proposición de una red regional de monitoreo de calidad de aire y mediciones complementarias.
5. Resumen de proposiciones.
6. Conclusiones y recomendaciones.

En Anexos se presentan detalles de la metodología usada en cada parte y resultados específicos:

- A. Recopilación y análisis de información de calidad de aire y meteorología.
- B. Mediciones meteorológicas realizadas durante el proyecto.
- C. Campaña exploratoria de contaminantes gaseosos mediante tubos pasivos.
- D. Campaña exploratoria de contaminantes inorgánicos en aguas lluvia en Santiago.
- E. Modelaciones atmosféricas.
- F. Estimación de emisiones a la atmósfera.

2 Diagnóstico preliminar de la calidad de aire

El diagnóstico preliminar del estado de la calidad de aire en la Macrozona Central incluye los siguientes aspectos:

- Análisis de información relevante de calidad de aire disponible en organismos públicos y en literatura especializada
- Análisis de patrones de viento en la zona, con las observaciones meteorológicas disponibles.
- Aplicación de modelos meteorológicos para construcción de campos de viento y trayectorias de masas de aire.
- Recopilación de información de emisiones disponible para la zona.

El énfasis de este diagnóstico preliminar está centrado en las regiones V y VIII.

En esta sección se presentan antecedentes y resultados generales de la recopilación y generación de información del estudio. Un análisis más detallado que integra los aspectos de observaciones de calidad de aire y meteorología, emisiones, campos de viento y trayectorias se encuentran en el Capítulo 3: Antecedentes para delimitar zonas de gestión de la calidad del aire.

2.1 Análisis de información relacionada con monitoreo atmosférico

Se recopiló la información para el período 1997 a 2001 de calidad de aire y meteorología disponible en las oficinas regionales de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en las regiones V, VI y VIII.

La información corresponde principalmente a los datos de las redes de monitoreo existentes en las regiones V, VI y VIII y a la información de campañas exploratorias de calidad de aire realizadas por el Proyecto COSUDE (Cooperación Suiza para el Desarrollo).

Además, se recopiló otros estudios de calidad de aire que entregan información relevante para el diagnóstico preliminar de la calidad de aire. Estos estudios están disponibles en Internet, en las bibliotecas de universidades, en los centros de documentación de CONAMA y en las referencias bibliográficas de los estudios encontrados. Los estudios se pueden dividir en:

- Planes de descontaminación.
- Estudios de impacto ambiental, con componente aire.
- Estudios o campañas de medición realizados por y para CONAMA.
- Proyectos de investigación, realizados principalmente por las Universidades nacionales.
- Memorias de titulación o tesis de Grado.
- Publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

2.1.1 Antecedentes de monitoreo de calidad de aire y meteorología recopilados

Recopilación de antecedentes en el Valle del Aconcagua, V Región:

Información de las redes de monitoreo de la V Región y campañas de medición del proyecto COSUDE:

- Red de monitoreo permanente del Complejo Industrial de Ventanas, que abarca la zona circundante al complejo, en áreas jurisdiccionales de las comunas de Quintero y Puchuncavi, de acuerdo a límites específicos. Esta zona fue declarada Saturada por Dióxido de Azufre (SO₂) y Material particulado respirable menor a 10 micrones (MP10) (D.S. 346/93 Min. de Agricultura). Medición de SO₂, MP10 y variables meteorológicas. Estaciones: La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y Villa Alegre. Las estaciones, excepto la estación Sur están consideradas como estaciones de monitoreo con representatividad poblacional según resolución N°1924 del 29/08/2000 del Servicio de Salud Viña del Mar-Quillota.
- Red de monitoreo de Fundición Chagres, que comprende la localidad de Chagres (comuna de Catemu), Llayllay, Romeral y Lo Campo. La localidad de Chagres fue declarada latente de SO₂ (D.S.185/91 Min. de Minería). Medición de SO₂, MP10 y variables meteorológicas.
Estaciones: Lo Campo, Romeral, Santa Margarita y Chagres
- Red de monitoreo de las Centrales termoeléctricas San Isidro y Nehuenco, en la zona de Quillota, Limache y San Pedro. Medición de SO₂, Ozono (O₃), óxidos de Nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x), MP10 y variables meteorológicas (resolución exentas N° 02 y 03, mayo 1997).
Estaciones: Bomberos, Limache, San Pedro, UCV, Cajón San Pedro y Nehuenco
- Red de monitoreo de Cemento Melón, que comprende la zona de La Calera e Hijuelas. Medición de SO₂, O₃, óxidos de nitrógeno, MP10 y variables meteorológicas.
Estaciones: La Calera, Hijuelas y Planta Melón
- Estación Campiche de PACSA (Ex Cordex), en Ventanas. Medición de SO₂, O₃, óxidos de nitrógeno, MP10 y variables meteorológicas.
- Estación de Refinería de Petroleos de Concón, en Concón. Medición de SO₂, MP10 y variables meteorológicas.
- Mediciones con tubos pasivos, que corresponden a muestreos mensuales o semanales para SO₂, NO₂ y O₃ realizadas principalmente a través del proyecto COSUDE en Valparaíso y Viña del Mar.

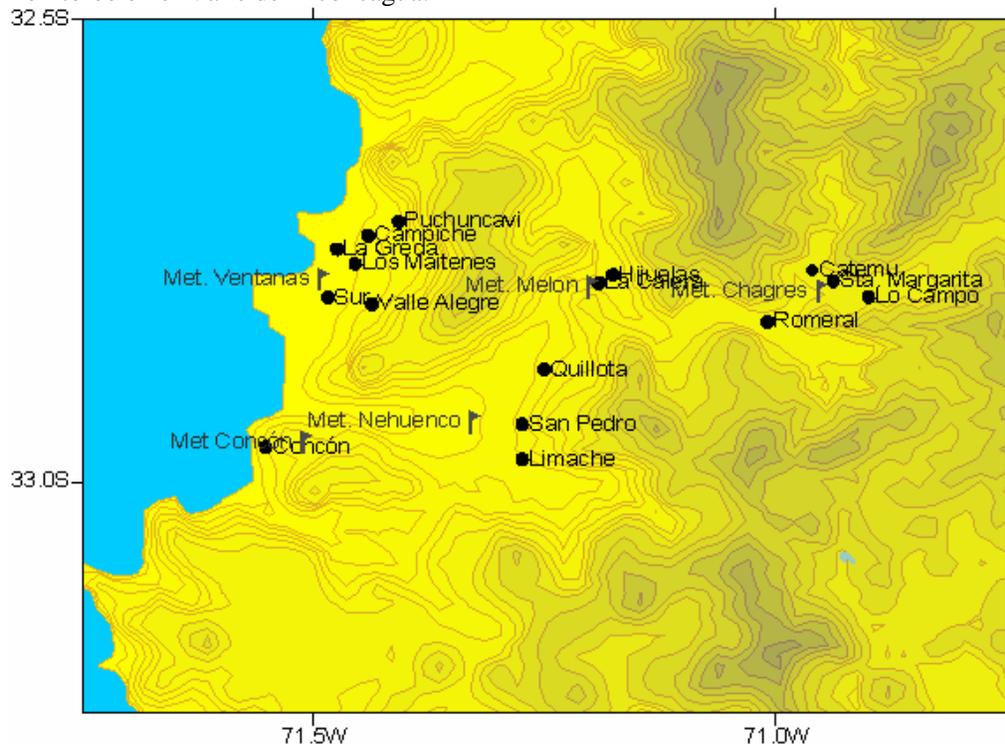
Recopilación de antecedentes en el Gran Concepción

Esta información principalmente corresponde a las mediciones en Talcahuano, Complejo industrial Petrox y Coronel:

- Mediciones continuas de meteorología y calidad de aire (SO₂ y MP10) del Complejo Industrial Petrox.
- Mediciones continuas de SO₂ en red CONAMA
- Mediciones con tubos pasivos de SO₂, NO₂ y BTX en red Petrox.
- Mediciones continuas de variables meteorológicas y muestreos de SO₂ y MP10 en Coronel
- Muestreos con tubos pasivos de SO₂ y NO₂ en Talcahuano.

- Muestréos de MP10 y MP2.5 en Talcahuano
- Campañas con tubos pasivos de SO2 en Lirquén (Comuna de Penco)

Las figura siguiente presentan la ubicación de las estaciones de las diferentes redes de monitoreo en el Valle del Aconcagua:



Estaciones monitoras de calidad de aire y meteorología en el Valle del Aconcagua

En el anexo A se entrega un mayor detalle de la información recopilada

2.1.1.1 Análisis de antecedentes de calidad de aire y meteorología

Los datos de las redes de monitoreo recopilados corresponden a información validada que entregaron las redes respectivas a los organismos fiscalizadores (Servicio Agrícola Ganadero, Servicio de Salud, CONAMA).

Originalmente, se consideró realizar una validación de los datos recopilados. Para esta actividad se requería contar con los datos crudos de los monitoreos e información adicional relativa a las calibraciones, mantención de equipos y auditorías. Sin embargo, solamente fue posible recopilar información ya validada por los operadores de las redes de monitoreo y entregada en forma oficial a los organismos fiscalizadores. Por lo tanto, la etapa de validación de datos solo consideró una revisión de los datos a fin de detectar errores e inconsistencias de información.

El despliegue de los datos en series de tiempo permitió, además, detectar:

- Corrimiento de Cero.
- Saturación de monitores
- Valores escapados

No se realizó una aplicación de factores de corrección a la información al considerar que la información ya fue recibida conforme por los organismos pertinentes y ha sido utilizada para la gestión ambiental. Sin embargo, para evitar situaciones similares en el futuro es necesario un mayor control de la información que está siendo generada por las redes de monitoreo, a fin de detectar con prontitud cualquier anomalía en los datos y aplicar las medidas de corrección.

Este proyecto no incluyó una evaluación en terreno de las redes de monitoreo y sus estaciones. Luego, para evaluar la representatividad de las estaciones se recurrió a otros estudios, entre ellos destaca “Diagnóstico, Evaluación y Proposición de Mejoramiento de Redes de Monitoreo de Agua y Aire” realizado por SGS Ecocare para CONAMA.

Del estudio se desprende que la mayoría de las estaciones de monitoreo se encuentran en buenas condiciones y cuentan con equipos de monitoreo que cumplen las recomendaciones de Agencia del Medio Ambiente de Estados Unidos (US EPA). Los procedimientos de calibración de los monitores son adecuados, aunque la frecuencia varía entre las redes (cada 2 meses en red Chagres, cada 4 meses en red Enami-Ventanas). La instalación y el lugar de medición cumple con los criterios relacionados con salud de las personas, a pesar que algunos lugares tienen algunas irregularidades como insuficiente altura de muestreo, proximidad a fuentes móviles y cercanía de árboles. (García-Huidobro, 2001).

2.1.1.2 Análisis de otros antecedentes.

Se ha generado una lista con las referencias encontradas.

De la lista de “referencias” se han identificado algunos estudios que aportan antecedentes para el objetivo principal del Diagnóstico Preliminar de la calidad de Aire. Entre estos estudios destacan:

- Informes del Proyecto “Propuesta de Implementación de Normas Atmosféricas para Fuentes Fijas a Nivel Nacional y Recopilación de Información de Soporte Económico para la Dictación de una Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas”.
- Los informes del “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano – Industriales de Chile”. Proyecto COSUDE (años 1997 a 2000).
- Informes del proyecto “Antecedentes para la Revisión de las Normas de Calidad de Aire contenidas en la Resolución N° 1215 del Ministerio de Salud, 1978” desarrollado por SGA para CONAMA en 1998.
- Informe País, Estado del medio ambiente en Chile – 1999.
- Diagnóstico, Evaluación y Proposiciones de Mejoramiento de Redes de Monitoreo de Agua y Aire, desarrollado por SGS Ecocare para CONAMA.
- Los Planes de descontaminación y prevención vigentes y los respectivos informes del seguimiento de valores de contaminación atmosférica (ENAMI-Ventanas, Chagres, Melón, Nehuenco-San Isidro, PACSA, RPC, Caletones, Renca, Petrox, PPDA Región Metropolitana, etc.)

Se incluye como anexo fichas resumen de los proyectos más importantes. Esa información apoya la elaboración y discusión del diagnóstico de la calidad de aire, la estimación de zonas saturadas y el pre-diseño de la red regional de monitoreo.

2.1.2 Resultados V Región (Valle del Aconcagua)

La Tabla 2-1 presenta las coordenadas geográficas (UTM) y los parámetros medidos en las estaciones de monitoreo de la V Región. En el Anexo *Análisis de recopilación de información* se entrega mayor detalle.

Tabla 2-1 Estaciones de monitoreo en V Región

Nombre Estación	Coordenadas estación		Variables medidas
	E (Km)	N (Km)	
Red Termoeléctricas			
Quillota – INP *			SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Quillota Bomberos	289.500	6359.900	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Cajón San Pedro*	291.870	6351.320	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
UCV *	292.200	6360.500	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Limache	287.500	6349.100	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Nehuenco	282.610	6353.510	WS, WD, Temp, HR, Rad, precip
San Pedro	287.390	6353.320	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
PACSA			
Campiche			SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD,
Complejo Industrial Ventanas			
La Greda	268.204	6373904	SO ₂ , MP10, WS, WD
Los Maitenes	270.075	6372161	SO ₂ , MP10, WS, WD
Puchuncavi	274.376	6377.316	SO ₂ , MP10, WS, WD
Sur	267.434	6368.062	SO ₂ , MP10, WS, WD
V. Alegre	271.887	6367.407	SO ₂ , MP10, WS, WD
Meteo. principal			WS, WD, Rad, HR, Temp, Pres
Fundición Chagres- Compañía Minera Disputada de las Condes			
Catemu	316.155	6371.477	SO ₂ , MP10
Lo Campo	32211.1	6369.255	SO ₂ , MP10
Romeral	311.972	6366.108	SO ₂ ,
Sta. Margarita	318.505	6371.094	SO ₂ ,
Meteo. Principal			WS, WD, Temp, Rad
Cemento Melón			
Hijuelas	296.210	6.371.420	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
La Calera	294.820	6.370.430	SO ₂ , O ₃ , NO, NO ₂ , MP10, WS, WD
Meteo. Principal	294.110	6.369.950	WS, WD, Rad, HR, Temp, Pres, Precip
RPC			
Concón	261.500	6350.000	SO ₂ , MP10, WS, WD, Rad, HR, Temp.

Donde WS: Velocidad del viento, WD: Dirección del viento, Temp: Temperatura Rad: Radación
 HR: Humedad relativa, Pres: Presión, Precip: Precipitación

La red de ENAMI-ventanas registra datos de calidad de aire y meteorología desde 1994. Se recopilaron datos continuos (promedios horarios) desde 1997 para SO₂ y Meteorología y datos de muestreos de MP10 desde abril de 2000. Se recopiló, además, información de valores máximos mensuales de MP10 y de promedios mensuales de SO₂, valores horarios y diarios máximos mensuales, días con excedencias de normas horaria y diaria para el periodo 1996 y 2000.

La red de fundición Chagres reporta datos de calidad de aire y meteorología desde enero de 1993. Se recopilaron datos continuos (promedios horarios) desde enero de 1998 para SO₂, desde enero de 1999 para Meteorología y datos de muestreos de MP10 desde enero de 2000. Se recopiló, además, información de valores máximos mensuales de MP10 y de promedios mensuales de SO₂, valores horarios y diarios máximos mensuales, días con excedencias de normas horaria y diaria para el periodo 1994 y 2000.

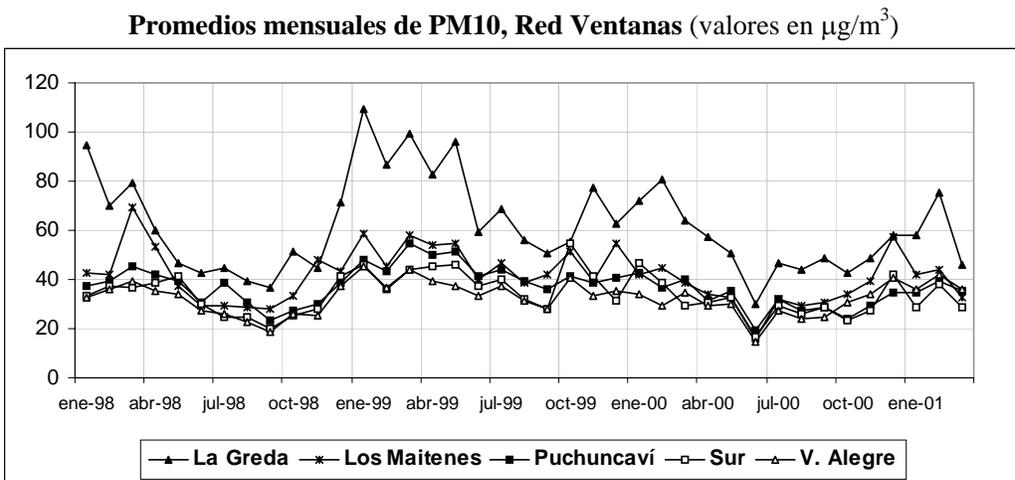
La red de Cemento Melón reporta datos de calidad de aire y meteorología desde junio de 1999. Se recopiló toda la información disponible para las estaciones de calidad de aire. Sin embargo, para la estación meteorológica principal solo se recopiló a partir de junio de 2000.

La red de monitoreo conjunto de las centrales termoléctricas San Isidro y Nehuenco reporta datos desde octubre de 1998. Se recopiló toda la información disponible hasta marzo de 2001, correspondiente a las 2 estaciones fijas y 1 estación móvil.

La estación de la Refinería de Petróleos de Concón reporta datos desde octubre de 1995. Se recopilaron datos continuos (promedios horarios) desde abril de 2000 a marzo de 2001 para SO₂ y Meteorología y datos de muestreos de MP10.

2.1.2.1 Estado de calidad de aire para material particulado, MP10

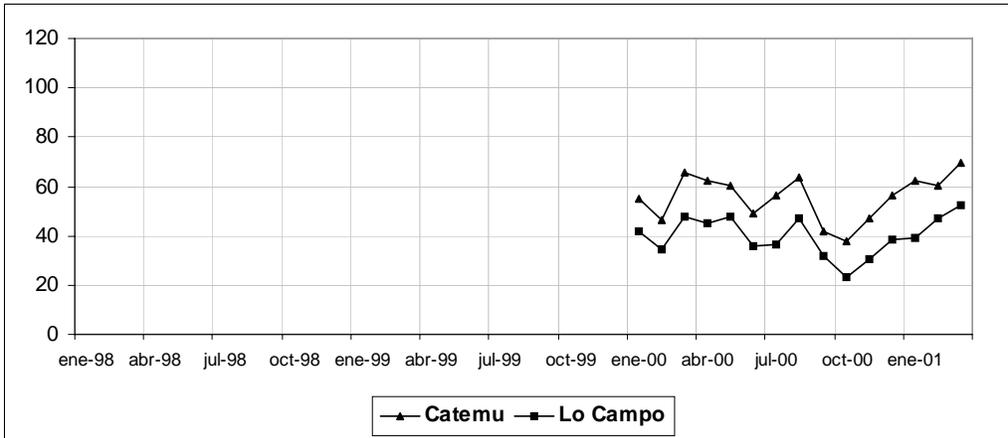
Los gráficos siguientes presentan las tendencias de los promedios mensuales de material particulado para el período enero 1998 a marzo de 2001. Los promedios mensuales fueron calculados con la información de los muestreos de 24 horas, cada 3 días, realizados con equipos de alto volumen en las estaciones de las redes de monitoreo.



En la red de Ventanas se aprecia una leve tendencia a la disminución de los promedios, principalmente en los valores máximos de la estación La Greda. No se aprecia un ciclo anual muy marcado, pero sí valores altos en meses de verano y bajos en meses de invierno.

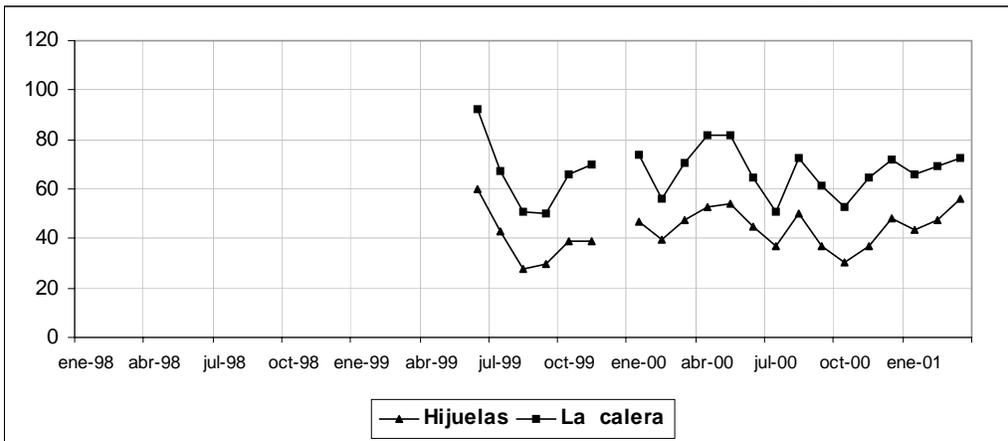
Las estaciones Los Maitenes, Puchuncaví, Sur y V. Alegre registran un comportamiento y valores similares, mientras que la estación La Greda registra un comportamiento similar al resto de las estaciones, pero con valores mayores (diferencias del orden de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Promedios mensuales de PM10, Red Chagres (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



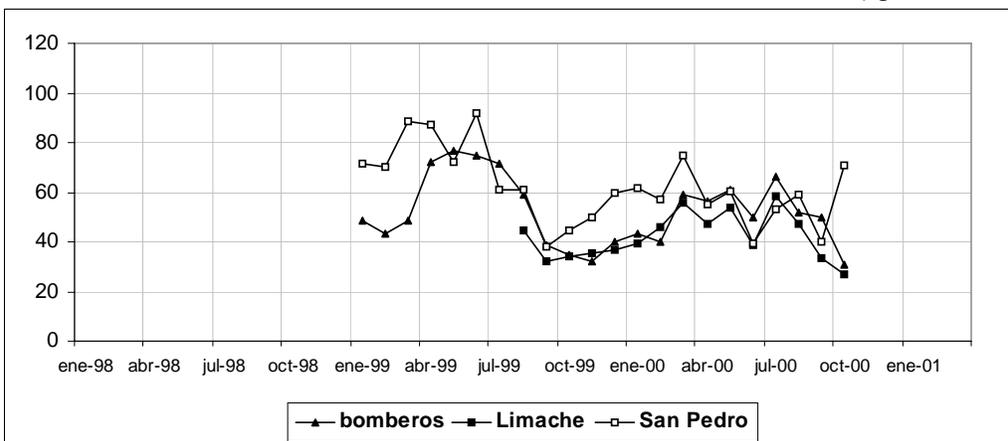
En la red de Chagres no se aprecia tendencia en el comportamiento de los valores. Existe una correspondencia entre los valores medidos en las estaciones, pero los valores de la estación Catemu son en promedio $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayores que los registrados en Lo Campo. En la estación Catemu, los promedios mensuales se mantienen sobre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante gran parte de los meses del año

Promedios mensuales de PM10, Red Melón (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



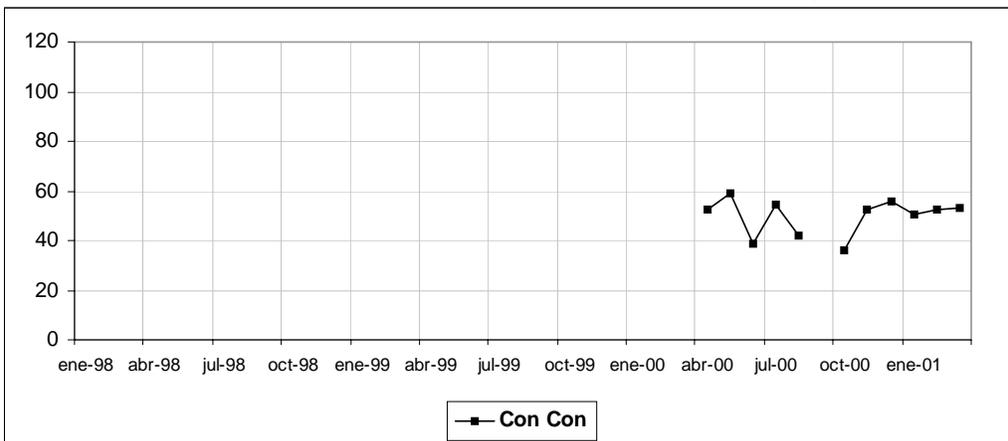
En la red de Melón no se aprecia tendencia en el comportamiento de los valores. Existe una correspondencia entre los valores medidos en las estaciones, pero los valores de la estación La Calera son en promedio $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayores que los registrados en Hijuelas. El valor anual supera la norma.

Promedios mensuales de PM10, Red Termoeléctricas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



En la red de las termoeléctricas los valores muestran un leve descenso con respecto al año 1999. No se aprecia un ciclo anual marcado, pero si una ocurrencia de valores bajos en octubre. Los valores son mayores en la estación San Pedro. En general, los valores oscilan entre 30 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Promedios mensuales de PM10, Red RPC (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Durante el año 2000, los promedios mensuales en la estación de RPC se mantienen entre 40 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo menores en meses de invierno, probablemente por efecto de días con lluvia. No hay información de años anteriores para verificar alguna tendencia.

Excedencia de normas para MP10

Las normas de calidad de aire vigentes en Chile para material particulado se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2-2 Normas primarias de calidad de aire vigentes en Chile para MP10

Contaminante	Valor	Periodo de evaluación	Forma de verificación
Material particulado respirable (MP10)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio aritmético móvil o en bloque de 24 hrs.	Percentil 98 de concentraciones de 24h de un año o más de 7 días en un año
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio aritmético de tres años	Datos de año 2002 en adelante

Tabla 2-3 Excedencias de normas de MP10

Estaciones	Año	Promedio Anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valor diario Máximo	Excede valor norma diaria (veces)
Red Complejo Industrial Ventanas				
Puchuncavi	1997	s/i	78	0
	1998	44	99	0
	1999	35	95	0
	2000	32	75	0
Los Maitenes	1997	s/i	115	0
	1998	49	194	1
	1999	42	212	2
	2000	36	134	0
La Greda	1997	s/i	288	4
	1998	75	216	9
	1999	59	170	4
	2000	54	134	0
Valle Alegre	1997	s/i	88	0
	1998	37	75	0
	1999	31	67	0
	2000	29	70	0
Est. Sur	1997	s/i	77	0
	1998	40	131	0
	1999	32	110	0
	2000	31	171	1
Red Melón				
Calera	1999	65	90	0
	2000	67	121	0
Hijuelas	1999	39	93	0
	2000	44	93	0
Red Chagres				
Catemu	2000	54	98	0
Lo Campo	2000	39	87	0
Red Refinería de petróleos de Concón				
CONCON	2000*	49.7	102	0
Red de Centrales Termoeléctricas				
Bomberos	2000	51	111	0
Limache	2000	45	102	0
San Pedro	2000	58	137	0

s/i: no se encontró información

* en Concón período entre abril de 2000 a marzo de 2001

Durante el año 2000, las estaciones Bomberos de Quillota, San Pedro, Catemu, Calera y La Greda registraron promedios superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Incluso en La Greda y Calera los promedios anuales de los años anteriores también fueron sobre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De mantenerse los niveles actuales, se excederá la norma anual a fines del 2004. (la Norma es válida para información generada a partir del 1 de enero de 2002)

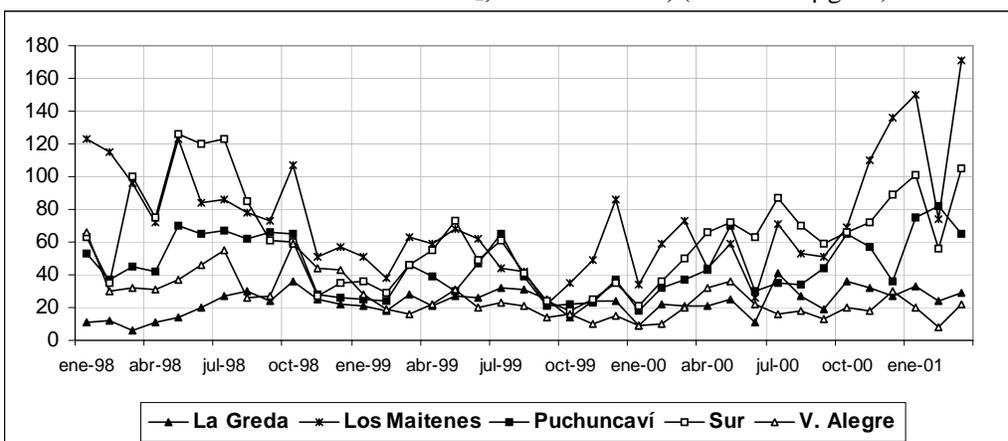
La estaciones Hijuelas, Concón y Limache tienen promedios superiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, luego de mantenerse las condiciones, los niveles registrados corresponderían a una condición de latencia por MP10. La estación Concón incluso podría llegar a niveles de saturación si no se toman las medidas tendientes a disminuir las concentraciones de MP10.

Durante el año 2000, solamente la estación La Greda de la red Ventanas tiene 1 caso de concentraciones diarias de MP10 mayores a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no hay superación de la norma de 24h..

2.1.2.2 Estado de calidad de aire para SO_2

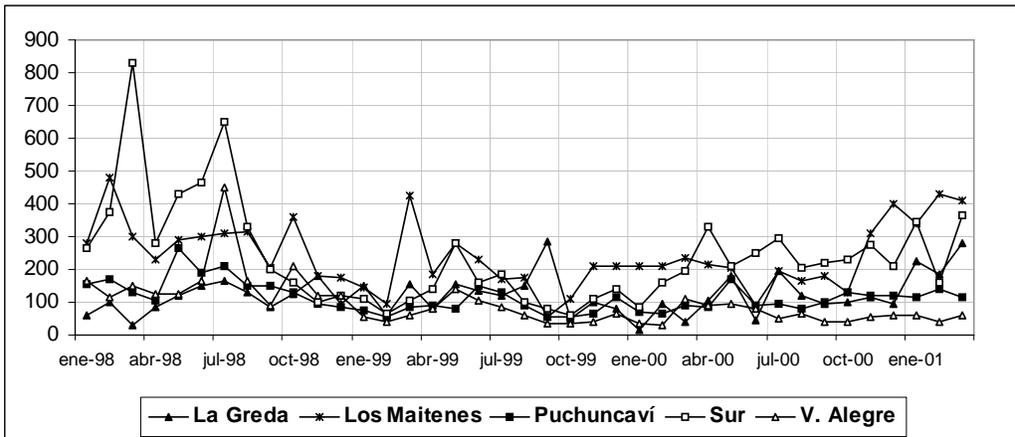
Los gráficos siguientes presentan las tendencias de los promedios mensuales de SO_2 para el período enero 1998 a marzo de 2001. Los gráficos fueron construidos con la información de los monitoreos continuos (promedios de 1h) realizados en las estaciones de las redes de monitoreo. Como Anexo se presentan los gráficos para los valores máximos de 24 para cada mes.

Promedios mensuales de SO_2 , Red Ventanas, (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



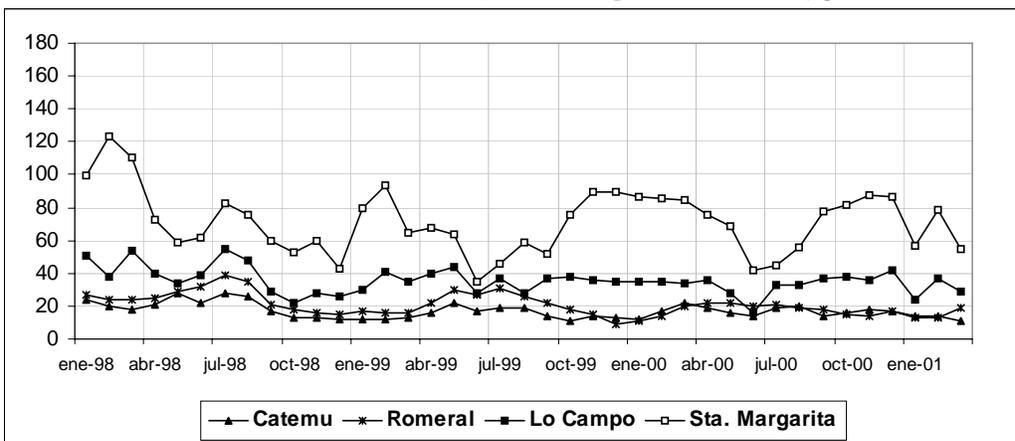
A partir de octubre de 1999, en la red de Ventanas se aprecia un crecimiento de los valores. Los promedios registrados en el verano del 2001 son similares (e incluso superiores en Los Maitenes) a los valores del año 1999. Durante el año 2000 en las estaciones Los Maitenes y Sur se alcanzan valores de latencia.

Máximos promedios 24h para cada mes de SO₂, enero 1998 a marzo de 2001
 (valores en µg/m³)



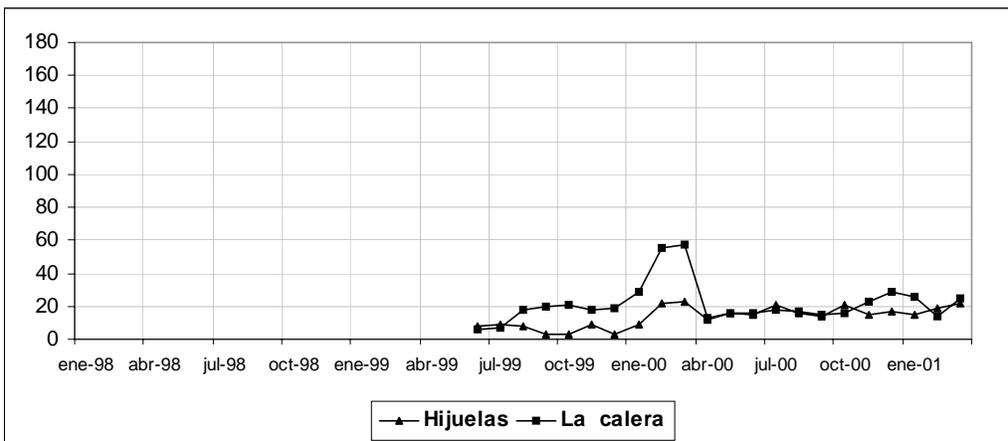
El gráfico anterior presenta el valor máximo (promedio de 24 horas) registrado en cada mes. Se aprecia que las estaciones Sur y Los Maitenes registran los valores más altos, superando incluso el valor 365 µg/m³ fijado por la norma. Al considerar que la norma propuesta para promedios de 24 horas fija un valor menor (250µg/m³), existe un mayor número de días que superan este nuevo valor.

Promedios mensuales de SO₂, Red Chagres, (valores en µg/m³)



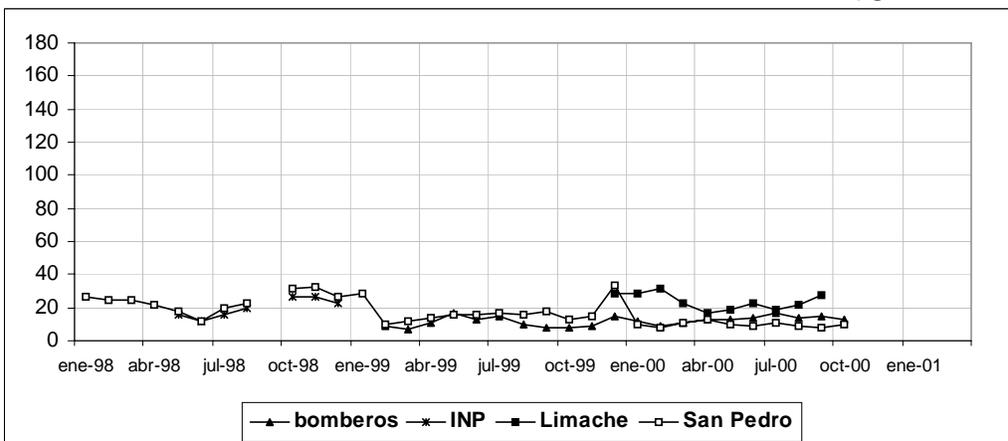
En la red de Chagres no se aprecia tendencia en los valores mensuales. Los valores se mantienen menores a 40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones Catemu, Romeral y Lo Campo, en cambio en Santa Margarita los valores superan 80 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante algunos meses del año. Los valores promedios diarios no superan la norma. El máximo registrado es del orden de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, durante los últimos años, la estación Sta. Margarita tiene valores promedios anuales muy cercanos a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, quedando en el nivel de latencia por SO_2 .

Promedios mensuales de SO_2 , Red Melón, (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



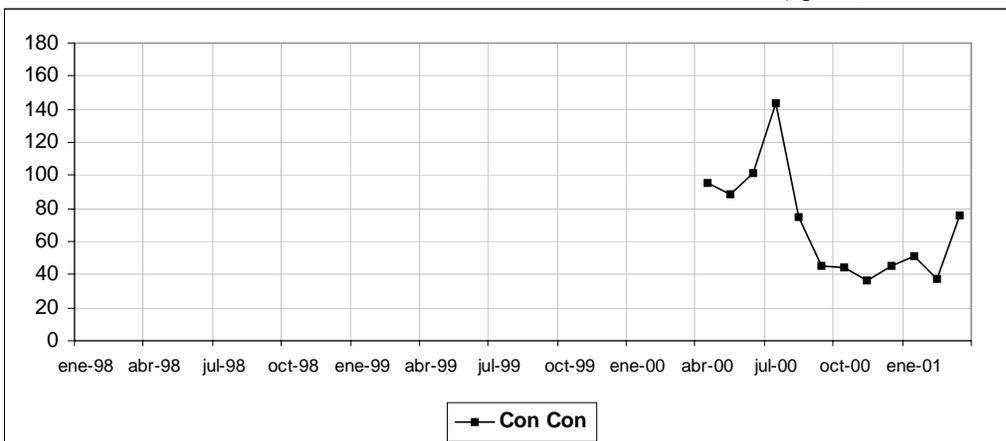
En la red de Melón los valores se mantienen muy similares durante el año 2000, a excepción de una condición de valores altos en enero, febrero y marzo en la estación La Calera, esta situación no se repitió durante el año 2001. Durante los últimos 12 meses los valores se mantienen en ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El máximo promedio diario registrado es del orden de ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Promedios mensuales de SO_2 , Red Termoeléctricas, (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Durante gran parte de los meses los promedios mensuales en la red de las termoeléctricas son menores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores son muy similares entre las estaciones. Los promedios diarios también son bajos. El valor promedio diario más alto registrado durante el año 2000 es menor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Promedios mensuales de SO_2 , Red RPC, (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



No se dispone de información de años anteriores para Concón, luego, no se puede verificar tendencias. Los valores altos registrados en el invierno del 2000 elevan el promedio anual a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy cerca del valor de la norma.



El gráfico de series de promedios diarios en Concón muestra valores muy cercanos al valor fijado para la norma diaria. Sin embargo, al considerar la nueva norma de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este valor es excedido durante 10 días entre abril y agosto de 2000.

Excedencia de norma de SO₂

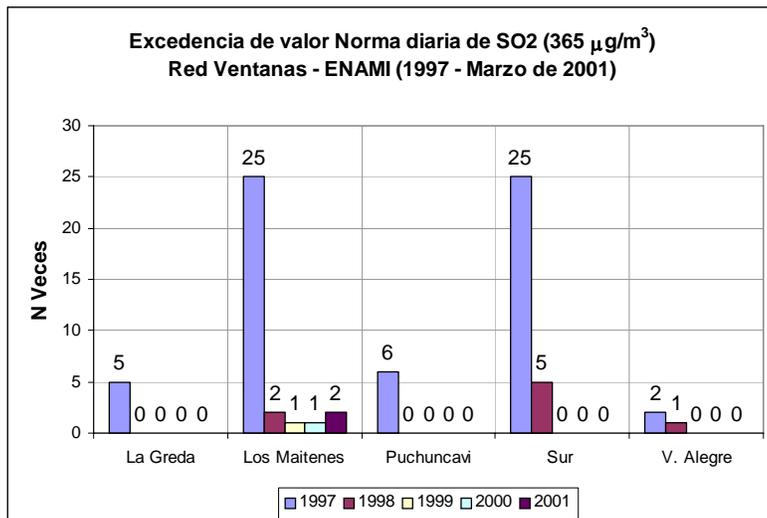
El D.S 185 del Ministerio de Minería establece norma primaria en 80 µg/m³ para promedio anual y 365 µg/m³ para promedio diario, pudiéndose superar este valor solo un día en el año. Además, establece una norma secundaria para promedios horarios de 1000 µg/m³ para la zona norte.

Actualmente, las normas están en revisión y es muy probable que se apruebe una nueva norma para promedios diarios en 250 µg/m³. Esta norma es excedida si el promedio aritmético del percentil 99 de los promedios diarios de los 3 últimos años es mayor a 250 µg/m³. En cambio, para el promedio anual se mantiene el valor en 80 µg/m³, pero se considera excedencia si el promedio de los últimos 3 años es mayor a 80 µg/m³.

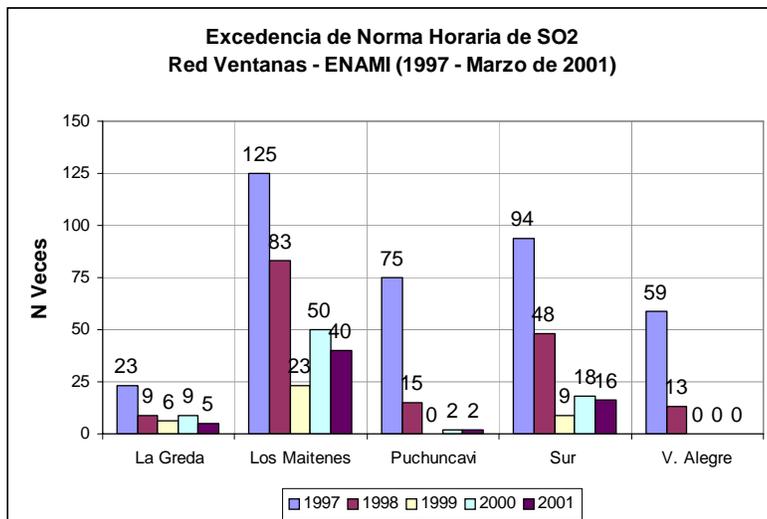
Tabla 2-4 Resumen de valores de SO₂ para Red ENAMI - Ventanas

Estaciones	Año	Promedio anual µg/m ³	Promedio de 24h		Máximo promedio de 1h µg/m ³
			Máximo µg/m ³	2 ^{do} máx. µg/m ³	
Los Maitenes	1997	140.1	1071	1045 (25)	10199 (125)
	1998	88.8	482	413 (2)	6978 (83)
	1999	51.9	424	282 (1)	4883 (23)
	2000	65.6	400	308 (1)	1509 (51)
	2001*		430	409	4031 (40)
Sur	1997	129.8	1166	714 (25)	6091 (94)
	1998	76.4	831	649 (5)	9048 (48)
	1999	41.2	278	197	1817 (9)
	2000	62.7	332	294	3205 (18)
	2001*		363	352	4259 (16)
La Greda	1997	43.4	538	498 (5)	7296 (23)
	1998	20.0	178	165	2399 (9)
	1999	24.3	283	157	2693 (6)
	2000	24.3	194	181	1690 (9)
	2001*	28.7	281	223	2451 (5)
V. Alegre	1997	74.2	439	388 (2)	3280 (59)
	1998	41.5	450	208 (1)	2768 (17)
	1999	19.8	139	133	772
	2000	20.3	112	94	627
	2001*		62	61	520
Puchuncaví	1997	98.2	668	308 (6)	2963 (75)
	1998	52.4	263	294	2125 (13)
	1999	35.0	152	181	821
	2000	42.0	225	172	1414 (2)
	2001*		140	94	1106 (2)

Entre paréntesis () se indica el número de días en los cuales el promedio diario supera $365\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el número de días en que el máximo promedio horario es mayor que $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$. * Año 2001 solo hasta marzo.
 Hasta el año 1999 se aprecia un descenso de los valores, tanto en el promedio anual como en promedios diarios y horarios, atribuibles a la implementación de un plan de descontaminación. Sin embargo, durante el último período se aprecia un aumento de los valores, pero con menores excedencias de los valores fijados por las normas. Situación que se aprecia en las figuras siguientes.



Número de veces que se supera el valor para promedios diarios ($365\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Número de veces que se supera el valor de Norma secundaria para promedios horarios ($1000\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 2-5 Resumen de valores de SO₂ para Red Chagres

Estaciones	Año	Promedio anual µg/m ³	Máximo promedio de 24h µg/m ³	Máximo promedio de 1h µg/m ³
Santa Margarita	1997	79.6	233	855
	1998	75.1	267	790
	1999	63.4	180	711
	2000	72.7	210	1138 (2)
	2001*		129	540
Lo Campo	1997	35.1	233	1385 (2)
	1998	38.7	267	946
	1999	35.3	180	478
	2000	33.4	210	643
	2001*		109	488
Catemu	1997	27.5	112	648
	1998	20.2	97	791
	1999	15.3	55	430
	2000	16.5	97	586
	2001*		37	347
Romeral	1997	29.8	114	571
	1998	25.4	106	672
	1999	20.8	66	457
	2000	17.6	62	527
	2001*		41	382

Entre paréntesis () se indica el número de días en los cuales el promedio diario supera 365µg/m³ y el número de días en que el máximo promedio horario es mayor que 1000 µg/m³. * Año 2001 solo hasta marzo.

La estación Santa Margarita registra promedios anuales muy cercanos al valor de la Norma. En el año 2000 el promedio fue superior a 72 µg/m³ correspondiente a un estado de latencia por SO₂. En esta estación se registraron 2 días con promedios horarios superiores a 1000 µg/m³ durante el año 2000. En las estaciones Catemu y Romeral los valores están lejos de los fijados por la Norma.

Tabla 2-6 Resumen de valores de SO₂ para Red Melón

Estaciones	Año	Promedio anual µg/m ³	Máximo promedio de 24h µg/m ³	Máximo promedio de 1h µg/m ³
Calera	1999	15.6	67	598
	2000	25.1	145	749
	2001*		92	356
Hijuelas	1999	6.1	38	534
	2000	15.4	60	450
	2001*		92	356

* Año 2001 sólo hasta marzo

Los valores registrados en la red de Cemento Melón son bajos. Los promedios anuales son menores a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores diarios y horarios son menores a los máximos permitidos por las normas, no alcanzan al 50% de la norma diaria y el promedio horario más alto del año 2000 equivale al 75% de la norma.

Tabla 2-7 Resumen de valores de SO_2 para Red RPC, abril 2000 a marzo 2001

	Promedio anual	Promedio de 24h		Máximo promedio de 1h
		Máximo	Percentil 99	
Estaciones	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Concón	70.1	355	302	1769 (14)

Entre paréntesis () se indica el número de días con máximo promedio horario mayor a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para Concón solo se recopiló información a partir de abril del año 2000. El promedio para esos 12 meses está sobre el nivel de latencia ($64 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El promedio diario registra niveles cercanos al máximo permitido por la norma vigente. El percentil 99 es $302 \mu\text{g}/\text{m}^3$, luego si se considera el valor de la norma propuesta para promedios de 24h ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y de mantenerse esta condición por tres años se superaría esta norma.

Las estaciones de la red de las centrales termoeléctricas San Isidro y Nehuenco registran bajos niveles de SO_2 . Los promedios anuales son menores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores promedios diarios y promedios horarios son bastante menores a los registrados en las estaciones cercanas a las megafuentes. Las tablas siguientes resumen los valores medidos.

Tabla 2-8 Promedios anuales de SO_2 Red termoeléctricas

Estaciones	1998	1999	2000
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bombero		10.9	12.8
Limache		14.1	11.8
San Pedro	21.4	17.2	9.9

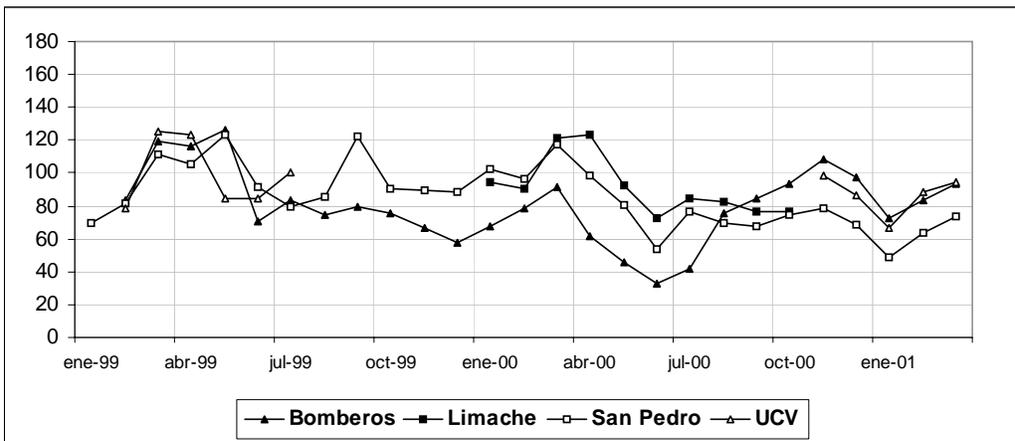
Tabla 2-9 Resumen de valores de SO_2 Red Termoeléctricas, noviembre 1999 a octubre de 2000

	Promedio anual	Promedio de 24h		Máximo promedio de 1h
		Máximo	2 ^{do} máx.	
Estaciones	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Limache	13	51	44	209
San Pedro	12	83	70	344
Bomberos - Quillota	13	47	46	261

2.1.2.3 Estado de calidad de aire para O₃, NO y NO₂

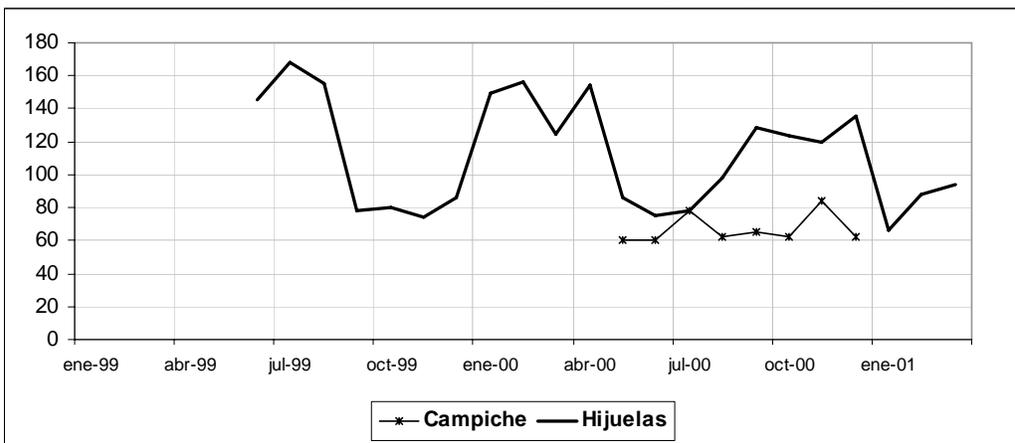
A continuación se presentan gráficos con los valores máximos diarios y gráficos de promedio de 1 hora registrados en cada mes entre enero de 1999 y marzo de 2001. Las estaciones que miden O₃ corresponden a las estaciones de la red de las termoeléctricas y las estaciones Campiche e Hijuelas.

Máximos diarios de O₃, Red Termoeléctricas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



En la red de termoeléctricas los valores muestran una leve tendencia a la disminución. El valor más alto es cercano a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Máximos diarios de O₃, estaciones Campiche e Hijuelas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



En Hijuelas se aprecia una tendencia a la baja, en especial en los valores altos de los meses de verano. Llama la atención los valores altos registrados en los meses de invierno y bajos en la primavera de 1999. Las estaciones Bomberos de Quillota, Limache y San Pedro tienen valores bajos en verano y más altos en primavera, es decir un comportamiento diferente.

Excedencia de Norma de O₃

Para O₃ existe una Norma horaria de 160 µg/m³ y una norma propuesta que fija el valor en 120 µg/m³ para máximo promedio móvil de 8 horas. Se considerará excedida la nueva norma si el percentil 99 de los máximos diarios de los promedios de 8h de los últimos 3 años supera dicho valor.

En julio del año 1999 se registraron 2 días con valores horarios superiores a 160 µg/m³ en la estación Hijuelas. En el año 2000, el valor horario más alto es de 156 µg/m³ en la estación Hijuelas.

El percentil 99 de los promedios móviles de 8 horas para el año 2000 en la estación Hijuelas es 125 µg/m³, luego si se mantiene esta condición por 3 años seguidos se superará la norma propuesta de O₃.

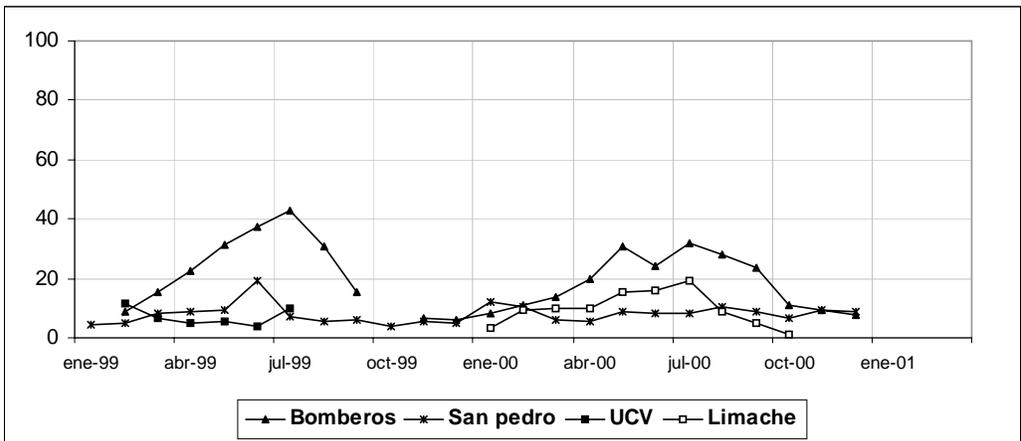
Tabla 2-10 Resumen valores de O₃ año 2000

	Máximo Promedio 1h µg/m ³	Percentil 99 de Máximos diarios de promedios móviles de 8h µg/m ³
Red Melón		
Hijuelas	156	125
Red Termoeléctricas		
Bomberos	108	74
San Pedro	117	73
Limache	124	81
Red PACSA		
Campiche	84	56

Oxidos de Nitrógeno (NO y NO2)

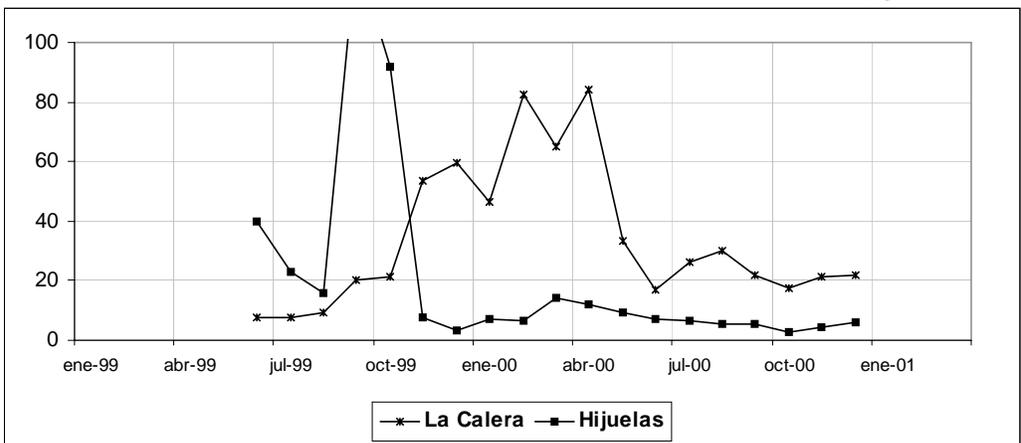
A continuación se presentan gráficos de promedios mensuales para NO y NO2, en el período enero 1999 a marzo 2001:

Promedios mensuales de NO en estaciones Red Termoeléctricas (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



En la red de las termoeléctricas se aprecia un crecimiento de los valores durante el período de invierno y disminución durante meses de verano. La estación Bomberos de Quillota registra los valores más altos.

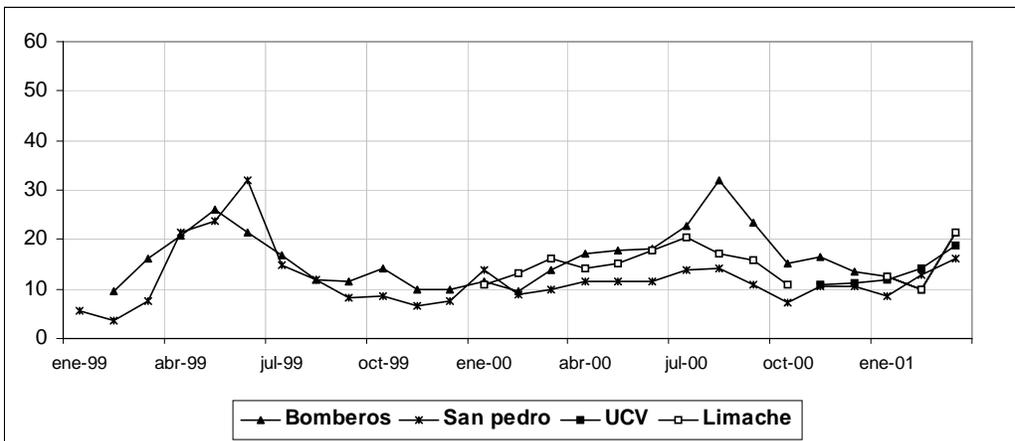
Promedios mensuales de NO en estaciones Red Melón (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



En la estación Hijuelas de la red de Melón existe un comportamiento anormal durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 1999, el resto del período los valores son bajos menores a $10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

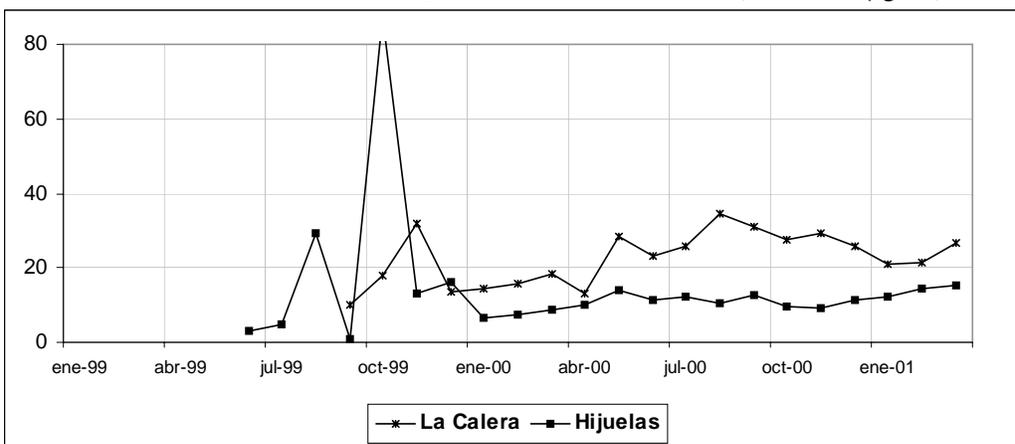
La estación La Calera presenta valores altos durante los meses de invierno y bajos en verano.

Promedios mensuales de NO₂ en estaciones Red Termoelectricas (valores en µg/m³)



En la red de las termoelectricas no se aprecian tendencias entre años. Los valores son mayores en meses de invierno y menores en meses de verano, similar al ciclo de NO. La estación Bomberos presenta valores, en promedio mayores.

Promedios mensuales de NO₂ en estaciones Red Melón (valores en µg/m³)



No se aprecia tendencia entre los valores. En la estación Hijuelas de la red de Melón se aprecia un comportamiento anormal entre agosto y octubre de 1999. No se considerará este período en análisis posteriores.

2.1.3 Resultados V Región (Valparaíso y Viña del Mar)

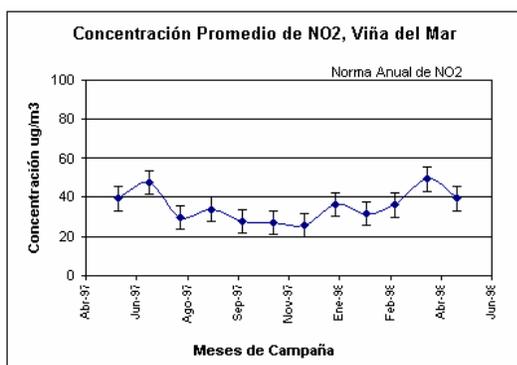
La información recopilada para estas ciudades corresponde principalmente a los resultados de las campañas de monitoreo realizadas entre 1997 y 2000 con tubos pasivos para SO₂, NO₂ y O₃ y material particulado con equipos impactadores Harvard. Estas campañas fueron ejecutadas por el Proyecto “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile” – COSUDE.

Las figuras y comentarios que a continuación se presentan, para cada contaminante, fueron extraídas de los informes finales de dicho proyecto de los años 1998 y 2000.

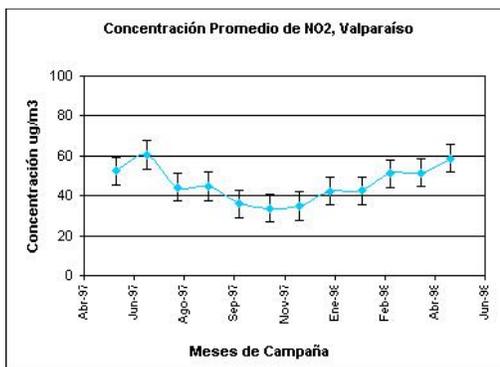
Dióxido de Nitrógeno (NO₂):

En Viña del Mar y Valparaíso, no se produjeron excedencias para este contaminantes y sus valores más elevados se registraron en los lugares caracterizados por un intenso tráfico automotor. Para el resto de los lugares de medición los valores promedios anuales están bajo el 50% de la norma anual.

El análisis estacional del contaminantes muestra un máximo en el período invernal atribuible a las condiciones de dispersión, por sobre variaciones en las emisiones.



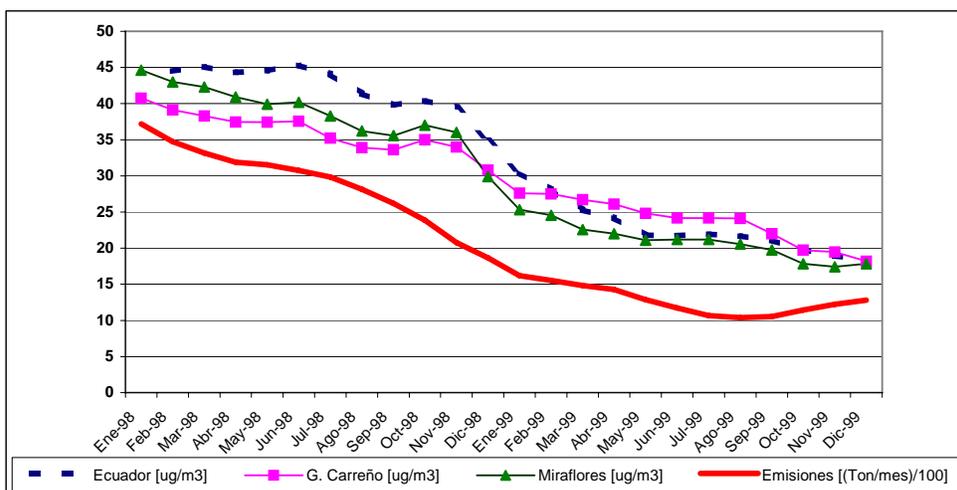
Promedios mensuales de NO₂
Viña del Mar, Abr-1997 a Jun-1998



Promedios mensuales de NO₂
Valparaíso, Abr-1997 a Jun-1998

Dióxido de Azufre (SO₂):

Las mediciones realizadas muestran que los niveles de SO₂ se encuentran por debajo de la norma anual. Sin perjuicio de ello es imposible asegurar que no existan superaciones de la norma de máximo diarios vigentes o elevadas concentraciones horarias. Por otro lado, existen elementos que permiten argumentar una correlación positiva entre las emisiones de SO₂ en la Fundición Ventana y las concentraciones observadas en Valparaíso y Viña del Mar.¹



Promedios móviles de 12 meses de concentraciones de SO₂ en 3 puntos de Valparaíso-Viña del Mar y de emisiones de la Fundición Ventanas, entre enero de 1998 y diciembre de 1999. Concentraciones expresadas en µg/m³ y emisiones en (Ton/mes)/1000.

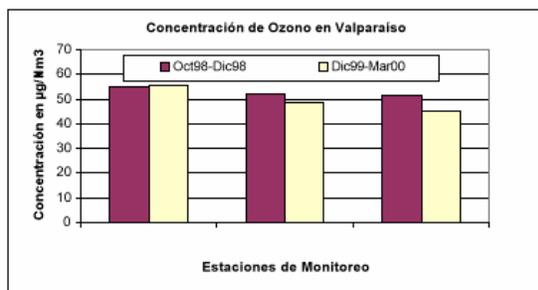
Ozono (O₃):

En Valparaíso este contaminante se mantuvo dentro de los límites de la recomendación de la OMS de 60 µg/m³ para promedio semestral. La figura siguiente presenta los valores promedios para las campañas del año 1999 y 2000.

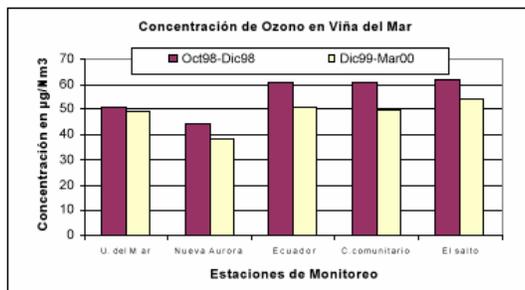
En Viña del Mar los valores registrados durante el año 2000 están bajo la recomendación de OMS. La campaña del año anterior presentó valores levemente superiores a 60 µg/m³ en 3 de 5 lugares de medición.

A nivel promedio, las concentraciones más altas se dan en los lugares ubicados en la parte alta de las ciudades y en el borde costero.

¹ Anexo 4 “Concentraciones atmosféricas de SO₂ en el Gran Valparaíso y Rancagua v/s emisiones de megafuentes de SO₂” - Informe de Actividades del Año 2000 Proyecto “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile”



Concentraciones de O₃ en Valparaíso
 Oct98-Dic98 y Dic99-Mar00



Concentraciones de O₃ en Viña del Mar
 Oct98-Dic98 y Dic99-Mar00

Material Particulado Respirable (PM10):

Las mediciones fueron realizadas con equipos del tipo Impactadores, los cuales no son considerados como equipos de referencia, pero se utilizan en estudios preliminares de determinación de niveles de concentración de material particulado. Los valores no muestran una estacionalidad muy marcada, pero se observan valores menores durante el período estival. Las concentraciones más altas corresponden a lugares ubicados muy próximos a las de vías de alto tráfico vehicular. Sector Brasil en Valparaíso y Ecuador en Viña del Mar, donde se superan los valores máximos permitidos para promedios diarios.

Tabla 2-11 Resumen de valores de MP10 en estaciones Brasil y Ecuador

	Brasil (Valparaíso)			Ecuador (Viña del Mar)		
	Promedio anual	Max día / (excedencias)	Percentil 98	Promedio anual	Max día / (excedencias)	Percentil 98
1998	87	189 (3)	154	67	183	134
1999	90	220 (3)	169	60	121	107
2000	85	172 (2)	152	63	151 (1)	121

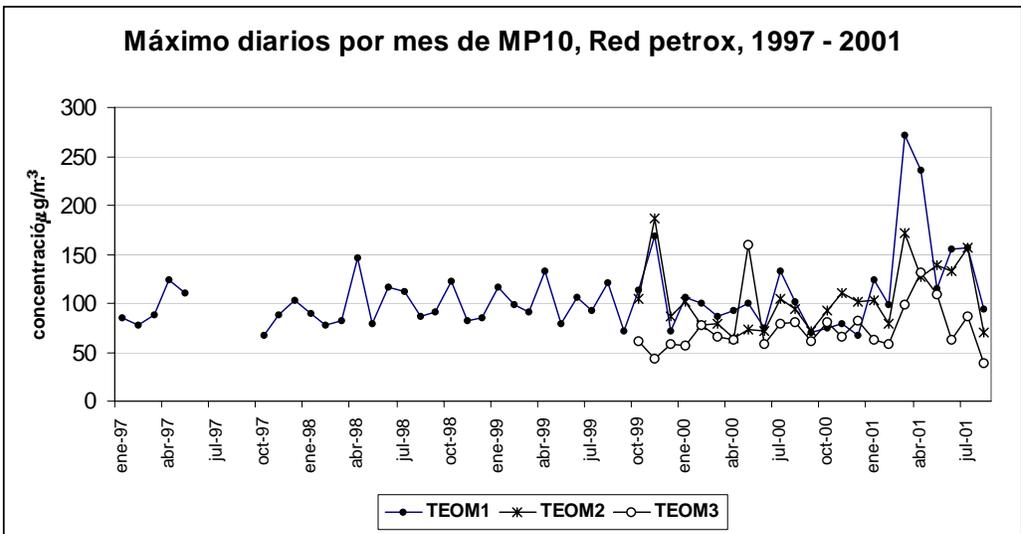
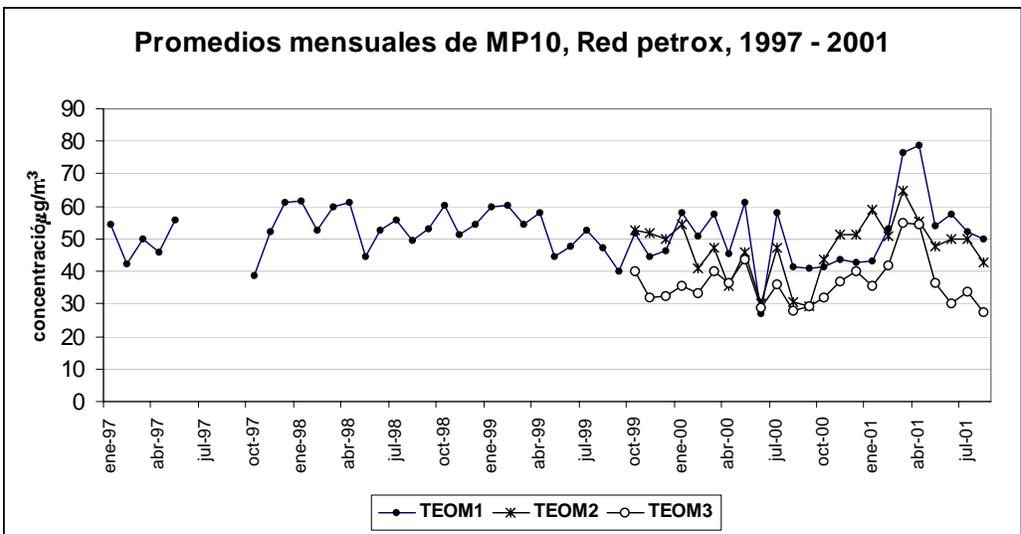
Valores en µg/m³

Entre paréntesis se indica el número de días que excede el valor 150 µg/m³ permitido para promedios de 24 horas.

2.1.4 Resultados VIII Región (Gran Concepción)

2.1.4.1 Estado de calidad de aire para Material particulado MP10

Los gráficos siguientes presentan las tendencias de los promedios mensuales y máximos diarios mensuales de material particulado medidos en las estaciones de la red de Petrox entre enero de 1997 y agosto de 2001.



La serie de promedios mensuales muestra que para el TEOM 1 (ubicado en la esquina noroeste de la refinería) los valores entre 1997 y 1999 superan en reiteradas ocasiones el valor $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando el valor máximo permitido por la norma anual de MP10 durante el período. Para el año 2000, el valor anual es $47.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando el valor de nivel de latencia ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 2-12 Tabla promedios anuales de MP10

	TEOM 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 2* $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 3* $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1997	50.1		
1998	54.7		
1999	50.6	51.4	34.7
2000	47.3	42.3	35.0

* mediciones en TEOM2 y TEOM3 comienzan en octubre de 1999

La serie de máximos promedios diarios para cada mes muestra que durante el año 2001, el valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se ha superado en 3 ocasiones en el período marzo a julio.

La tabla siguiente presenta el número de veces que se ha excedido el valor fijado por la norma diaria de MP10 ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla 2-13 excedencias de norma diaria de MP10

	TEOM 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 2* $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TEOM 3* $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1997	0		
1998	0		
1999	1	1	0
2000	0	0	1
2001	6	0	3

* mediciones en TEOM2 y TEOM3 comienzan en octubre de 1999

Desde enero de 2001, se realizan muestreos de 24h (cada 3 días) de MP10 con muestreadores de alto volumen en Coronel. Para el período enero a marzo de 2001 los valores se mantienen bajos. La mayoría de los días tienen concentraciones menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el contexto del Programa de Recuperación Ambiental de Talcahuano (PRAT) se han obtenido muestreos diarios de 24 horas de MP10 y MP2.5 con equipos oficiales Partisol Plus, instalados en 2 lugares de Talcahuano. Período de muestreo 2 de junio de 2000 a 23 de abril de 2001. Los resultados de esa campaña se resumen en la tabla siguiente:

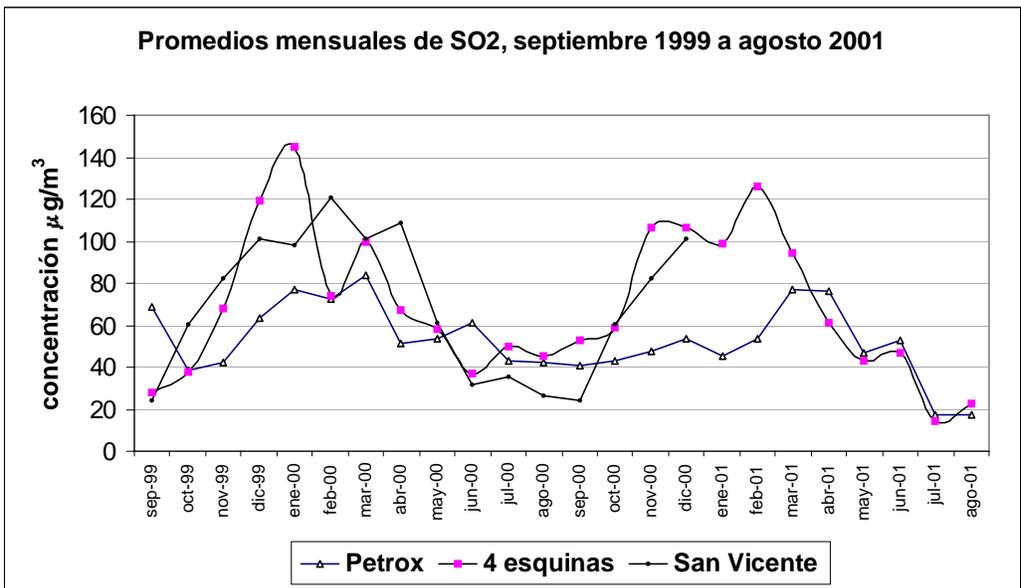
Tabla 2-14 Resultados campaña de MP10 y MP2.5

	Libertad		Consultorio	
	Concentración		Concentración	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
Promedio	78.6	18.1	55.0	12.4
Máximo	238.2	64.0	129.1	39.0
Mínimo	7.5	0.0	0.0	0.0
Desv. estandar	47.7	10.2	21.8	7.4
Norma anual	50	15 *	50	15 *
Norma diaria	150	65 *	150	65 *
Percentil 98 < 150	181.6		100.4	
Días totales	302	302	221	221
% recuperación	92.6%	92.6%	98.2%	98.2%
N° días > 150	26		0	
N° días > 120	58		1	
* Estos valores son referenciales, corresponden a los niveles vigentes para MP2.5 en Estados Unidos (USA). En Chile no hay normativa para PM2.5.				

En los 2 lugares medidos, Libertad y Consultorio, el promedio anual es mayor que 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor diario de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se excede 26 veces en la estación Libertad. El valor más alto en la estación libertad es 238 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio en la estación Consultorio el valor más alto es 129 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.1.4.2 Estado de calidad de aire para SO₂

El gráfico siguiente presenta las tendencias de los promedios mensuales de SO₂ para el período septiembre de 1999 a agosto de 2001 para una estación de Petrox y estaciones de CONAMA VIII (4 Esquinas y San Vicente)



No se aprecia una tendencia en los valores. Durante los meses de verano los valores de SO₂ son mayores, destacando los valores registrados en la estación 4 esquinas.

La tabla siguiente presenta los valores promedios anuales. Para el año 2000, las estaciones 4 Esquinas y San Vicente tienen valores por sobre el límite de latencia. Para el año 2001, considerando que se produce un aumento de valores en verano, el valor de latencia se excederá.

Promedios anuales de SO₂

	Petrox µg/m ³	4 Esquinas µg/m ³	Bomberos/San Vicente µg/m ³
1998	--	61.2	74.5 ¹
1999	53.1	57.5	<u>70</u>
2000	55.8	<u>75.0</u>	<u>71.0</u>
2001	48.4	63.4	

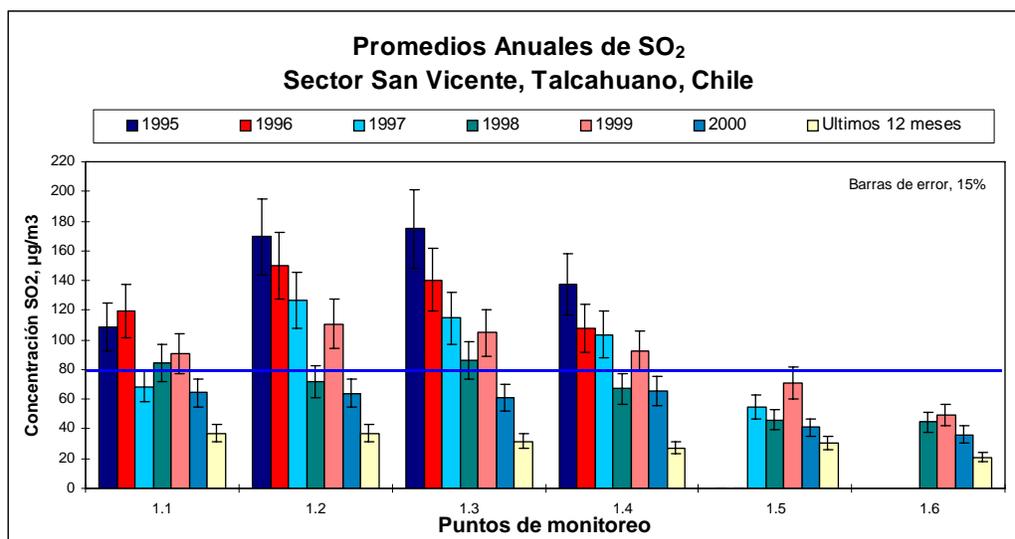
¹ período agosto-diciembre

La serie de valores de promedios diarios para el año 2000 muestra valores altos en la estación San Vicente durante los meses de verano.

Días con promedios diarios de SO₂ mayores a 365 µg/m³

	Petrox µg/m ³	4 Esquinas µg/m ³	Bomberos/San Vicente µg/m ³
1998		1	1
1999	0	0	1
2000	0		1
2001	0		

El gráfico siguiente presenta una comparación de valores Anuales de SO₂ para el sector de San Vicente

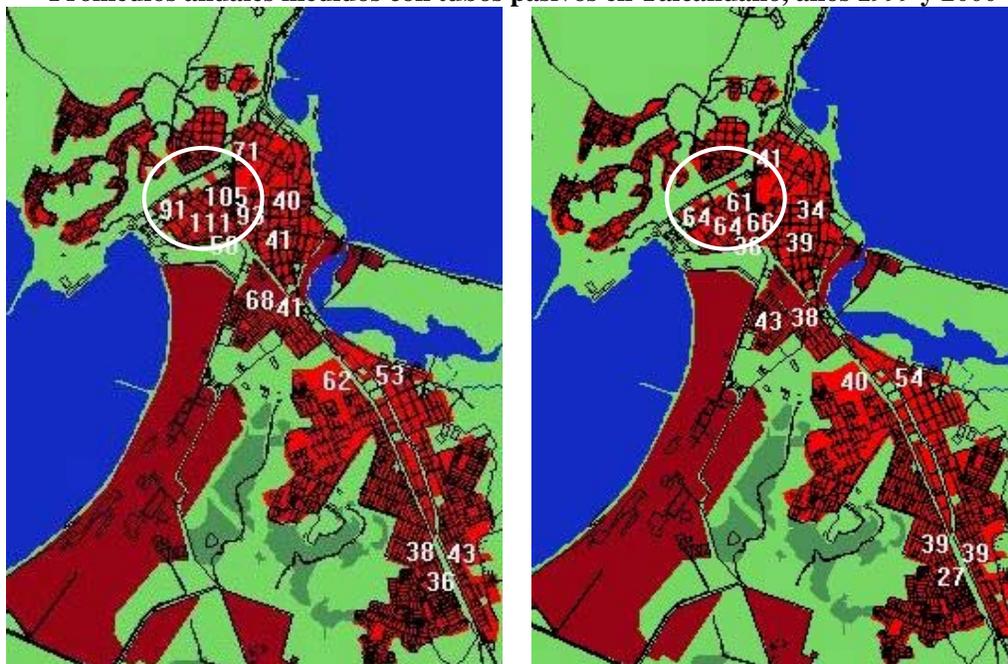


Fuente: "Monitoreo con tubos pasivos en Talcahuano"

El gráfico de la figura anterior fue construido con los promedios anuales de mediciones con tubos pasivos en Talcahuano. Se aprecia una tendencia a la disminución de los promedios anuales en todos los puntos de monitoreo. Para el año 2000, todos los valores anuales fueron menores al valor fijado por la norma. En años anteriores al año 2000 se había excedido el valor de 80 µg/m³, que fija la norma, en 4 puntos (de un total de 6), incluso algunos valores anuales para 1995 superan fuertemente lo permitido por la norma.

Las figuras siguientes presentan promedios anuales para la zona de Talcahuano correspondientes a campañas realizadas con tubos pasivos durante los años 1999 y 2000. En ellas se aprecia que la zona de Talcahuano presenta valores anuales por sobre 80 µg/m³, para el año 1999, en cambio durante el año 2000 disminuyen a valores superiores al nivel de latencia.

Promedios anuales medidos con tubos pasivos en Talcahuano, años 1999 y 2000



Niveles de SO₂ Año 1999 (Enero 16, 1999 – Enero 15, 2000) Unidad: µg/m³

Niveles de SO₂ Año 2000 (Enero 15, 2000 – Diciembre 30, 2000) Unidad: µg/m³

Fuente CONAMA VIII

2.1.5 Red de tubos pasivos instalada por el proyecto

Durante la ejecución de este estudio, se realizó una campaña de mediciones con tubos pasivos en 8 lugares, de SO₂, NO₂ y Ozono, durante el período de mayo a diciembre 2001. El objetivo principal de esas mediciones fue evaluar puntos de monitoreo para una red regional de calidad de aire, que podrían llegar a ser puntos de monitoreo permanente.

La ubicación de los puntos de muestreo estuvo basada en las sugerencias entregadas por el estudio realizado por Gallardo et al. (2000). La cantidad de lugares y número de muestras se adecuó a los recursos disponibles para esta actividad.

Los lugares de mediciones con tubos pasivos son:

- 1.- Sector de Hijuelas, valle del Aconcagua, V Región.
- 2.- Rocas de Santo Domingo, litoral, V Región.
- 3.- Sector Norte de la Región Metropolitana.
- 4.- Sector Sur de la Región Metropolitana.
- 5.- Sector Rengo, valle central, VI Región.
- 6.- Sector Santa Cruz, valle interior, VI Región.
- 7.- Sector San Fernando, VI Región.
- 8.- Sector Curicó, VII Región.

El programa de mediciones contemplaba exposiciones de un mes para NO₂ y SO₂ y de una semana para ozono, con muestras en duplicado en cada medición. Las mediciones de ozono se limitaron a dos meses de invierno y dos meses de primavera verano.

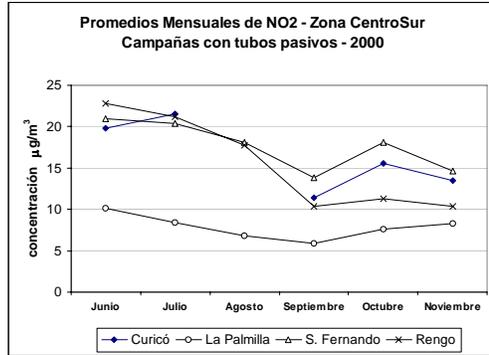
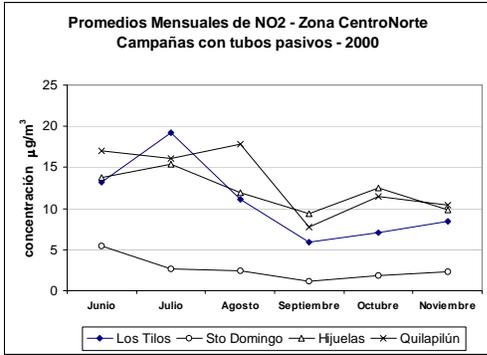
Con el propósito de asegurar la calidad de los resultados, se realizó en paralelo con la campaña de mediciones, una comparación de tubos pasivos con monitoreo continuo, en la estación Las Condes de la Red MACAM de Santiago.

Detalles de la metodología y de los resultados obtenidos se incluyen en el Anexo respectivo.

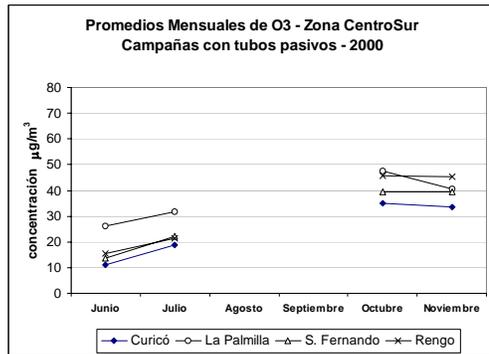
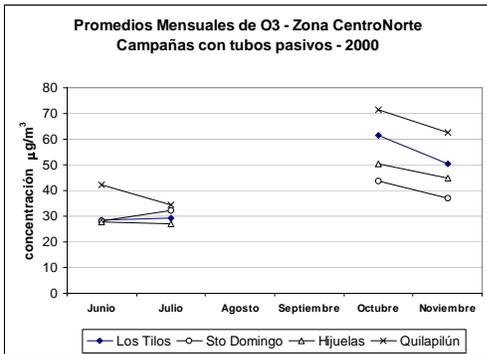
2.1.5.1 Resultados

Las comparaciones de tubos pasivos con monitoreo continuo mostraron que para exposiciones prolongadas (más de una semana) los tubos pasivos responden en menor grado, subestimando las concentraciones ambientales. Por esta razón, se cambió la frecuencia de muestreo en los últimos meses de la campaña, reduciendo el tiempo de exposición a una semana para todos los tubos pasivos.

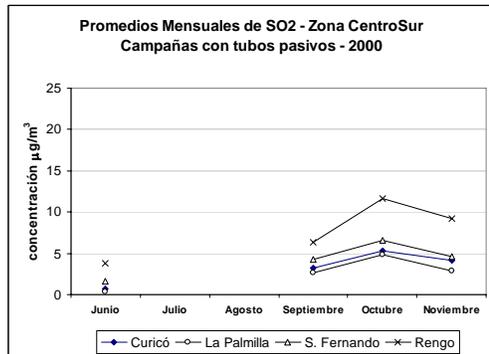
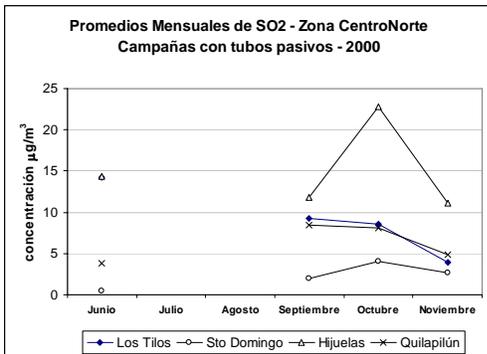
Las figuras siguientes muestran los promedios mensuales obtenidos a partir de las mediciones con tubos pasivos, en los 8 lugares de medición.



Promedios mensuales de NO2 Mediciones con tubos pasivos



Promedios mensuales de O3 Mediciones con tubos pasivos



Promedios mensuales de SO2 Mediciones con tubos pasivos

Para NO₂, se encuentran promedios mensuales en el rango de 2 a 25 ug/m³. Los valores son algo menores en los tres últimos meses. Los valores más bajos se observan en Santo Domingo (costa). Las estaciones del sector sur muestran valores comparables a las del sector norte, excepto Palmilla, que presenta valores más bajos que el resto.

Para Ozono, se observan valores más altos en el período de primavera, comparado con el período de invierno. Los valores más altos se encuentran en Quilapilún, Los Tilos e Hijuelas. Los promedios en Quilapilún son más altos que los promedios observados en la Estación Las Condes, en períodos similares.

Al contrario de lo que ocurre para NO₂, en Palmilla se observan los valores más altos de O₃, para las estaciones del sector sur.

Para SO₂, se encuentran los valores más altos en Hijuelas. Los Tilos muestra un valor alto en Junio, similar a Hijuelas. Entre las estaciones del sector sur, los valores más altos corresponden a Rengo (más cercana a Caletones). Los valores más altos se observan en estaciones más cercanas a grandes fuentes emisoras de SO₂.

Los valores más bajos de SO₂ se observan en Santo Domingo (costa) y en las estaciones ubicadas más el sur de la zona con mediciones.

Los resultados indican que algunos lugares de medición detectan el efecto de fuentes alejadas, sobre contaminación de escala extendida, como es aparente en las mediciones de SO₂ y Ozono.

Las mediciones de SO₂ realizadas con la red regional de tubos pasivos entrega se pueden comparar con los resultados de un estudio de dispersión de azufre oxidado en la zona central de Chile, realizado por Gallardo et al. (2000), donde se utilizaron los modelos HIRLAM-MATCH para obtener concentraciones y flujos de deposición a escala regional.

De acuerdo a los resultados de esas modelaciones, la estación de Hijuelas está dentro del área influenciada por Ventanas y Chagres, lo que concuerda con los valores más altos medidos en esa estación. Los valores medidos son algo más altos que los indicados por el estudio de dispersión para ese sector.

El sector de Quilapilún aparece marginalmente influenciado por las emisiones de Santiago. Las mediciones muestran valores bajos, del orden de los simulados en el estudio citado.

El área de Los Tilos se encuentra bajo la influencia de las emisiones de Caletones y Santiago. Las mediciones, en el rango de 10 a 25 ug/m³, son algo mayores que las estimaciones presentadas en el estudio, pero confirman los efectos sobre esa área.

Las simulaciones muestran a la zona de Rengo en el borde del área de influencia de Caletones, con valores en el rango de 5 a 20 ug/m³, comparables con las obtenidas en las mediciones.

Las estaciones Santo Domingo, en la costa, Palmilla y Curicó, en el sector sur, están alejadas de la influencia de las fuentes consideradas en el estudio. La estación San Fernando está marginalmente fuera del área de influencia de Caletones. En todas esas estaciones se miden valores cercanos o bajo 5 ug/m³.

De acuerdo a estos resultados, las localidades elegidas son aptas para mediciones de niveles regionales.

2.2 Régimen de vientos típicos en la zona central

2.2.1 Disponibilidad de información

La información meteorológica disponible para el estudio proviene de tres fuentes:

- Mediciones meteorológicas realizadas durante el estudio, en tres lugares.
- Información recopilada durante el estudio, obtenida en las redes de monitoreo de calidad de aire.
- Información meteorológica disponible en CENMA, de la red meteorológica de la RM y de algunas mediciones adicionales realizadas en proyectos específicos.

Las mediciones meteorológicas realizadas durante el estudio incluyen tres lugares, Casablanca (V Región), Chiguayante y Arauco (VIII Región). Las mediciones se extendieron por un periodo superior a 6 meses. La descripción de las mediciones realizadas y resultados obtenidos se presentan en el Anexo respectivo.

En la recopilación de información de calidad de aire de la V y VIII Regiones, se obtuvo información meteorológica en medio digital de algunas estaciones de las redes existentes en esas regiones. El detalle de la información recopilada se presenta en el Anexo correspondiente a Recopilación y Análisis de información de calidad de aire.

La información meteorológica disponible en CENMA corresponde a la red de estaciones orientadas al estudio de calidad de aire en la RM. La red llegó a tener 24 estaciones, disminuyendo paulatinamente el número total de estaciones hasta unas 20 a mediados de 2000.

La información generada en CENMA es sometida a un proceso de revisión y validación estandarizado, que permite minimizar la cantidad de datos erróneos en las bases de datos de trabajo. Para la información meteorológica generada por redes privadas, recolectada durante el estudio, no se aplicó un procedimiento de revisión completo debido a la falta de antecedentes de operación y calibración instrumental. Se detectaron dos estaciones con información anómala: i) en la estación Sur de Ventanas, direcciones de viento opuestas al resto de las estaciones del área y ii) direcciones de viento de la estación Chagres reportadas sólo en cuatro direcciones principales (N, S, E y W). Esas estaciones fueron descartadas del análisis posterior.

La información meteorológica recopilada en el estudio se utiliza para dos fines:

- Información de entrada para las modelaciones atmosféricas, especialmente mediciones de viento.
- Análisis de patrones típicos de movimiento de aire en la zona, flujos diurnos y nocturnos.

La información meteorológica usada en las modelaciones está descrita en la sección correspondiente.

2.2.2 Patrones de flujos de aire típicos de condiciones diurnas y nocturnas.

Las estaciones con mediciones de viento utilizadas en el análisis se indican en la Tabla adjunta. Para representar los flujos diurnos, se utiliza la dirección predominante del viento en el período de 12 a 18 h, que corresponde a las horas de mayor desarrollo de la brisa diurna. Para los flujos nocturnos, se utiliza la dirección predominante de viento en el período de 00 a 06 h.

Los flujos típicos del período diurno alcanzan mayor intensidad durante los meses de verano, cuando el efecto de insolación es mayor. Los flujos nocturnos, en cambio, están mejor definidos en los meses de invierno, con un período nocturno más extenso, con e brisas de montaña (ladera abajo) mejor desarrolladas.

Las figuras adjuntas muestran las direcciones predominantes del flujo diurno en verano y del flujo nocturno en invierno, en cada una de las estaciones con información de viento.

Las direcciones de viento correspondientes al flujo diurno (Figura 2.1) muestran consistencia en el movimiento del aire desde la costa hacia el interior, canalizándose los flujos por los valles. En la zona de Ventanas, las direcciones predominantes en la tarde son similares en las diferentes estaciones, con una dirección predominante del W a SW. Esta condición es característica de la tarde. Durante la mañana, las direcciones de viento en el área de Ventanas son temprano desde el norte, luego noroeste, girando posteriormente a oeste y suroeste al final de la tarde.

La estación de Concón muestra viento del oeste. En la zona de Limache las observaciones muestran que el flujo se separa, siguiendo por el valle principal hacia el noreste, mientras que otra rama se mueve hacia el este-sureste, por el cajón de Olmué - La Dormida.

En la zona de La Calera, el flujo de aire podría separarse en dos ramas, hacia el norte (El Melón) y hacia el sur (Hijuelas-Ocoa). No hay mediciones de viento más al interior del valle del Aconcagua (se descartó Chagres).

En el sector de Casablanca, el flujo predominante durante la tarde es desde el suroeste. También muestra esa dirección la estación Codigua, ubicada al suroeste de Melipilla. Ambas estaciones indican flujos de aire provenientes del sector costero.

En el valle del Maipo y la cuenca de Santiago, las direcciones de viento muestran principalmente componentes del oeste, condición típica de las brisas que se desarrollan desde el valle hacia la montaña. En el sector norte de la cuenca de Santiago, el viento muestra componente del sur, indicando un posible transporte de contaminantes hacia el sector de Los Andes. En el sector sur de la cuenca de Santiago (Buin-Paine) los flujos de viento muestran variaciones de direcciones que se pueden asociar al efecto del relieve local.

Las direcciones de viento del flujo nocturno (Figura 2.2) muestran predominancia del movimiento desde el continente hacia la costa. En el sector de Ventanas y en el valle del Aconcagua, los flujos muestran direcciones opuestas a la condición diurna, descendiendo por los valles hacia el sector costero.

La estación de Concón muestra viento desde el este-sureste, indicando la posibilidad de impacto de las emisiones de RPC sobre la estación de calidad de aire durante esas horas. En el sector de Ventanas, las estaciones muestran viento ladera abajo, hacia el océano.

En Casablanca, el viento nocturno muestra componente del este.

En la cuenca de Santiago, las direcciones de viento durante la noche reflejan el flujo de aire que escurre ladera abajo, hacia los sectores más bajos del terreno. El aire sale de la cuenca por el sector de Talagante –El Paico, hacia la costa. En el sector norte de la cuenca, los flujos siguen la pendiente del terreno, mostrando recorridos complejos debido a la topografía de esa zona.

La magnitud del viento es reducida en toda la zona, especialmente durante los meses de invierno, cuando el menor calentamiento del suelo no es capaz de inducir brisas diurnas intensas. En condiciones de baja ventilación y una capa de mezcla reducida, se pueden alcanzar elevados niveles de contaminación atmosférica. Las condiciones meteorológicas asociadas a los episodios de contaminación que ocurren en Santiago, son simultáneas en toda la región estudiada.

Por lo tanto, cabe esperar acumulación de contaminantes en valles y cuencas encerradas, y recirculación de contaminantes debido a las direcciones de viento alternantes entre día y noche.

CICLO DIURNO DE VERANO

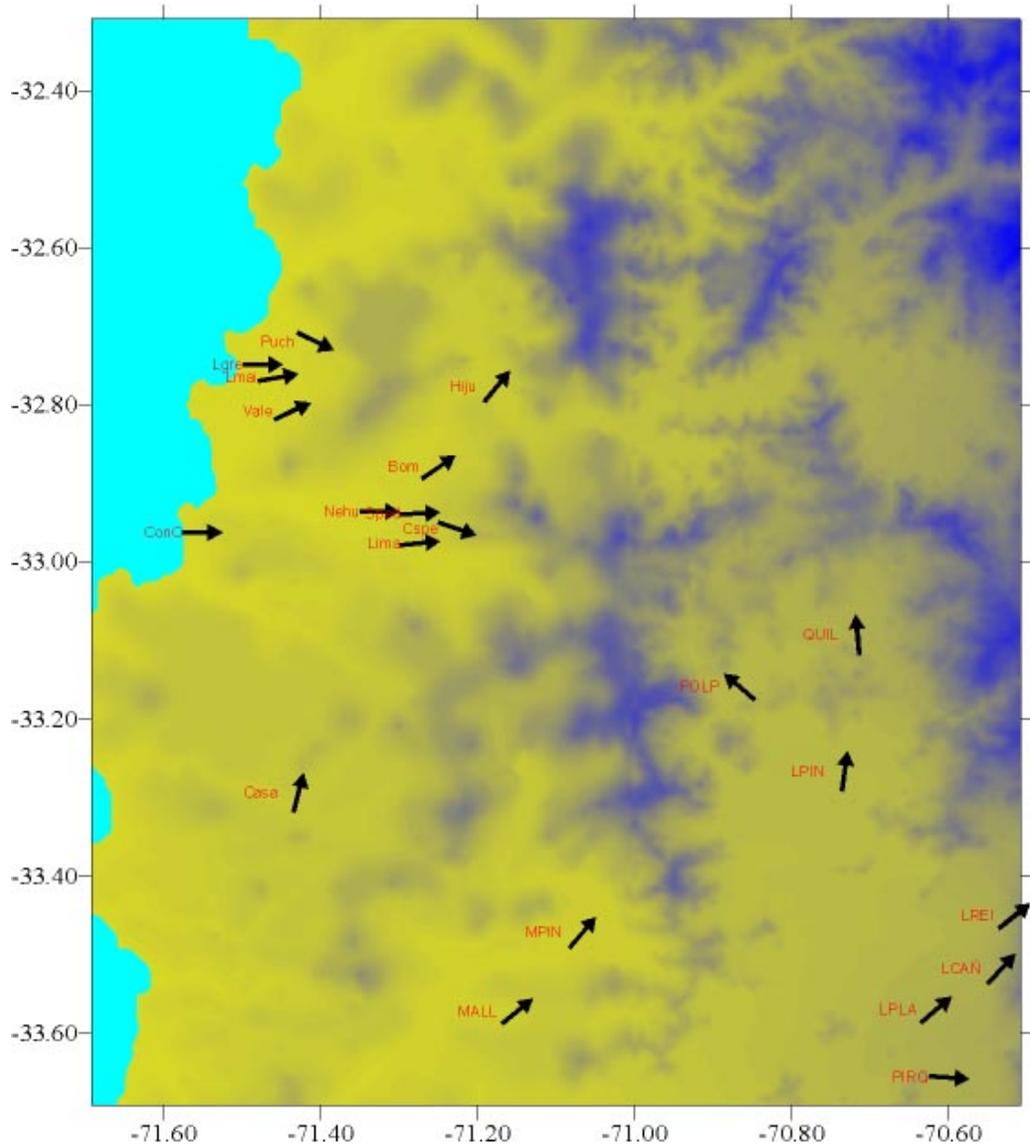


Figura 2.1 Direcciones predominantes de viento observadas durante el régimen diurno (12 a 18 h) en verano

CICLO NOCTURNO DE INVIERNO

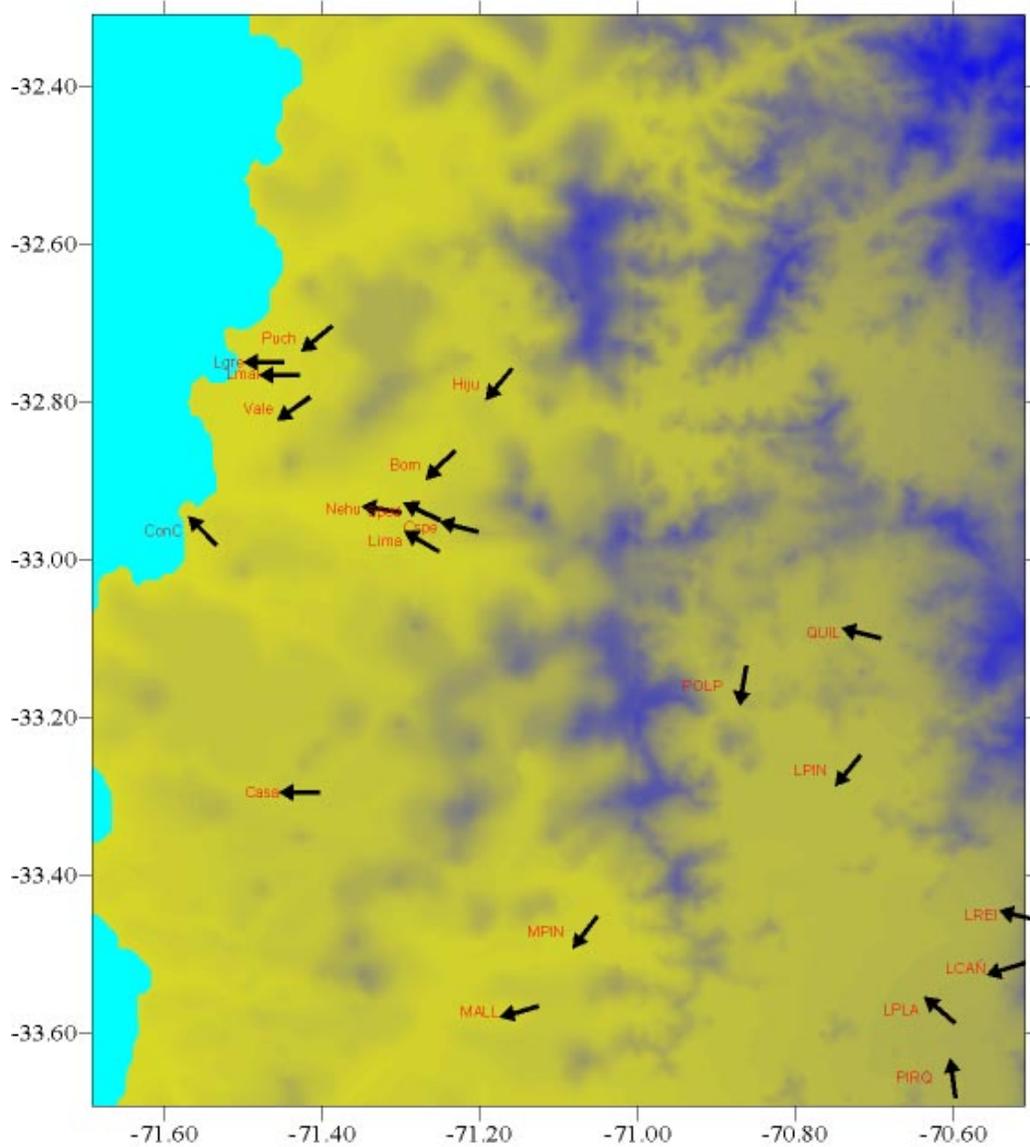


Figura 2.2 Direcciones predominantes de viento observadas durante el régimen nocturno (00 a 06 h) en invierno

2.3 Estimaciones de Emisiones

El objetivo de las actividades relacionadas con inventarios de emisiones es la generación de archivos emisiones para la aplicación en etapas posteriores de un modelo de dispersión de contaminantes (MATCH). Dado el tipo de información disponible se dio prioridad a los inventarios de fuentes fijas industriales desarrollados para las Regiones V² y VIII³.

Como resultado de esta actividad se han construido archivos con la información de emisiones para ser ingresada a la de Base de Datos de Emisiones del sistema Airviro, a partir del cual se pueden generar archivos de entrada al modelo de dispersión MATCH. El detalle de esta labor se encuentra en el Anexo F.

Adicionalmente, se presenta un resumen de los inventarios de emisiones recopilados desde diversas fuentes, lo que permite configurar una visión general de las principales fuentes emisoras y de las diferencias en la distribución de responsabilidades por sector entre las distintas zonas analizadas. Los resultados generales de los inventarios regionales se presentan en forma de tablas, incorporando la información disponible de la Región Metropolitana y VI Región para efectos de comparación con la situación de las Regiones V y VIII.

En las tablas correspondientes a los inventarios regionales se presentan de manera separada los inventarios correspondientes a la totalidad de la Región y los inventarios correspondientes a los principales centros urbanos (Gran Valparaíso, Rancagua, Gran Concepción). Esta diferencia obedece principalmente a las coberturas geográficas de las emisiones según tipo de fuentes. En la mayoría de los casos, la dificultad principal es la disponibilidad del sub-grupo fuentes móviles cuya estimación se encuentra limitada por la redes de transporte modeladas. Para el caso de la Región Metropolitana el Inventario presentado posee una cobertura Regional, en este sentido si bien la cobertura del modelo de transporte sólo considera el Gran Santiago este sub-grupo incluye la estimación proveniente de carreteras.

² 2ª FASE ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN REGIONES URBANO-INDUSTRIALES DE CHILE/CONAMA- U. De Chile / 2001

³ ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN EL GRAN CONCEPCIÓN/ CONAMA – U. De Chile / Actualmente en ejecución

2.3.1 V Región

Inventario de emisiones atmosféricas de la V Región, Año 2000

Sub-grupo	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NO _x [ton/año]	COV [ton/año]	Sox [ton/año]	NH ₃ [ton/año]
Sub-total puntuales (1)	5169	1680	7432	591	58150	579
Sub-total areales	2661	16323	473	14221	18	10772
Sub-total fuentes fugitivas (2)	23713					
Sub-total fuentes móviles (3)	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Total inventario	31543	18003	7905	14812	58168	11351

(1): No se incluye las emisiones de la Refinería de Petróleos de Concón

(2): Las emisiones de polvo resuspendido en calles pavimentadas sólo presentan cobertura para el Gran Valparaíso, por tanto estas emisiones se excluyeron del Inventario Regional

(3): Las emisiones de fuentes móviles sólo presentan cobertura para el Gran Valparaíso, por tanto estas emisiones se excluyeron del Inventario Regional

Fuente: CENMA

Inventario de emisiones atmosféricas de Gran Valparaíso, Año 2000

Sub-grupo	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NO _x [ton/año]	COV [ton/año]	SO _x [ton/año]	NH ₃ [ton/año]
Sub-total puntuales (1)	223	136	425	345	1397	22
Sub-total areales (2)	470	2830	90	4633	3	527
Sub-total fuentes fugitivas (3)	27918					
Sub-total fuentes móviles	178	14246	3812	2354	237	41
Total inventario	28789	17212	4328	7331	1636	590

(1): No se incluye las emisiones de la Refinería de Petróleos de Concón

(2): Para las emisiones provenientes de crianza de animales y aplicación de pesticidas sólo existen valores globales para la Región por tanto éstas no están consideradas para el Gran Valparaíso

(3): Para las emisiones provenientes de actividades de construcción y preparación de terrenos agrícolas solo existen valores globales para la Región, por tanto, éstas no están consideradas para el Gran Valparaíso

Fuente: CENMA

En las tablas siguientes se presentan los valores estimados de emisiones anuales de azufre (S) y material particulado (MP), para las fuentes puntuales más importantes ubicadas en la zona: Fundición Ventanas (Enami), Central Térmica Ventanas (Gener) y Fundición Chagres (Compañía Minera Disputada de las Condes). La Refinería de Petroleos de Concón también constituye una fuente importante de Azufre oxidado, pero no se dispone de antecedentes de la fuente. Para las fundiciones que deben cumplir con un plan de reducción de emisiones, se indican las metas anuales. La fuente de información se indica en las tablas.

Fundición Ventanas

Año	Meta MP [ton/año]	Meta S [ton/año]	Emisión MP [ton/año]	Emisión S [ton/año]
1993	3400	62000	3301	58649
1994	3400	62000	2746	61526
1995	3400	62000	3327	59218
1996	3400	62000	1837	58661
1997	3400	62000	1231	42689
1998	2000	45000	305	22404
1999	1000	45000	125	15367
2000	1000	45000	89	11379

Fuente: Informe interno de Conama V Región, y reportes de Comisión Conjunta SAG-SS Viña del Mar Quillota

Central Termoelectrónica Ventanas

Año	Meta MP [ton/año]	Emisión MP [ton/año]
1994	26000	4141
1995	3000	1941
1996	3000	564
1997	3000	445
1998	3000	1168
1999	3000	1313
2000	3000	876
2001	3000	371*

Fuente: Informe interno de Conama V Región, y reportes de Comisión Conjunta SAG-SS Viña del Mar Quillota
*** emisiones estimadas a partir de la generación reportada por la central.**
 No se incorpora la información de emisiones totales de S, por constituir menos de un 3% de las emisiones del complejo Industrial que incluye a la Fundición Ventanas de Enami.

Fundición Chagres

Año	Emisión S [ton/año]
1993	8724
1994	6748
1995	5054
1996	6771
1997	8488
1998	5963
1999	5572

Fuente: Informes de emisiones de Chagres para el Servicio de Salud de San Felipe. No se dispone de antecedentes para material particulado.

2.3.2 Región Metropolitana

Inventario de emisiones atmosféricas de la Región Metropolitana, Año 2000

Sub-grupo	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NO _x [ton/año]	COV [ton/año]	SO _x [ton/año]	NH ₃ [ton/año]
Sub-total puntuales	1043	6505	8174	4128	6600	201
Sub-total areales	862	5210	1703	51233	255	28215
Sub-total fuentes fugitivas	40334					
Sub-total fuentes móviles	2466	175726	47044	24728	3134	933
Total inventario	44705	187441	56920	80089	9989	29348

Fuente: CENMA

Inventario de emisiones atmosféricas de la Región Metropolitana sólo con fuentes calculadas para regiones, Año 2000

Sub-grupo	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NO _x [ton/año]	COV [ton/año]	SO _x [ton/año]	NH ₃ [ton/año]
Sub-total puntuales	1043	6505	8174	4128	6600	201
Sub-total areales (1)	456	1934	1390	39930	255	28163
Sub-total fuentes fugitivas (2)	6735					
Sub-total fuentes móviles (3)						
Total inventario	8234	8439	9564	44058	6855	28363

(1): En este ítem se han eliminado las emisiones correspondientes a incendios urbanos, biogénicas, combustión de leña residencial, lavasecos, pintado de vehículos por no estar estimados para el resto de las Regiones.

(2): En este ítem se han eliminado las emisiones provenientes de polvo resuspendido de calles pavimentadas por no tener este ítem cobertura total en el resto de las regiones.

(3): En este ítem se han eliminado las emisiones de fuentes móviles por no tener este ítem cobertura total en el resto de las regiones.

Fuente: CENMA

2.3.3 VI Región

Inventario de emisiones atmosféricas de la VI Región, Año 1999

Sub-grupo	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV [ton/año]	SOx [ton/año]	NH3 [ton/año]
Sub-total puntuales	2654	533	751	11	482861	96
Sub-total areales	3967	24579	409	9262	81	11809
Sub-total fuentes fugitivas (1)	8772					
Sub-total fuentes móviles (2)	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Total inventario	15392	25112	1160	9273	482942	11905

(1): Las emisiones de polvo resuspendido de calles pavimentadas sólo presentan una cobertura para la ciudad de Rancagua, por tanto se excluyeron del Inventario Regional

(2): Las emisiones de fuentes móviles solo presentan una cobertura que cubre Rancagua, por tanto estas emisiones se excluyeron del Inventario Regional

Fuente: CENMA

Inventario de emisiones atmosféricas de Rancagua, Año 1999

Sub-grupo	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV [ton/año]	Sox [ton/año]	NH3 [ton/año]
Sub-total puntuales	35	52	82	1	706	12
Sub-total areales (1)	18	67	125	10937	80	122
Sub-total fuentes fugitivas (2)	4956					
Sub-total fuentes móviles	44	7948	1013	965	51	16
Total inventario	5054	8068	1220	11903	837	150

(1): Para las emisiones provenientes de crianza de animales y aplicación de pesticidas solo existen valores globales para la Región por tanto estas no están consideradas para Rancagua

(2): Para las emisiones provenientes de actividades de construcción y preparación de terrenos agrícolas solo existen valores globales para la Región por tanto estas no están consideradas para Rancagua

Fuente: CENMA

2.3.4 VIII Región

Inventario de emisiones atmosféricas de la VIII Región, Año 2000 (CENMA)

Sub-grupo	MP 10 [ton/año]	CO [ton/año]	NO _x [ton/año]	COV [ton/año]	SO _x [ton/año]	NH ₃ [ton/año]
Sub-total puntuales	10778	33709	9398	2450	26842	3963
Sub-total areales	3640	22569	362	12426	102	73813
Sub-total fuentes fugitivas	16512					
(1)						
Sub-total fuentes móviles (2)	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Total inventario	30930	56277	9760	14875	26943	77776

(1): En relación a las emisiones de polvo resuspendido de calles pavimentadas solo presentan una cobertura para el Gran Concepción, por tanto estas emisiones se excluyeron del Inventario Regional

(2): La emisiones de fuentes móviles solo presentan una cobertura que cubre el Gran Concepción, por tanto estas emisiones se excluyeron del Inventario Regional

Fuente: CENMA

Inventario de emisiones atmosféricas del Gran Concepción, Año 2000

Sub-grupo	MP 10 [ton/año]	CO [ton/año]	NO _x [ton/año]	COV [ton/año]	SO _x [ton/año]	NH ₃ [ton/año]
Sub-total puntuales	4432	2416	4491	1433	15898	425
Sub-total areales (1)	779	4693	128	3977	48	3552
Sub-total fuentes fugitivas	9925					
(2)						
Sub-total fuentes móviles	248	16218	5043	2233	293	36
Total inventario	15384	23326	9661	7644	16239	4013

(1): Para las emisiones provenientes de crianza de animales y aplicación de pesticidas solo existen valores globales para la Región por tanto estas no están consideradas para el Gran Concepción

(2): Para las emisiones provenientes de actividades de construcción y preparación de terrenos agrícolas solo existen valores globales para la Región por tanto estas no están consideradas para el Gran Concepción

Fuente: CENMA

2.3.5 Comparación de Inventarios

En la siguiente tabla se presentan inventarios para las distintas Regiones involucradas. En el caso de la Región metropolitana solo incluye aquellas fuentes que tienen cobertura total en Regiones.

Emisiones a la Atmósfera por Región, totales anuales (Miles ton /año)

REGION	MP	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	Polvo
V Región (1)	7830	18003	7905	14812	58168	11351	23713
Región Metropolitana	1499	8439	9564	44058	6855	28363	6735
VI Región	6620	25112	1160	9273	482942	11905	8772
VIII Región	14418	56277	9760	14875	26943	77776	16512

(1): No se incluye las emisiones de la Refinería de Petróleos de Concón

Fuente: CENMA

2.3.6 Conclusiones

En primer lugar es importante destacar que la tabla presentada no incorpora las emisiones de fuentes móviles dada su limitada cobertura en Regiones, no obstante es posible apreciar de las tablas anteriores que en la Región Metropolitana los valores para este grupo de fuentes son muy superiores a los existentes en Regiones lo cual viene dado principalmente por el mayor parque vehicular, las mayores distancias recorridas y menores velocidades medias de recorridos lo cual provoca mayores emisiones.

En relación al polvo resuspendido los valores de la Región Metropolitana son menores ya que para efectos de comparación no fueron consideradas las emisiones de calles pavimentadas (componente principal de este tipo de emisiones), por tanto los números presentados corresponden mayoritariamente al polvo proveniente de calles sin pavimentar lo cual es mayor en Regiones. Por otra parte, el nivel de actividad de construcción de caminos también presenta un nivel mas intenso en Regiones.

En relación al NH₃ en la VIII Región el valor es muy superior al resto de las regiones dado el mayor número de crianza de animales, para el caso de la Región Metropolitana el número es un mayor a las Regiones V y VI debido principalmente a la mayor población y a un numero dos veces mayor de crianza de animales.

Para SO_x las mayores emisiones provienen de las fundiciones de cobre, donde Caletones en la VI Región tiene emisiones que son cerca de 48 veces más altas que el total de la RM. En el caso de la V Región estas emisiones aunque menor que en Caletones provienen principalmente de Chagres y Ventanas. Al respecto, se señala que no se dispone se información de emisiones desde RPC, se recomienda integrarla a los inventarios, ya que se estima, según el tipo y tamaño de esta industria, que los aportes de SO_x desde esta RPC pueden alcanzar una parte significativa de las fuentes de azufre en la Región (aproximadamente la mitad de las emisiones de azufre de la fundición Chagres).

En relación a los COV las diferencias principales son producto de emisiones residenciales las cuales evidentemente son de mayor magnitud en la Región Metropolitana. En relación a la V y VIII regiones, en la primera este efecto se ve compensado por la presencia de grandes estanques de almacenamiento de combustible.

En relación al NOX este viene dado principalmente por las fuentes fijas por tanto por la intensidad de actividad industrial en donde destacan la generación de eléctrica, la producción de cemento, la producción de hierro y acero y la producción de vidrio. En terminos de actividad industrial la Región Metropolitana se ve favorecida por el mejor tipo de combustible y una mayor difusión de tecnologías de control de estas emisiones.

En el caso del CO en la V Región este valor viene dado principalmente por la gran ocurrencia de incendios forestales, lo cual también sucede en la VIII Región pero a una menor escala según los antecedentes recabados en los Inventarios.

En relación al material particulado, en la Región Metropolitana este valor corresponde principalmente a la actividad industrial, en donde existe una gran inversión en tecnología de abatimiento y mejores combustibles y de ahí su bajo valor, situación que ocurre de manera opuesta en Regiones. En relación a las Regiones V y VIII este aporte también es aumentado por los incendios forestales. Finalmente en la VIII Región este efecto se ve reforzado principalmente al intensivo uso de combustibles altamente contaminantes.

Referencias

- CAPP, 1999. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 1999. Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile. Capítulo II.1 Aire, p. 37-73.
- CONAMA VI Región, 2001: Informe de seguimiento y control al Plan de Descontaminación al área circundante a la Fundición de Caletones de la División El teniente, CODELCO Chile. Tercer Cuatrimestre 2000, Septiembre- Diciembre 2000.
- Gallardo, L., Olivares, G., Aguayo, A., Langner, J., Aarhus, B., Gidhagen, L., 2000. “*Regional Dispersion of Oxidized Sulfur over Central Chile Using the HIRLAM – MATCH System*”. Strengthening of the Air Quality Information System (Working area 2): Application of a regional-scale model over the central part of Chile. Final Report. National Commission for the Environment.

2.4 Modelación atmosférica

2.4.1 Campos de viento V Región

Para la construcción de los campos meteorológicos se utilizó un esquema de tipo diagnóstico con el modelo CALMET (Scire, J.S., Earth Tech, Inc., <http://src.com/calpuff>).

Los datos básicos de entrada corresponden a tres grupos principales:

- Campos existentes calculados con el modelo dinámico Hirlam, con resolución horizontal de 10Km.,(Gallardo et al., 2000; Gidhagen et al., 2001).
- Datos de relieve y tipo y uso de suelos obtenidos de bases de datos disponibles en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (US Geological Survey, <http://www.usgs.gov>).
- Observaciones meteorológicas de superficie y altura.

A diferencia de los campos originales de Hirlam limitados por una gruesa resolución espacial en la horizontal, los campos calculados reflejan las perturbaciones introducidas por una topografía de gran complejidad como la del valle del Aconcagua. Se observa la canalización de flujos por valles que quedan representados a una resolución de 2 Km. en comparación a la resolución original de los campos de Hirlam de 10 Km. De este modo se observa por ejemplo la división del flujo por el valle hacia Quillota y hacia Limache.

Una mejor resolución también permite la representación de rasgos de mesoescala como la circulación originada por el calentamiento diferencial de cerros de gran envergadura que antes se encontraban suavizados al interior del Valle del Aconcagua y en la zona costera, donde también se observa la penetración del flujo marino hacia los valles en la condición diurna y flujo desde el continente hacia el mar en la condición nocturna. En este caso cualitativamente se observa buena correspondencia entre las observaciones disponibles en Casablanca del año 2001 a condiciones similares de períodos simulados de años anteriores.

Una de las desventajas más importantes del esquema diagnóstico utilizado radica en que los resultados dependen fuertemente de la calidad y distribución espacial de las observaciones, (Jin Young Kim et al, 2000). En general, las observaciones de superficie provienen de las redes de monitoreo que han establecido los grandes núcleos emisores de contaminantes: Complejo Industrial de Ventanas, Refinería de Petróleos Concón, Termoeléctricas, Cemento Melón, y Fundición de cobre en Chagres. Sin excepción, todas estas redes están orientadas a mediciones muy locales y contaminantes específicos, careciendo de una perspectiva de carácter regional orientada al efecto del conjunto de emisores sobre toda la región, en diferentes tipos de contaminantes como el SO₂, el material particulado y aquellos asociados al problema fotoquímico. Una representación espacial de las observaciones disponibles muestra que se encuentran agrupadas en el entorno muy cercano a las fuentes y no se tiene una distribución más representativa del efecto integral de todos los emisores ni de los patrones de circulación en toda la región.

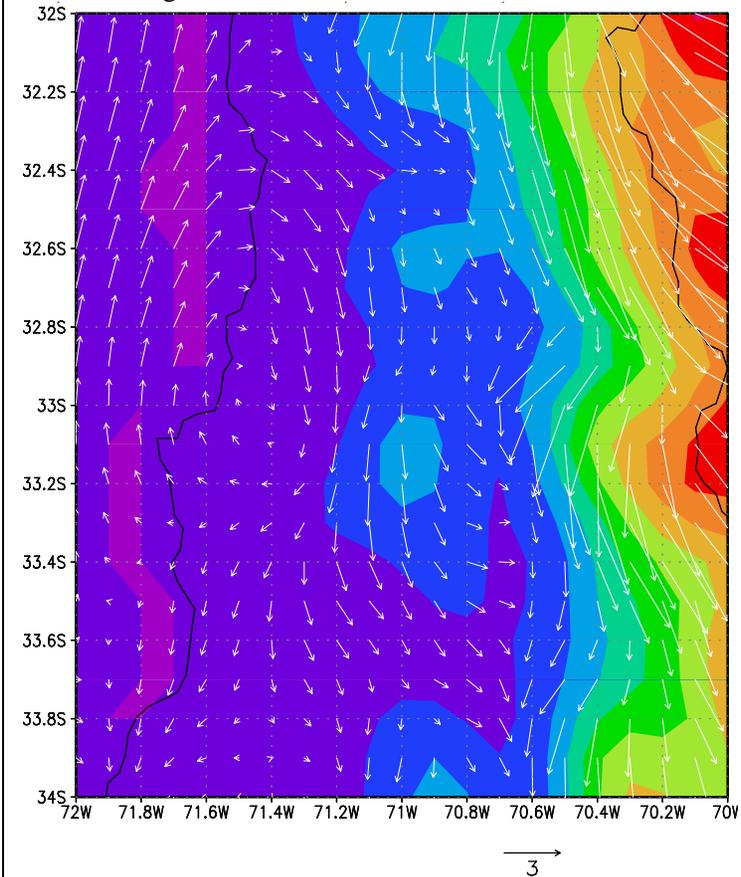
Existen lugares desprovistos de información donde el modelo no entrega buenos resultados. Un ejemplo de ello es la zona Norte de Santiago, en el borde sur oriente del área de modelación, donde la estación meteorológica de Quilapilún no fue incorporada, y el modelo no reprodujo la circulación en ese sector de la cuenca. De este modo, es posible que la circulación del Valle de Los Andes no esté bien representada.

En vista de estos antecedentes, es recomendable realizar una coordinación de quienes realizan las observaciones e incluir dentro de los objetivos de medición además de los problemas locales a los que actualmente se orientan, el concepto de una representación de los flujos más regionales, asociados a problemas de impactos de más largo alcance. Así como también incorporar estaciones de observación en lugares de complejidad orográfica sin información como Los Andes, El Melón y San Felipe.

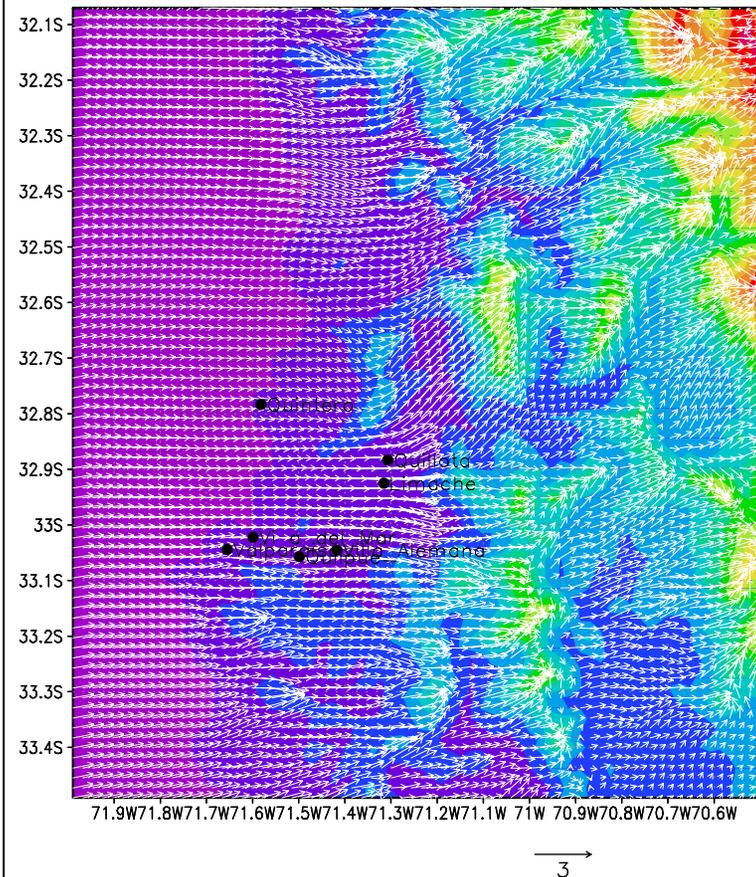
También dentro de las observaciones meteorológicas están las mediciones de altura. En esta aplicación sólo se incluye el sondeo de Santo Domingo, localizado en la costa, próximo al borde sur, pero fuera del dominio de simulación. Por esta razón, los resultados de patrones de flujo en altura reflejan principalmente los provenientes de los campos del modelo Hirlam y las estimaciones del modelo Calmet. En esta zona de tanta complejidad orográfica, con valles estrechos y abruptos cerros que se empinan por sobre los 1000 m junto a la costa y más de 2000 m hacia el interior en unas pocas decenas de kilómetros, sería conveniente disponer de mediciones regulares dentro de los primeros niveles de la atmósfera para tener una caracterización de la evolución de la capa límite en diferentes condiciones del año y tener información más precisa orientada a los problemas de contaminación atmosférica de nivel regional. Se recomienda realizar una campaña de mediciones en altura orientada a la caracterización de la capa límite junto a la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua.

Campo de viento superficial promedio de las 15 horas, período 15 de Mayo al 15 de Junio 2000, V Región.

Resultado original de HIRLAM

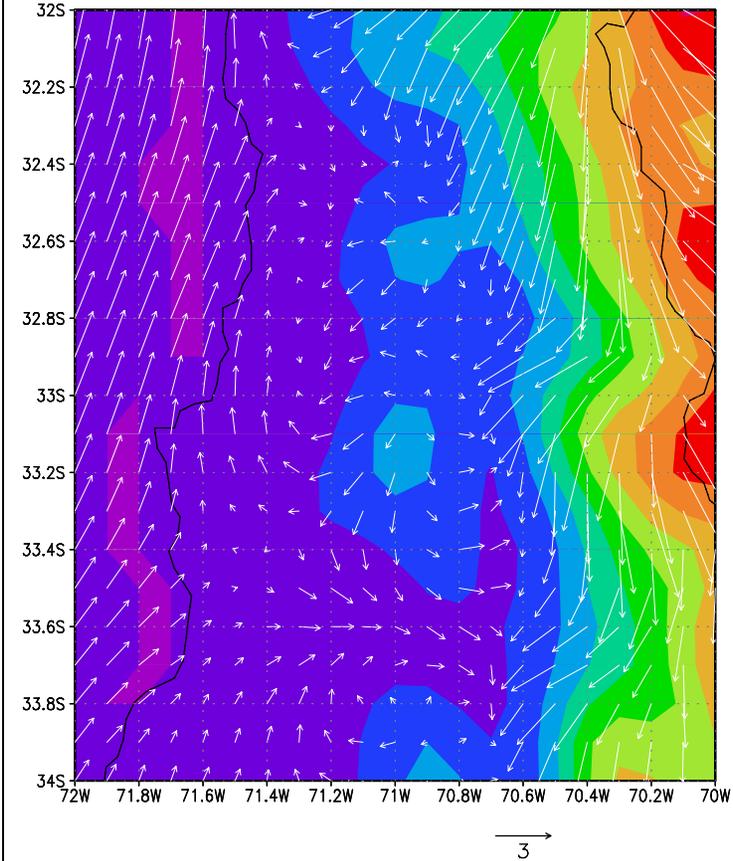


Resultado de HIRLAM-CALMET

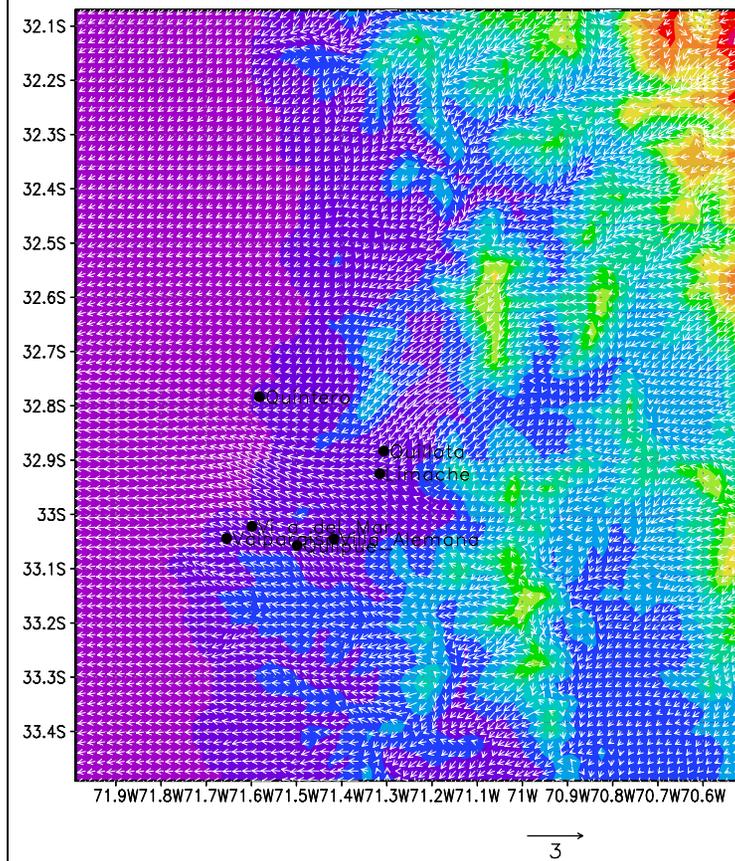


Campo de viento superficial promedio de las 3 horas, período 15 de Mayo al 15 de Junio 2000, V Región

Resultado original de HIRLAM



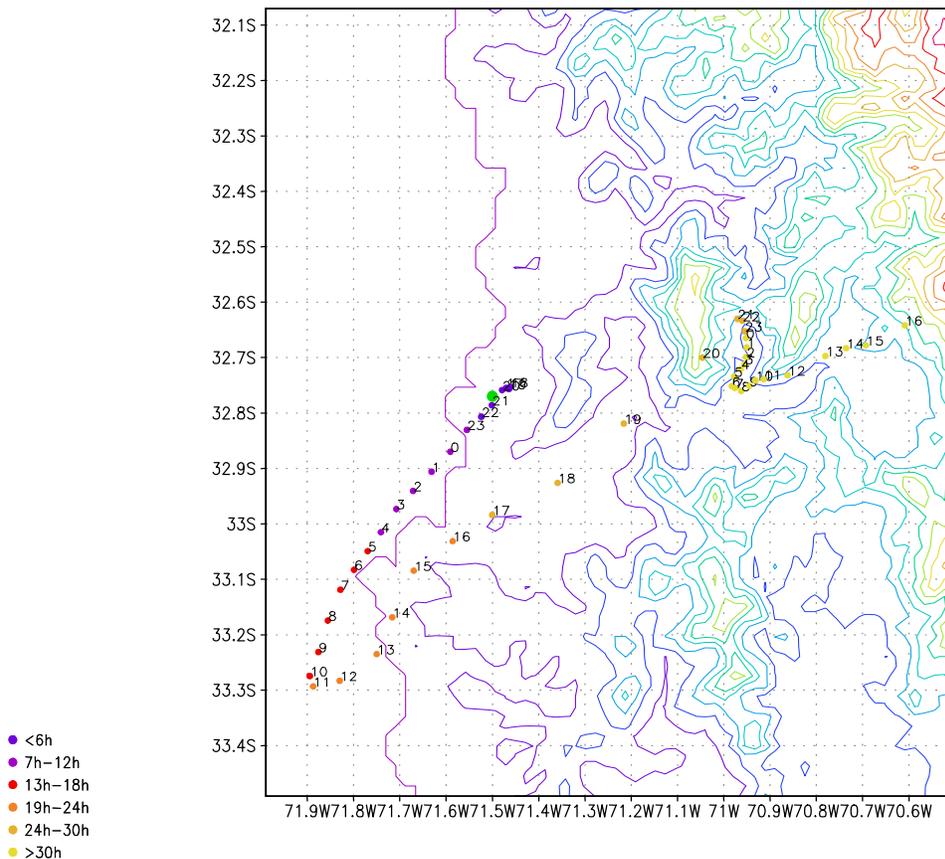
Resultado de HIRLAM-CALMET



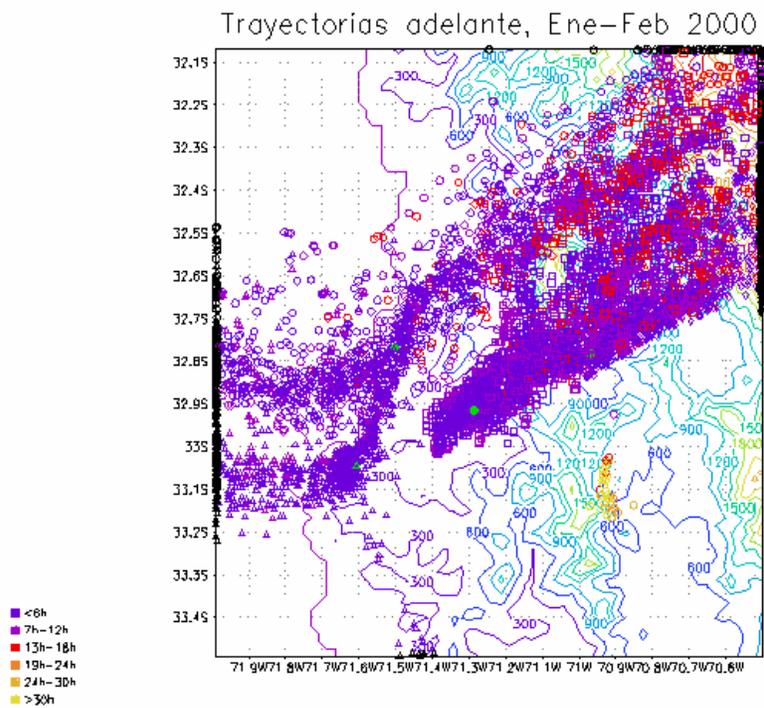
2.4.2 Trayectorias Valle del Aconcagua

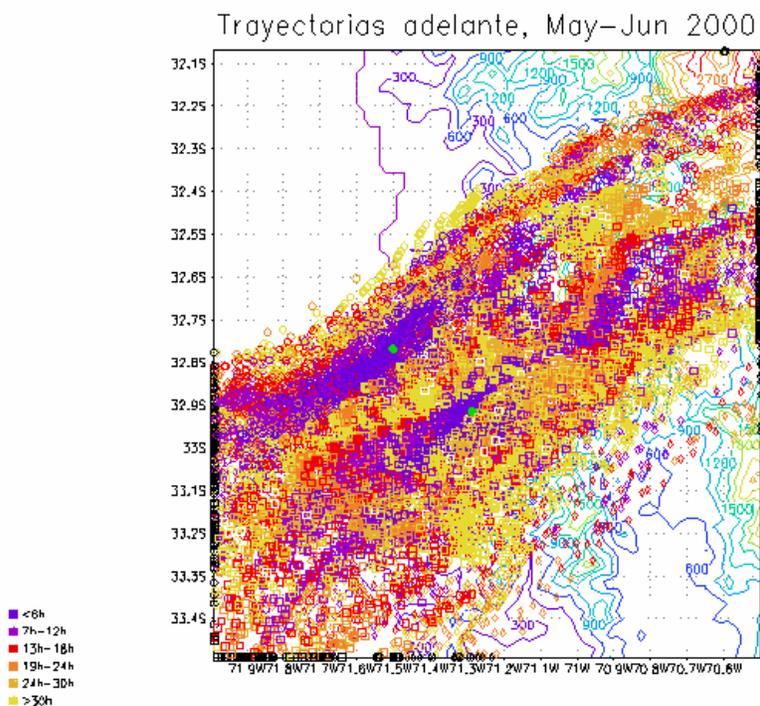
A partir de los campos de viento obtenidos se realizaron cálculos de trayectorias hacia adelante de parcelas de aire con origen en la zona de Ventanas a 220 m, Chagres a 120 m, San Isidro a 120 m y un punto en la urbe de Valparaíso a 30 m.

La figura siguiente muestra la trayectoria hacia delante de una parcela de aire que salió desde un punto próximo a Ventanas a las 16 horas del 16 de mayo del 2000 y sigue hasta el 18 de mayo del 2000 en un punto próximo a Los Andes. Los números junto al punto de color indican la hora local, la escala para el punto indica la edad de la parcela en horas.



La visualización de las trayectorias calculadas para cada hora del período 15 de Enero al 15 de Febrero del 2000, permite identificar que los efectos de las emisiones de grandes fuentes y núcleos urbanos pueden tener alcances de nivel local y regional, por lo que las medidas de control y gestión de la contaminación atmosférica deben tener también ambas dimensiones.





En el caso del período de condiciones de verano la intensidad del flujo diurno cobra gran importancia, retirando las parcelas del dominio en menos de 24 horas, en gran parte del período. Por otra parte, en condiciones invernales, asociadas típicamente a condiciones más estables, el flujo nocturno cobra mayor importancia y velocidades más bajas del viento permiten la recirculación de parcelas de aire dentro del dominio por más de un día. En ambas condiciones se aprecia que las emisiones localizadas en los puntos señalados pueden tener efectos de alcance regional.

2.4.3 Campos de viento VIII Región

Para el caso de la VIII Región se aplicó la misma metodología usada en la V Región para el cálculo de campos de viento y de trayectorias. La diferencia en los resultados se marca en la disponibilidad de observaciones meteorológicas de superficie y altura. Las observaciones de superficie están limitadas a un área geográfica muy reducida en Talcahuano y a unos pocos kilómetros del aeropuerto de Carriel Sur. Sólo recientemente se implementaron mediciones meteorológicas y de calidad de aire en Coronel, y en el proyecto se realizaron mediciones en Chiguayante y la zona de Laraquete en el Golfo de Arauco.

Por otra parte se carece totalmente de información meteorológica de altura, estando la estación de sondeos Puerto Montt de la Dirección Meteorológica de Chile, a más de 400Km. del borde sur del dominio de simulación. En estas condiciones, los resultados de superficie obtenidos reflejan los campos originales provistos por Hirlam, perturbados por los efectos de superficie simulados por Calmet. En altura, se reflejan los campos de Hirlam con la propagación atenuada de los efectos de superficie dentro de los primeros niveles de simulación de la atmósfera.

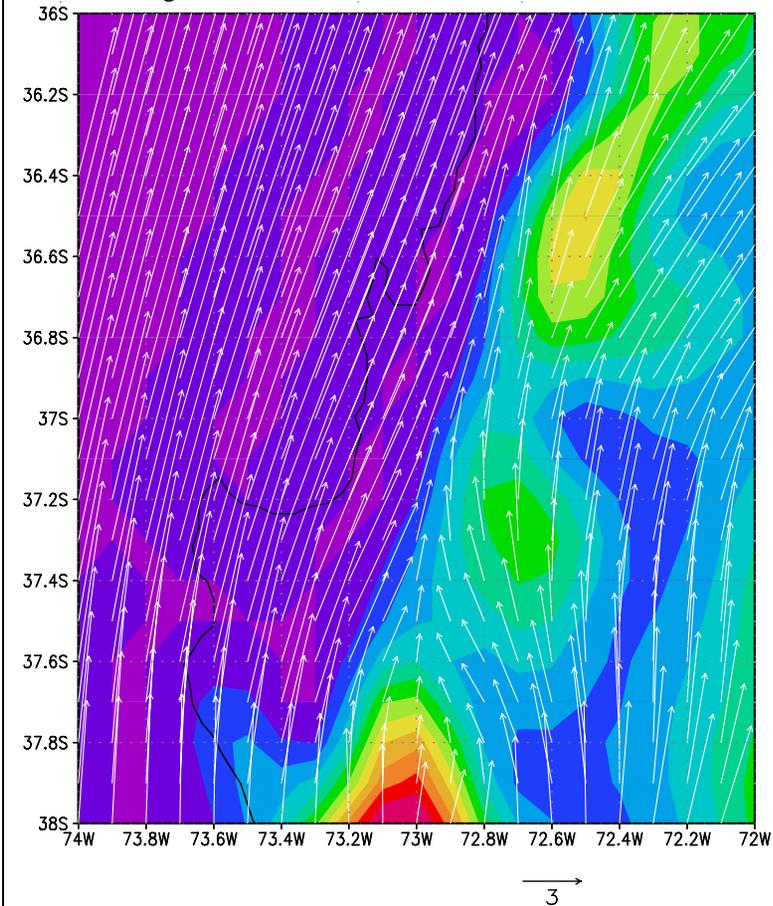
En condiciones nocturnas como diurnas se aprecian los efectos de la orografía sobre los campos de viento superficiales. Las alteraciones de un flujo muy homogéneo que viene desde el océano al enfrentar la costa, y la canalización por valle estrechos. Cualitativamente se aprecia que los patrones de flujo observados en meses del año 2001 son similares a los simulados correspondientes al período 21 de Noviembre al 21 de Diciembre de 1999 en la zona de Laraquete en el Golfo de Arauco. Sin embargo, para el caso de Chiguayante el modelo no reproduce el drenaje nocturno por el río Bio Bio hacia el océano.

Los resultados del esquema de tipo diagnóstico se pueden mejorar aumentando la cobertura de las observaciones de superficie y de altura. Por otro lado, sería recomendable realizar pruebas con un modelo de tipo dinámico y comparar resultados. En ambos casos, la disponibilidad de observaciones es fundamental, ya sea para su incorporación en los esquemas de cálculo, como para la validación de resultados de simulación y comprensión de los patrones de flujo en las áreas próximas a Concepción y la salida del Bio Bio al océano.

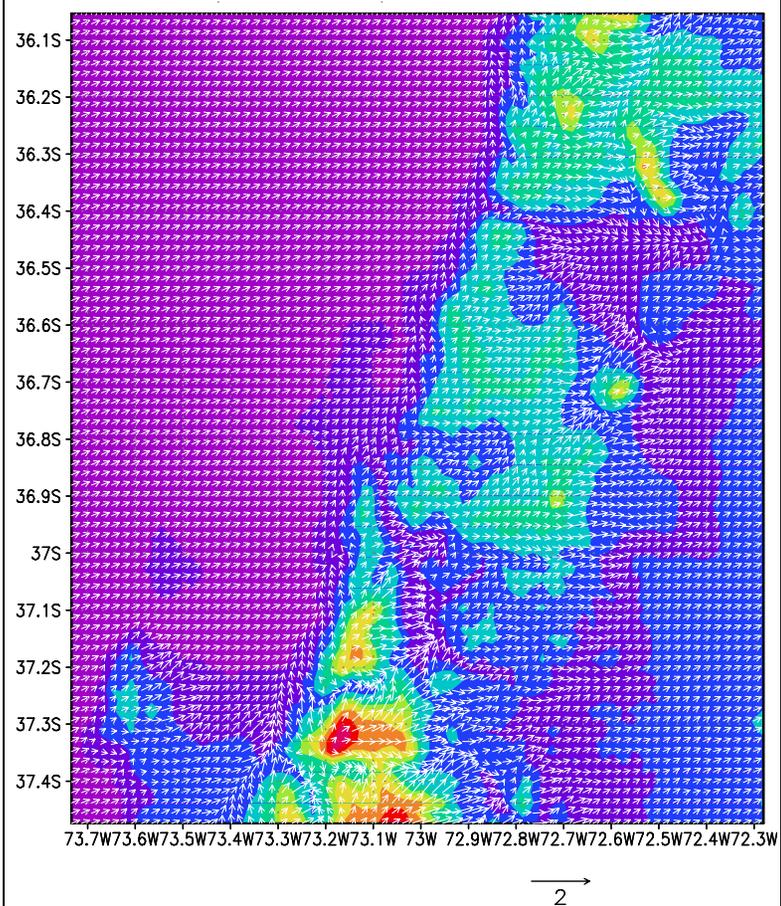
En consideración a estos antecedentes, se recomienda el establecimiento de observaciones regulares de superficie y realizar campañas de observación en altura en algunos puntos próximos a Concepción para realizar una caracterización del viento en altura en los niveles bajos de la atmósfera.

Campo de viento superficial promedio de las 3 horas, período 21 de Noviembre al 20 de Diciembre 1999

Resultado original HIRLAM

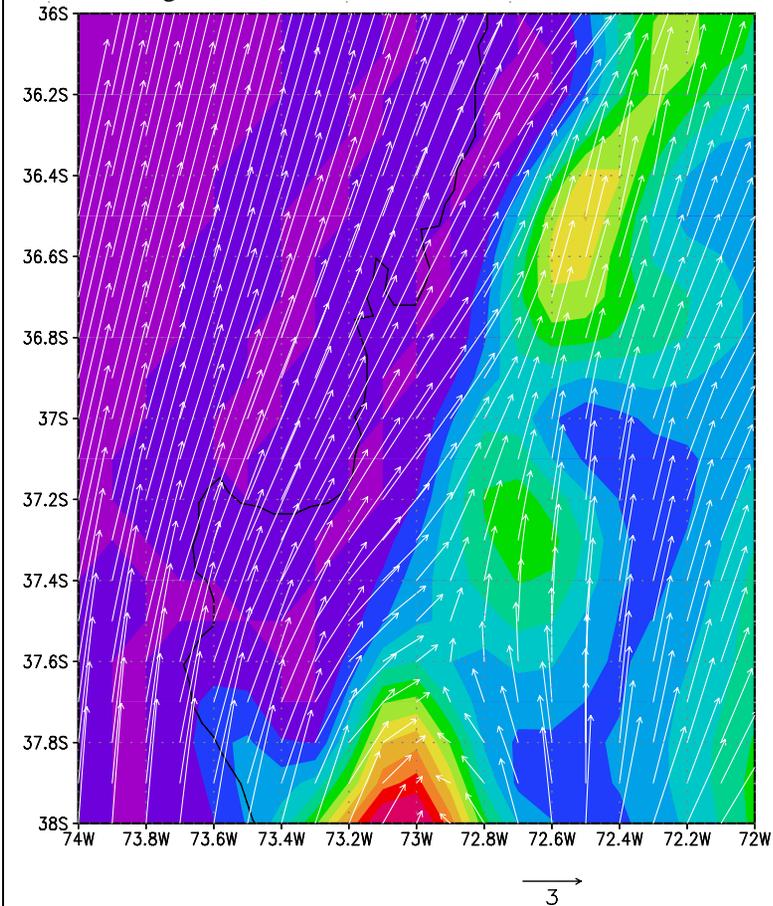


Resultado HIRLAM-CALMET

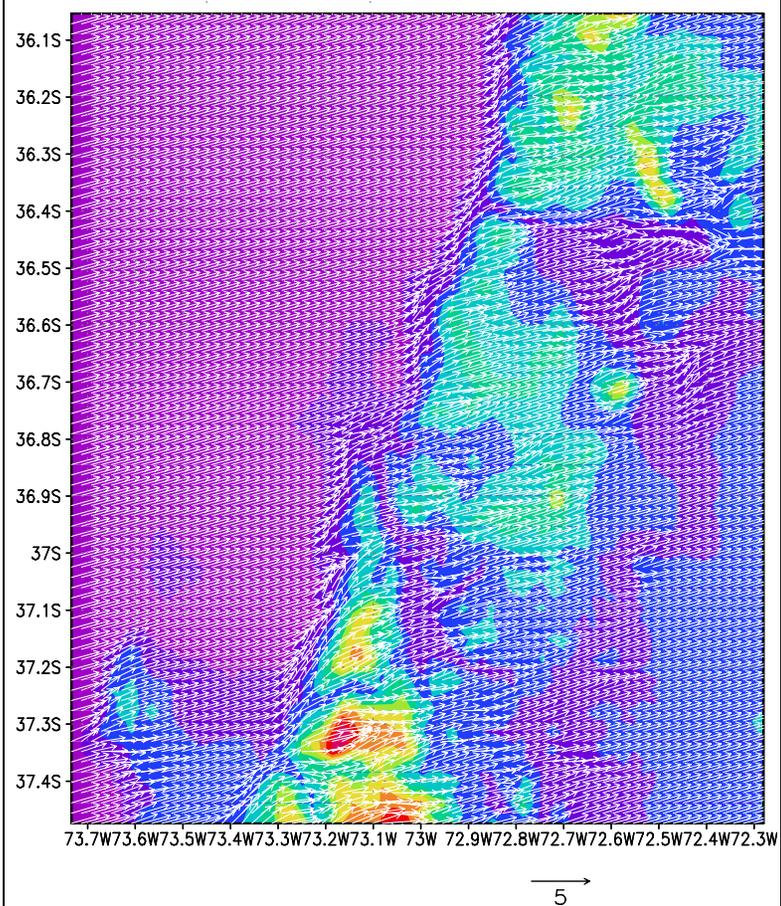


Campo de viento superficial promedio de las 15 horas, período 21 de Noviembre al 20 de Diciembre 1999

Resultado original HIRLAM

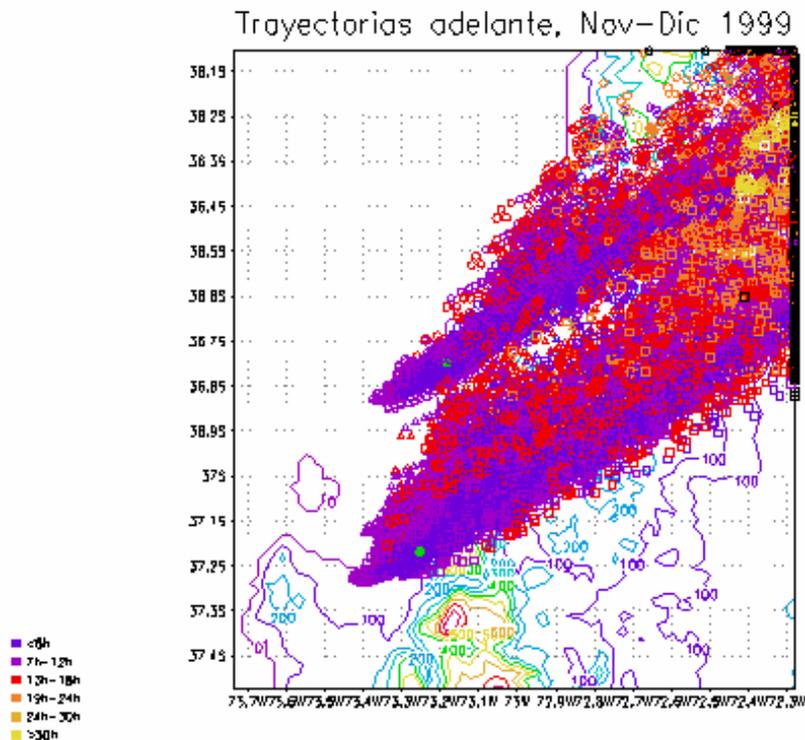


Resultado HIRLAM-CALMET



2.4.4 Trayectorias VIII Región

Con los campos de viento disponibles se calcularon trayectorias hacia adelante de parcelas con origen en Talcahuano, Coronel y Laraquete. Estos resultados preliminares muestran la posibilidad de impacto de las emisiones desde la zona de Coronel y en menor medida desde Talcahuano a la zona urbana de Concepción. Dado que los meses disponibles corresponden a condiciones de verano prevalece el flujo sur oeste, sin embargo en condiciones invernales, con mas situaciones prefrontales es posible que la frecuencia de impacto de las emisiones producidas en la zona de Talcahuano sobre la ciudad de Concepción sea mayor.



3 Antecedentes para delimitar zonas de gestión de la calidad de aire

3.1 Introducción

El objetivo de esta sección del estudio es reunir los elementos que permitan recomendar la extensión de las áreas que podrían ser objeto de programas de control de la contaminación atmosférica en las zonas de la V Región y la VIII Región.

Se usan las normas de calidad de aire vigentes y las propuestas (que se encuentran en proceso de aprobación) como marco de referencia para los análisis de calidad de aire en cada zona.

La Tabla 3.1 resume las normas primarias de calidad de aire vigentes en Chile para Dióxido de Azufre (SO₂), Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado respirable (MP10), Partículas en suspensión (PTS) y Plomo (Pb). De igual forma se señala la norma secundaria de protección silvoagropecuaria.

Para cada zona se resumen los antecedentes recopilados de calidad de aire, y se analizan algunos casos relevantes para la delimitación geográfica y gestión de los problemas encontrados para SO₂, PM10 y O₃. No se dispone de antecedentes para O₃ en la VIII Región.

Tabla 3.1 Normas primarias y secundarias de calidad de aire vigentes en Chile para SO₂, O₃, MP10 y NO₂.

Contaminante	Valor	Periodo de evaluación	Forma de verificación
Dióxido de azufre (SO ₂)	80 µg/m ³	Media aritmética anual	Verificación directa
	365 µg/m ³	Media aritmética diaria	Segundo máximo valor del año
Norma secundaria para SO ₂ – Zona Norte	1000 µg/m ³	Promedio horario	Máximo valor del año
Norma secundaria para SO ₂ – Zona Sur	700 µg/m ³	Promedio horario	Máximo valor del año
Ozono (O ₃)	160 µg/m ³	Media aritmética horaria	Segundo máximo valor del año
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	100 µg/m ³	Media aritmética anual	Verificación directa
Monóxido de Carbono (CO)	40.000 µg/m ³	Media aritmética horaria	Segundo máximo valor del año
	10.000 µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 hrs.	Segundo máximo valor del año
Material particulado respirable (MP10)	150 µg/m ³	Promedio aritmético móvil o en bloque de 24 hrs.	Percentil 98 de valores de un año o más de 7 días en un año
	50 µg/m ³	Promedio aritmético de tres años	Datos de año 2002 en adelante
Partículas en suspensión (PTS)	75 µg/m ³	Media geométrica anual	Verificación directa
	260 µg/m ³	Promedio aritmético de 24 hrs.	Segundo máximo valor del año
Plomo (Pb)	0.5 µg/m ³	Promedio de dos años	Verificación directa

En la actualidad las normas de calidad primaria de NO₂, SO₂, O₃, PTS y CO están siendo revisadas por CONAMA, proceso en el cual probablemente se modificarán algunos niveles y formas de verificación, y se incluirán nuevos periodos de evaluación. La Tabla 3.2 resume las normas propuestas que sufren variación respecto de las propuestas.

Tabla 3.2 Propuestas de modificación a Normas primarias de calidad de aire

Contaminante	Valor	Periodo de evaluación	Forma de verificación
Dióxido de azufre (SO ₂)	31 ppb (80 µg/m ³)	Media aritmética anual.	Promedio aritmético de 3 años consecutivos.
	96 ppb (250 µg/m ³)	Media aritmética diaria.	Promedio aritmético de 3 años sucesivos del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas.
Ozono (O ₃)	60 ppb (120 µg/m ³)	Media aritmética móvil de 8 horas Se deroga norma de 1 hora	Promedio aritmético de 3 años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	53 ppb (100 µg/m ³)	Media aritmética anual.	Promedio aritmético de concentraciones anuales de 3 años sucesivos.
	212 ppb (400 µg/m ³)	Media aritmética horaria.	Percentil 99 del máximo diario en un año calendario o 12 meses a partir inicio mediciones
Monóxido de Carbono (CO)	26 ppmv (30.000 µg/m ³)	Media aritmética horaria	Promedio aritmético de tres años sucesivos del valor del percentil 99 de máximos diarios
	9 ppmv (10.000 µg/m ³)	Promedio aritmético móvil de 8 hrs.	
Partículas Totales en Suspensión (PTS)	Se deja sin efecto Norma primaria para PTS		

3.2 V Región-Valle del Aconcagua

En la V Región existen seis áreas de monitoreo de calidad de aire asociadas a fuentes emisoras individualizadas. Las más importantes, por la magnitud de sus emisiones, corresponden al complejo industrial Ventanas (Enami-Gener) y a la Fundición Chagres (Compañía Minera Disputada de las Condes), ambas sujetas al deber de monitorear por el Decreto 185 del 29 de septiembre de 1991. Ventanas cuenta con un Plan de Descontaminación oficial desde el 30 de diciembre de 1992 (Decreto 252), y gran parte de las comunas de Quintero y Puchuncaví declaradas como zona saturada por SO₂ y PM₁₀ desde el 9 de diciembre de 1993 (Decreto 346). Por otro lado, la localidad de Chagres, situada en el entorno de la Fundición de Chagres, comuna de Catemu, fue declarada zona latente por SO₂ en el mismo Decreto 185.

A las zonas monitoreo mencionadas se suman por Resolución de Calificación Ambiental (RCA), el área de Limache-Quillota relacionada con las centrales de generación térmica San Isidro y Nehuenco de Colbún y Endesa, el área de Calera relacionada a la planta de Cemento Melón, el área de Campiche relacionada a la planta PACSA y por Resolución del Servicio Agrícola y Ganadero (RSAG) el área de Concón contigua a la Refinería de Petróleos Concón (RPC).

Tabla 3.3 Redes de monitoreo permanentes de la calidad de aire en la V Región.

Institución	Ubicación	Parámetros	Estaciones	Motivo
Enami-Gener	Ventanas	SO2, PM10	Los Maitenes, Sur, La Greda, V. Alegre, Puchuncaví	Zona Saturada
PACSA	Campiche	SO2, O3, NO, NO2	Campiche	RCA
Colbún-Endesa	Quillota	SO2, PM10, NO2, O3	Quillota, Sn. Pedro, Limache	RCA
Cementos Melón	Melón	SO2, PM10, NO2, O3*	Calera, Hijuelas	RCA
C.M. Disputada	Chagres	SO2, PM10**	Catemu, Lo Campo, Romeral, Sta. Margarita	Zona Latente
ENAP R. Petróleos Concón	Concón	SO2, PM10	Concón	RSAG

* : O3 sólo en Hijuelas
 ** : PM10 sólo en Catemu y Lo Campo
 RCA: Resolución de Calificación Ambiental
 RSAG: Resolución del Servicio Agrícola y Ganadero

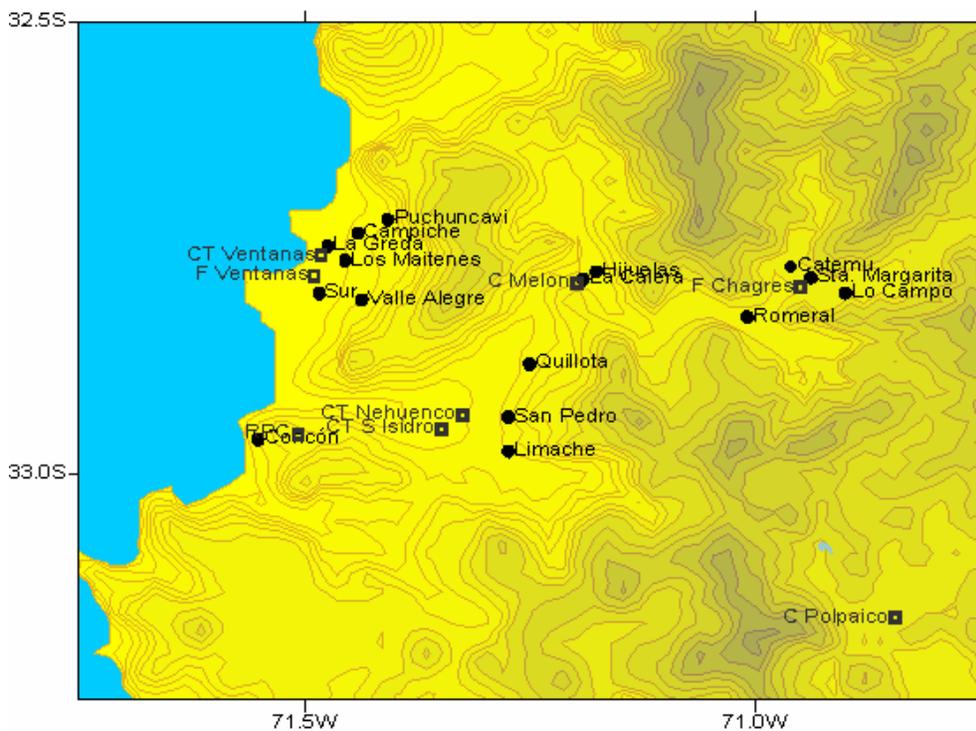


Figura 3.1 Plano con ubicación referencial de redes de monitoreo y grandes fuentes emisoras en la V Región.

La presentación de las estaciones de monitoreo sobre un plano de la V Región muestra que las mediciones se encuentran agrupadas en entornos muy cercanos a las fuentes señaladas. Ello hace necesario considerar los criterios entregados por los resultados de campos de viento y trayectorias en aquellos lugares carentes de mediciones y que se presume son impactados por las fuentes señaladas según se describe más adelante en este capítulo.

A las grandes fuentes puntuales identificadas deben sumarse diversas emisiones de importantes conglomerados urbanos conformados por Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana, y otras localidades de menor tamaño, así como también de áreas rurales de gran producción agrícola.

De las zonas urbanas se destaca Valparaíso por la importancia relativa que pueden tener las emisiones asociadas a la actividad portuaria, que involucran la concentración de transporte de carga por camiones y grandes barcos. De esta fuente no hay antecedentes disponibles en los inventarios de emisiones realizados hasta la fecha.

En términos generales los problemas detectados en la V Región tienen diferentes escalas de tiempo y distribución espacial. La Tabla 3.4 resume en términos globales los problemas de calidad del aire que revelan los antecedentes recogidos en el estudio, para el año 2000.

Tabla 3.4 Resumen de problemas encontrados en la V Región en base al año 2000.

Contaminante / Período	Problema	Causa probable
MP10 / anual (50 µg/m ³ promedio)	Valor de la norma anual superado en varias estaciones. Nivel de fondo alto, cercano a la latencia en todo el Valle del Aconcagua.	Formación de aerosoles secundarios, y contribución de múltiples fuentes directas de material particulado.
MP10 / diario (150 µg/m ³ promedio 24 h) (120 µg/m ³ promedio 24 h)*	El valor máximo en estaciones La Greda y Sur de red Ventanas exceden nivel de norma diaria. La Greda muestra impacto sostenido de fuente cercana, es la única estación que alcanza nivel de latencia al comparar el percentil 98 de las concentraciones.	Contaminación de origen local, por arrastre de polvos por viento desde complejo industrial
SO ₂ / anual (80 µg/m ³ promedio)	Se alcanza el nivel de latencia en tres estaciones: Los Maitenes (Ventanas), Santa Margarita (Chagres) y Concón (RPC).	Impacto directo de grandes fuentes. Eventualmente puede haber superposición de efectos entre fuentes cercanas.
SO ₂ / diario (365 µg/m ³ promedio 24 h) (250 µg/m ³ promedio 24 h)**	Se alcanza el nivel de latencia en Los Maitenes, Sur y Concón. Considerando la nueva norma se alcanza el nivel de saturación.	Impacto de grandes fuentes cercanas
SO ₂ / horario (1000 µg/m ³ promedio 1 h)	Superación frecuente en redes de Ventanas, Concón y Chagres	Impacto de grandes fuentes cercanas
O ₃ (160 µg/m ³ promedio 1 h) (120 µg/m ³ promedio 8 h) **	Se alcanza latencia en Hijuelas. El valor de la norma propuesta es superada en Hijuelas (percentil 98 es 125 µg/m ³), de mantenerse los niveles en 2001 y 2002, se alcanzará nivel de saturación.	Emisión de precursores (NO _x , VOC) desde Termoeléctricas, RPC, centros urbanos y biogénicas (VOC)

*: en caso de que no se promulgue norma para MP2.5 antes del año 2012
 **: normas en consulta

Por un lado, se observa que contaminantes de origen primario registran los efectos más agudos en las estaciones del entorno cercano a grandes fuentes emisoras, es así como los valores de la norma primaria para 24 horas y la norma secundaria de 1 hora para SO₂, se superan en varias estaciones, y se alcanza el nivel de latencia para la norma anual en estaciones de Ventanas, RPC y Chagres.

Los problemas de mayor alcance espacial y persistencia se encuentran relacionados con material particulado y ozono. La superación de valores anuales de referencia para MP10 en diferentes lugares del valle muestra una condición de carácter regional, que puede estar asociada, entre otras múltiples fuentes, a producción de aerosol secundario por transformaciones de SO_x y NO_x. De manera similar, en el caso del ozono los efectos de las fuentes de precursores, principalmente NO_x y compuestos orgánicos volátiles (COV) se observan viento abajo de su origen, como en las estaciones de Limache e Hijuelas, siendo muy probable que existan niveles aun mayores en lugares más alejados por lo que indican las series observadas de este compuesto.

A continuación, se desarrolla un análisis causal de los principales problemas detectados.

3.2.1 Material Particulado (MP10)

El valor de la norma para 24 h de MP10 (150 µg/m³) se supera en dos estaciones de la red de Ventanas (La Greda, Sur). La Figura 3.2 muestra que la estación La Greda alcanza condición de latencia al comparar con la condición de verificación de la norma (98%).

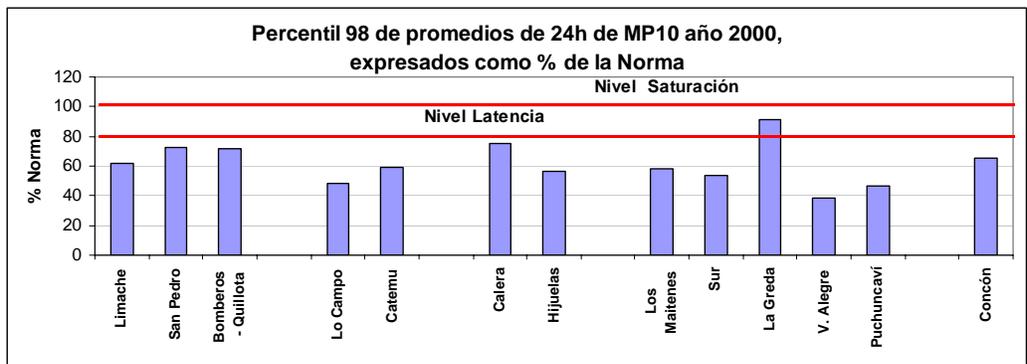


Figura 3.2 Gráfico resumen de excedencia de nivel de norma de MP10 de 24 hrs. en la V Región, año 2000.

En general, se observan tendencias temporales en los niveles de MP10 medidos por las redes asociadas a las grandes fuentes emisoras con excepción de La Greda. En este caso, notables disminuciones de las emisiones de material particulado, no se reflejan en mejoras sustanciales de los niveles medidos de MP10 por dicha estación.

La estación La Greda constituye un caso particular con niveles sostenidamente más altos de MP10 que en el resto de las estaciones de Ventanas. Esta situación requiere de un análisis especial para explicar el origen de tal diferencia y evaluar la representatividad y validez de la información que entrega para considerarla como antecedente en los programas de gestión de la calidad de aire.

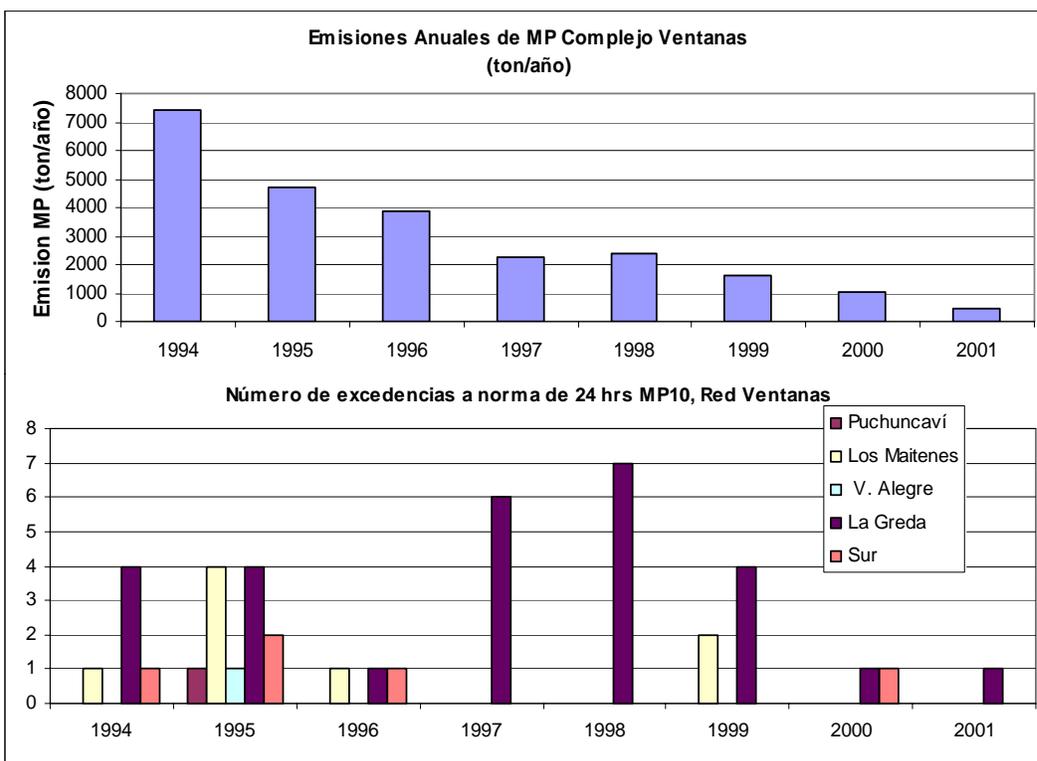


Figura 3.3 Series de emisiones anuales de Material particulado del Complejo Industrial Ventanas y serie del número de excedencias al valor de la norma de 24 horas de MP10 (mediciones cada tres días) en estaciones de la red de monitoreo de Ventanas.

La Greda muestra valores que exceden el límite definido en la norma para promedios diarios de MP10 ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el año 2000, el valor máximo registrado es $289 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor correspondiente al percentil 98% (definido como límite de excedencia para la norma de promedios diarios) es $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De acuerdo a los resultados para ese año, la estación está en condición de latencia para promedios diarios de MP10.

Otras estaciones del entorno no muestran valores que excedan los límites de la norma diaria de MP10, lo que indica la posibilidad de un efecto local. El gráfico de frecuencias acumuladas de MP10 (Figura 3.4) muestra que La Greda tiene un comportamiento diferente al resto de las estaciones de la Red Ventanas, con valores de concentraciones más altos para similares valores de probabilidad de excedencia.

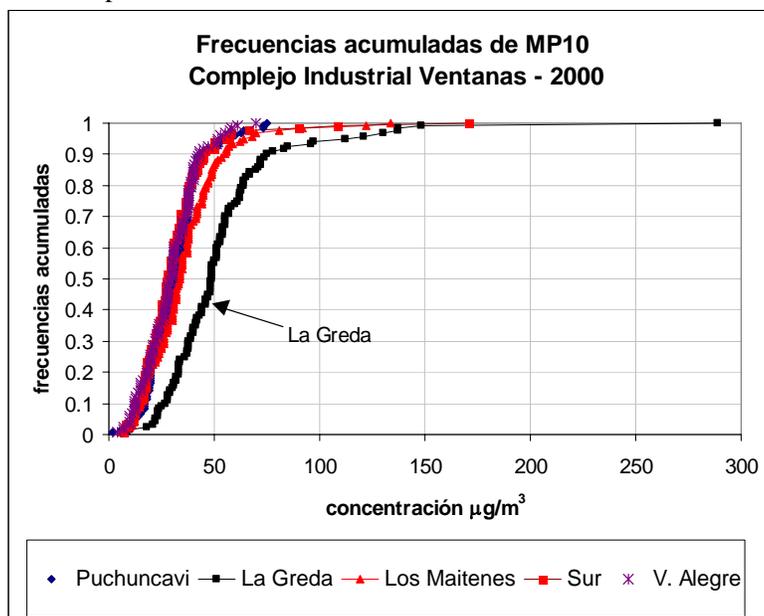


Figura 3.4 Frecuencias acumuladas de valores diarios de MP10 medidos en la Red Ventanas, año 2000

La Tabla 3.5 presenta las relaciones entre concentraciones medias diarias de MP10 en La Greda, y velocidad media y dirección predominante para el período de 11 a 19 h, de mayor desarrollo de la brisa de mar, en meses de verano. La dirección de viento predominante a esas horas es W, SW y WSW para las concentraciones más altas. La Figura 3.5 muestra la relación entre concentraciones de MP10 diarias y velocidades de viento en la tarde. Se observa una tendencia de aumento de concentraciones con velocidades promedio mayores a 3 m/s.

Tabla 3.5 Relación entre MP10, velocidad y dirección del viento en Estación La Greda, enero-marzo 2001

Fecha	MP10 Concentración día µg/m ³	Velocidad del viento promedio (entre 11 y 19 h) m/s	Dirección del viento predominante (entre 11 y 19 h)
25-ene-01	30	3.6	W
22-ene-01	36	4.0	W
16-ene-01	42	3.9	W
13-ene-01	45	4.0	WSW
19-ene-01	56	3.8	WNW
6-feb-01	70	4.1	WSW

3-feb-01	85	4.1	NW
28-ene-01	129	4.0	W
10-ene-01	131	4.3	SW
31-ene-01	134	4.2	WSW
9-feb-01	151	5.0	WSW

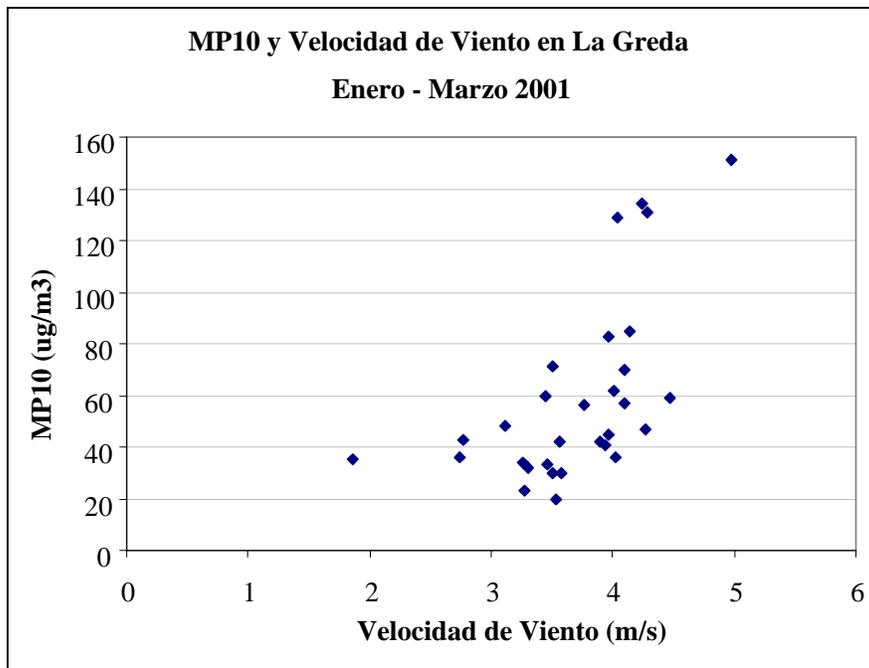


Figura 3.5 Relación entre velocidad de viento y MP10 en La Greda, enero-marzo 2000

Este comportamiento indica un probable impacto de material particulado levantado por efecto del viento, proveniente desde el sector del Complejo Industrial Ventanas, donde la central termoeléctrica es más cercana a La Greda.

Conclusiones de este análisis:

- La contaminación por MP10 observada en La Greda es probablemente de origen local, por arrastre de material particulado por efecto del viento, desde el sector del complejo industrial Ventanas.
- Dado el carácter local del problema, se recomienda una gestión orientada a identificar y controlar las causas que lo producen.
- En virtud de lo anterior, se recomienda realizar una inspección del lugar de monitoreo y sus alrededores para identificar posibles fuentes de contaminación local. Adicionalmente un análisis de la composición química del material particulado puede ser útil para determinar el origen más probable del material levantado por viento y distinguir entre polvo de origen natural y materiales utilizados o generados en el complejo industrial Ventanas.

Promedios Anuales de MP10

La Figura 3.6 presenta la situación del promedio anual de todas las estaciones de monitoreo regular de MP10 de la V Región para el año 2000. Si sólo se considera ese año para efectos de comparación con la norma vigente, se observa la superación de valores anuales para niveles de latencia en diferentes lugares del valle.

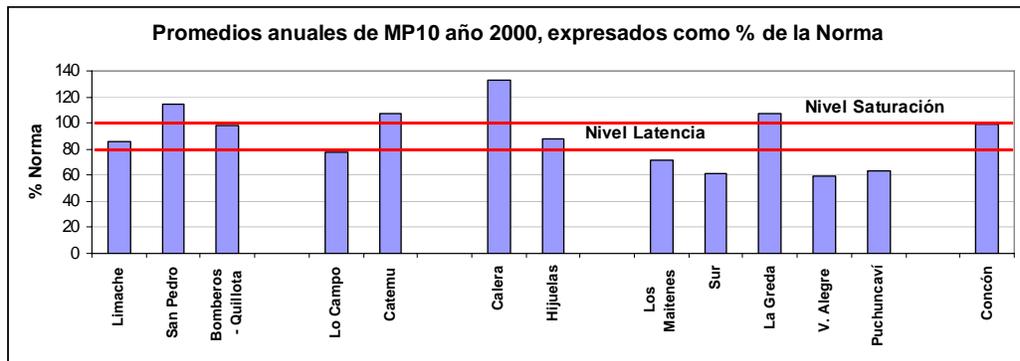


Figura 3.6 Gráfico resumen de excedencia de nivel de norma de MP10 anual en la V Región, año 2000.

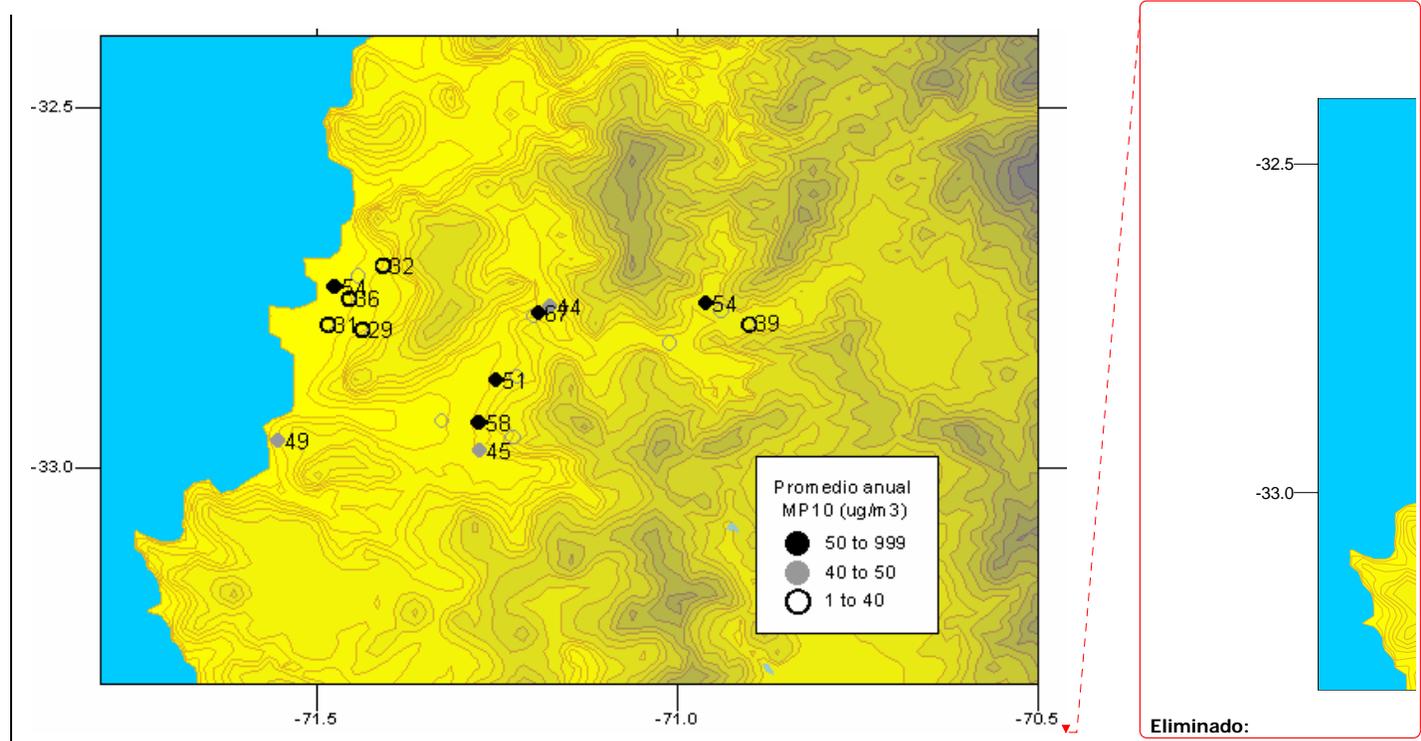


Figura 3.7 Promedios anuales de MP10 medidos en estaciones de la V Región, año 2000

El mapa de la Figura 3.7 presenta los valores medios anuales de MP10 del año 2000. En ese período, las concentraciones alcanzan niveles de latencia y por sobre el valor de la norma anual de MP10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en varios lugares.

Las estaciones costeras de la red Ventanas muestran los menores valores anuales, a excepción de La Greda, afectada por impacto local. La estación Concón, igualmente ubicada en la costa, presenta un promedio anual alto, que en parte se puede atribuir a la actividad urbana en esa localidad y al aporte de otras fuentes como se verá más adelante.

Las estaciones ubicadas hacia el interior presentan en general valores altos, correspondientes a condiciones de latencia o excedencia del valor anual. El valor promedio anual más alto se observa en la estación La Calera, ubicada en el sector urbano, y que puede estar afectada además por material proveniente de las canchas de acopio de la Planta de Cemento Melón.

La condición de latencia o superación del valor límite anual de MP10 al interior del valle del Aconcagua, parece corresponder a un problema de escala regional, al que podrían estar contribuyendo múltiples fuentes, incluyendo emisiones de precursores de aerosoles secundarios formados a partir de SO_x, NO_x y COVs.

Lo anterior es consistente con los antecedentes aportados por estudios previos. El estudio para determinación de una línea base de arsénico en material particulado respirable (SMHI 2000), presenta análisis que indican la gran contribución de emisiones antrópicas a la masa de MP10 en el Gran Valparaíso y Quillota, superior al 60%, basada en estimaciones de aportes de diferentes fuentes usando análisis multivariado de concentraciones de elementos químicos. En Quillota y Viña del Mar se encuentran niveles importantes de As, asociados a emisiones desde fundiciones de cobre. Además, los resultados de modelaciones realizadas para la zona, muestran el aporte de fuentes alejadas sobre los niveles de calidad de aire en el valle del Aconcagua (Gallardo et al. 2000, SMHI 2000).

El análisis de trayectorias realizado en el presente estudio refuerza estas afirmaciones. La Figura 3.8 La figura muestra la trayectoria hacia delante de una parcela de aire que salió desde un punto próximo a Ventanas a las 16 horas del 16 de mayo del 2000. Entre las 2 y las 6 de la mañana la masa de aire pasa por el área costera de Concón y Valparaíso. Al iniciarse el período diurno con flujo SW, la masa se mueve hacia el continente e ingresa a la zona del Gran Valparaíso cerca de las 13 horas y sigue hacia el interior del Valle del Aconcagua hasta el fin del día 17, donde alcanza el valle de Catemu. El flujo nocturno retira la masa del estrecho valle y al comenzar nuevamente el período diurno se mueve hacia la localidad de San Felipe.

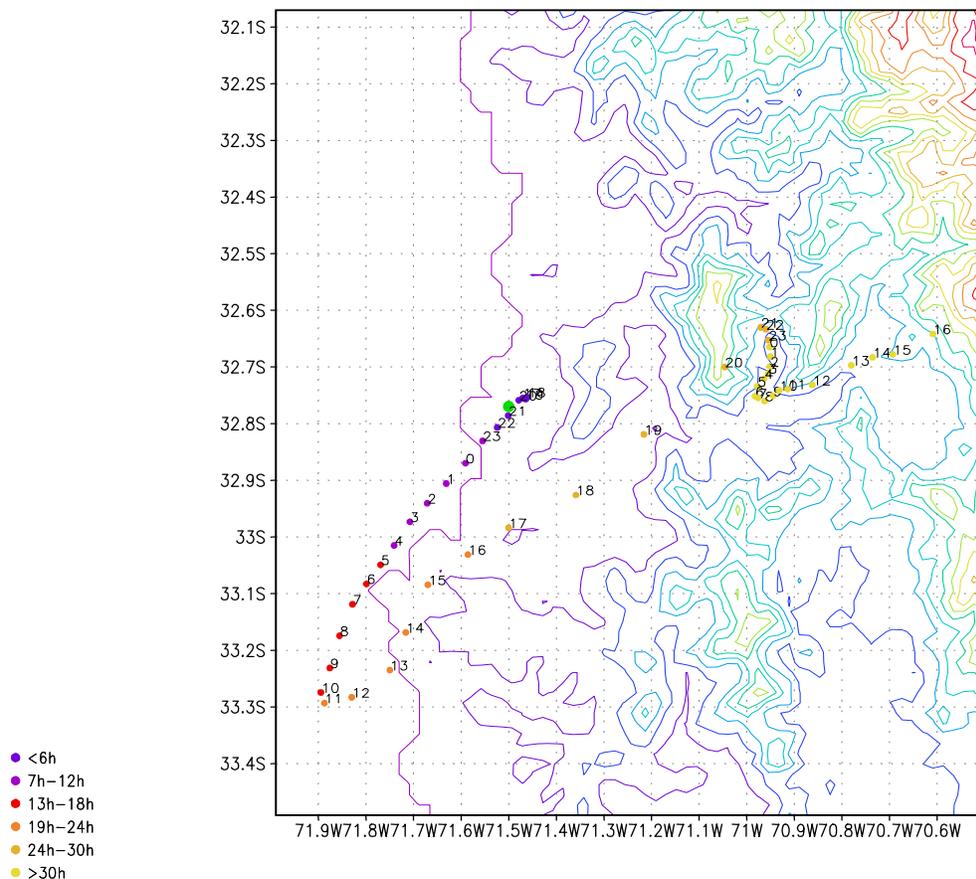


Figura 3.8 La figura muestra la trayectoria hacia delante de una parcela de aire que salió desde un punto próximo a Ventanas a las 16 horas del 16 de mayo del 2000 y sigue hasta el 18 de mayo del 2000 en un punto próximo a Los Andes. Los números junto al punto de color indican la hora local, la escala para el punto indica la edad de la parcela en horas.

De este ejemplo se extrae la posibilidad de impacto en largas distancias de las emisiones de Ventanas en SO_2 y material particulado por formación de aerosol secundario, en Concón, el Gran Valparaíso y el interior del Valle del Aconcagua. Al respecto, existen elementos que permiten argumentar una correlación positiva entre las emisiones de SO_2 en la Fundición Ventanas y las concentraciones observadas en Valparaíso y Viña del Mar entre enero de 1998 y diciembre de 1999⁴, Figura 3.9.

⁴ Anexo 4 “Concentraciones atmosféricas de SO_2 en el Gran Valparaíso y Rancagua v/s emisiones de megafuentes de SO_2 ” - Informe de Actividades del Año 2000 Proyecto “Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile”

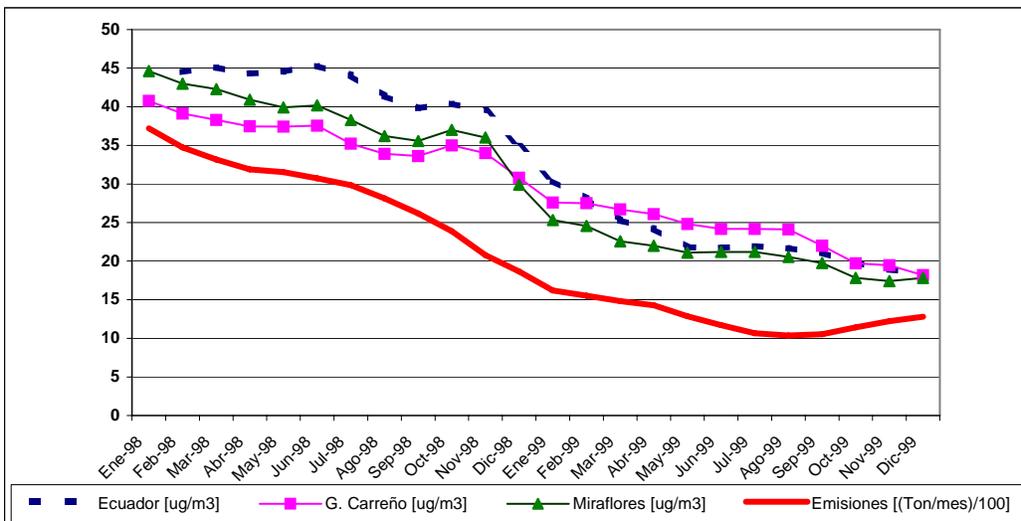


Figura 3.9 Promedios móviles de 12 meses de concentraciones de SO₂ (µg/m³) en 3 puntos de Valparaíso-Viña del Mar, emisiones (miles de Ton/mes) de la Fundación Ventanas entre enero 1998 y diciembre 1999.

Conclusiones del análisis de promedios anuales de MP10:

- Se observa un problema generalizado de latencia y excedencia del valor fijado en la norma, hacia el interior del valle del Aconcagua y Concón.
- Los valores observados en el valle del Aconcagua y Concón podrían tener una contribución significativa de aerosoles secundarios.
- Con excepción de Concón, los niveles observados en el sector costero, en el rango de 30 a 35 ug/m³, podrían representar la línea base regional para promedios anuales de MP10. Esto indica que hay poco espacio para emisiones adicionales de MP10 en la Región.
- Se recomienda estudiar la composición química de MP10 medido en la región, para identificar las contribuciones antrópicas, incluyendo aerosoles secundarios.
- Se recomienda iniciar un plan de gestión ambiental en toda el área del valle del Aconcagua y sectores costeros vecinos, para prevenir la superación de la norma anual de MP10 fijada en el DS 45, que deberá verificarse con las mediciones disponibles a partir de enero de 2002. Ello implica el control de la fuentes existentes y la revisión exhaustiva de nuevas fuentes que pueden aportar con material particulado directo o bien con precursores de aerosoles secundarios que soliciten ingresar en el área.

3.2.2 Dióxido de Azufre (SO2)

La norma anual de SO2 (80 µg/m3) no se supera en los lugares monitoreados, pero se alcanza el nivel de latencia en tres estaciones (Los Maitenes, Santa Margarita, Concón) y una cuarta estación (Sur), está muy cerca de esta condición. El resto de las estaciones muestra valores más bajos, tal como se presenta en la Figura 3.10 y la Figura 3.11.

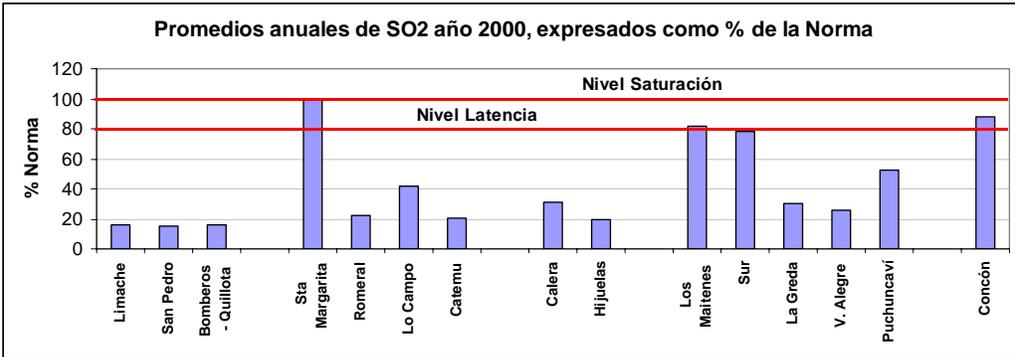


Figura 3.10 Gráfico resumen de excedencia del valor de norma anual de SO2 en la V Región, año 2000. (período Concón de abril de 2000 a marzo de 2001)

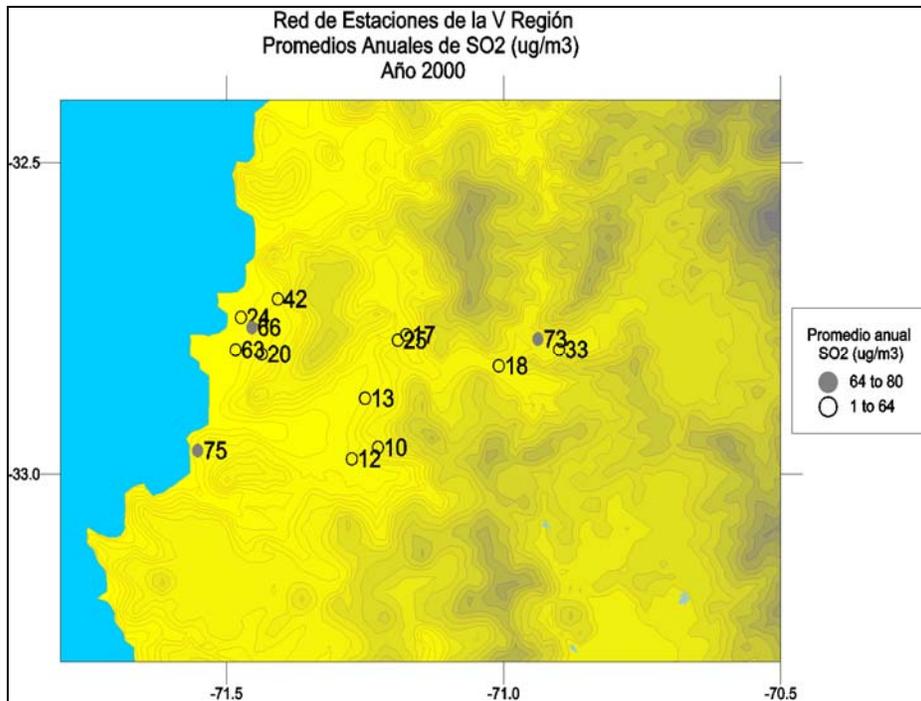


Figura 3.11 Promedios anuales de dióxido de azufre medidos en estaciones de la V Región, año 2000.

La norma diaria vigente para SO₂ (365 µg/m³) no se supera, sin embargo se alcanza el nivel de latencia en Los Maitenes, Sur y Concón

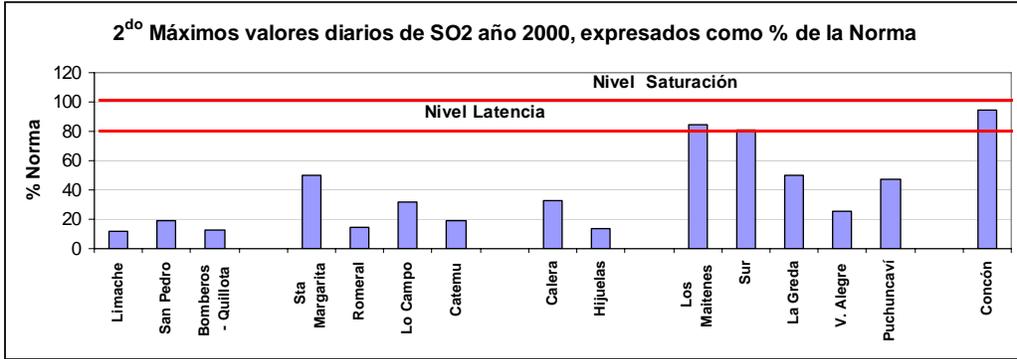


Figura 3.12 Gráfico resumen de excedencia de norma de SO₂ de 24 hrs. en la V Región, año 2000. (período Concón de abril de 2000 a marzo de 2001)

Si se compara las mediciones de la red del Complejo Industrial Ventanas y Concón con la norma propuesta para promedios de 24 h, se alcanza el nivel de saturación en las mismas estaciones donde se llega a la latencia con la norma vigente.

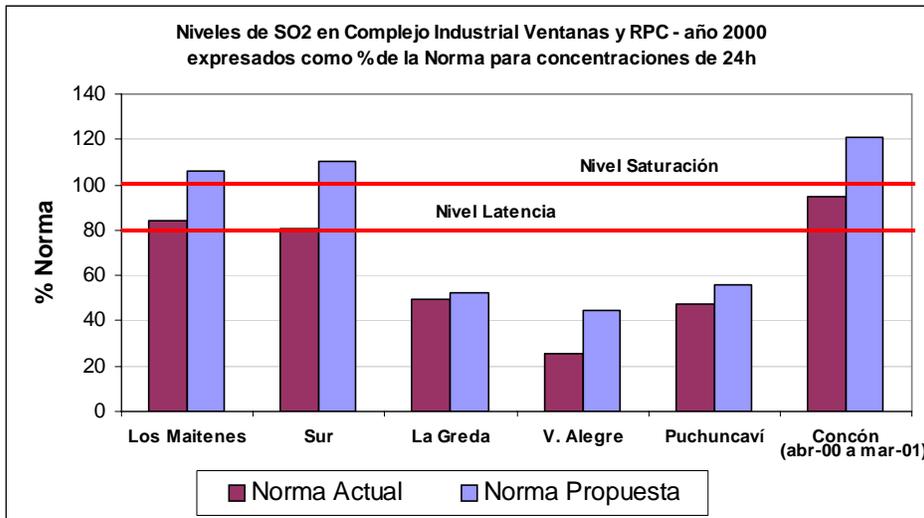


Figura 3.13 El gráfico muestra comparativamente la excedencia de la norma de 24 hrs. de SO₂ vigente y propuesta en la red de Ventanas y RPC. Se excede Norma actual si el 2do valor máximo de promedios de 24h es mayor que 365 µg/m³. Se excede norma propuesta si el promedio de los percentiles 99 de los últimos 3 años es mayor que 250 µg/m³.

La norma secundaria de SO₂ para una hora (1000 µg/m³) se supera en forma frecuente en la Red de Ventanas y Chagres. También se excede en Concón, sin embargo, de acuerdo al DS 185 en esa localidad no aplica esta regulación.

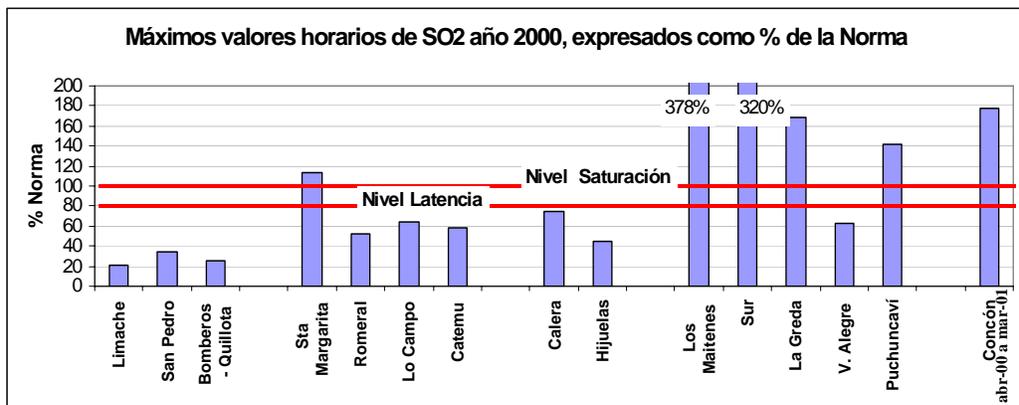


Figura 3.14 Gráfico resumen de excedencia de norma secundaria de SO₂ para 1 hora en la V Región, año 2000. (período Concón de abril de 2000 a marzo de 2001)

De lo expuesto, las situaciones más complicadas de contaminación atmosférica por SO₂ a nivel anual se encuentran en un par de estaciones de la red Ventanas, en la estación Concón y en la estación Santa Margarita de la red Chagres. Estos casos son analizados en forma más detallada a continuación.

Ventanas

Los valores altos de SO₂ observados se pueden asociar directamente a las fuentes cercanas con emisiones importantes de SO_x (RPC, Complejo Ventanas, Chagres), basta ver la fuerte correlación positiva entre las tendencias de las emisiones y los niveles ambientales observados en Ventanas (Figura 3.15) y Chagres (Figura 3.18), sin embargo, los efectos de tales emisiones pueden alcanzar grandes distancias como lo muestra el ejemplo de trayectoria de la Figura 3.8 y la correlación positiva entre emisiones y concentraciones de SO₂ registradas en Valparaíso y Viña del Mar (Figura 3.9). El análisis de casos permite exponer algunas hipótesis al respecto.

Otro antecedente que entregan las tendencias mostradas por la Figura 3.15 es, no obstante la sostenida disminución de las emisiones reportadas por el Complejo Industrial Ventanas, los niveles ambientales de SO₂ crecen en los últimos años. De no identificar nuevas fuentes en el área, se postula la posibilidad de cambios en los procesos del complejo que pueden involucrar mayores emisiones fugitivas que impactan las estaciones más cercanas (Los Maitenes y La Greda), o bien, un informe inadecuado de las emisiones.

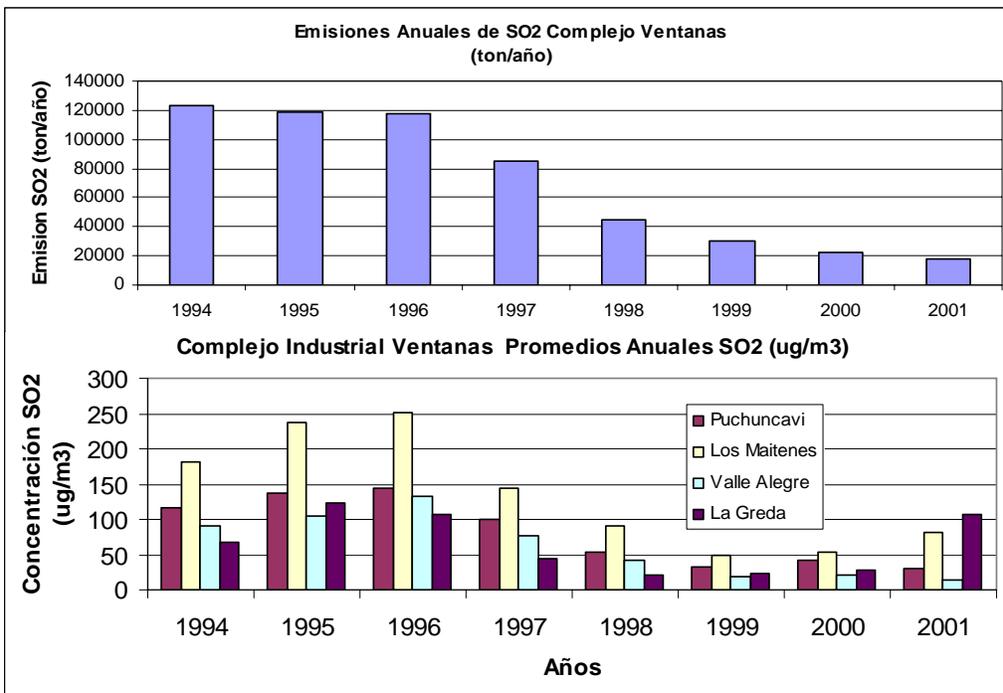


Figura 3.15 Series de emisiones anuales de SO2 del Complejo Industrial Ventanas y serie de promedios anuales de SO2 en estaciones de red de monitoreo.

Los gráficos de la Figura 3.16 muestran series de SO2 y viento medidas por la red de Ventanas. Los niveles más altos de SO2 se registran en las estaciones más cercanas a la fundición, Los Maitenes y Sur, ubicadas al este y sureste respectivamente del complejo industrial. Las señales de impacto también se observan más atenuadas en las estaciones más alejadas de Puchuncaví y Valle Alegre. La Greda, ocasionalmente muestra picos importantes de SO2, lo que revela el paso eventual del penacho concentrado de Ventanas.

Los días con máximos más importantes son el 19, 20 y 21 de noviembre, fechas en donde se aprecia muy claro el desfase temporal en la ocurrencia de máximos de corta duración, y por tanto relacionados al paso de un penacho que rota en el transcurso de las horas del día. Estos máximos se registran alrededor de las 8 AM en la estación Sur acompañado de flujo del NW y cerca de las 10 AM en Los Maitenes con flujo del W, horas de transición al establecimiento de condiciones diurnas con flujo de dirección SW.

Del análisis los elevados niveles de SO2, especialmente los de corta duración, registrados en algunas estaciones de la red del Complejo Industrial Ventanas parecen estar influenciados principalmente por las emisiones de dicho complejo, con una baja influencia de otras posibles fuentes. Lo anterior es consistente con el análisis de trayectorias hacia atrás realizado en una de las estaciones del complejo y que se muestra en la Figura 3.17.

Dicho análisis muestra las trayectorias de las parcelas de aire que llegaron cada hora a la estación La Greda entre los días 29 y 31 de enero del 2000. Como se aprecia, las masas de aire se originan preferentemente en el océano o en las zonas del entorno de la estación, en las cuales no existen fuentes emisoras de SO₂ de relevancia.

Dado ello, se recomienda que el control de los problemas de contaminación de SO₂ registrados en las estaciones de la red Ventanas se restrinja a las emisiones del Complejo Industrial Ventanas. Sin embargo, como ya se mencionó, ello no significa que los impactos de las emisiones de este complejo estén circunscritos a su entorno, más aun, es probable que alcancen zonas densamente pobladas como Concón (se discute más adelante) y las zonas elevadas del Gran Valparaíso, donde es posible que se presenten eventos de altas concentraciones horarias en la madrugada de algunos días causados por las emisiones del complejo.

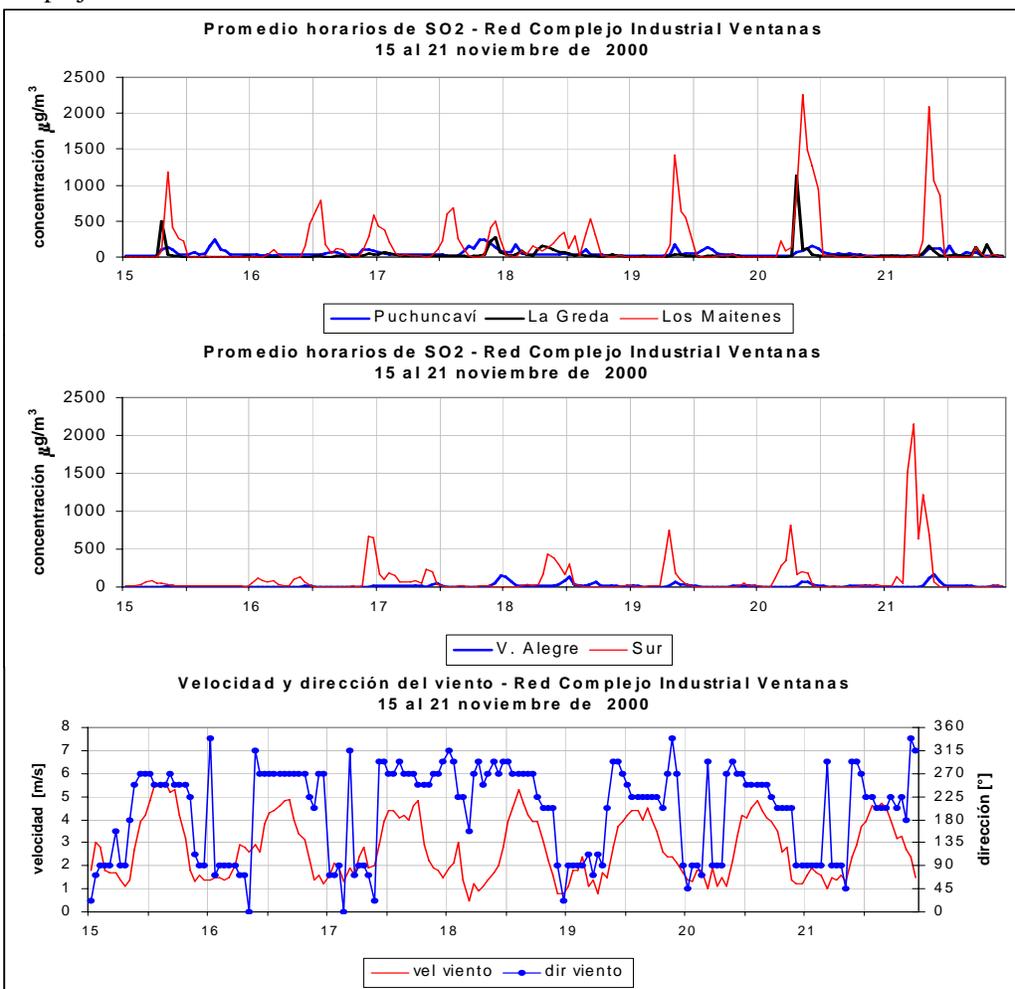


Figura 3.16 Series de SO₂ y viento medidas por red de monitoreo de Complejo Industrial Ventanas, período 15 al 21 de noviembre del 2000.

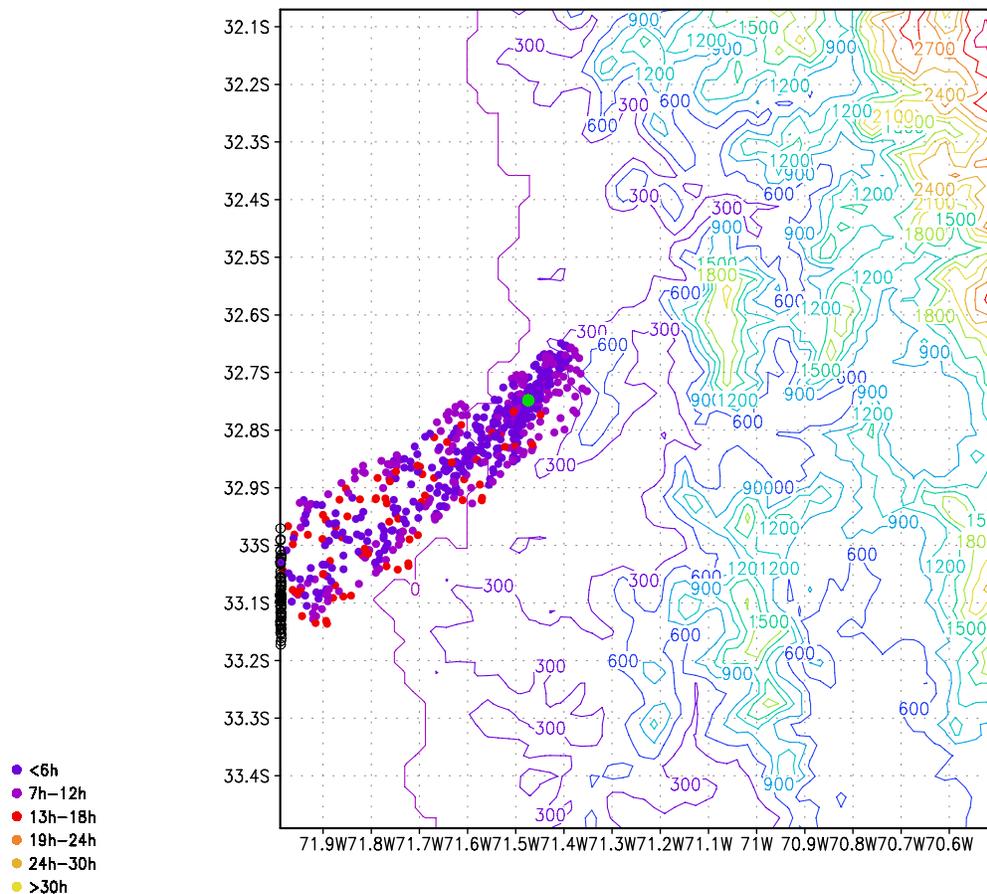


Figura 3.17 La Figura muestra las trayectorias atrás de parcelas de aire que llegan a la ubicación de la estación La Greda en cada hora del período comprendido entre las 0 horas del 29 de enero 2000 y las 23 horas del 31 de enero 2000.

Chagres

En el caso de Chagres la estación Santa Margarita es la que recibe el impacto más directo de las emisiones de la fundición, hecho que concuerda en las tendencias anuales mostradas en la Figura 3.18. Las otras estaciones, no siguen este comportamiento, registrando niveles más bajos. Al respecto, según muestran los análisis de trayectorias, existe la posibilidad de que reciban impacto eventual de fuentes más lejanas ubicadas en la costa.

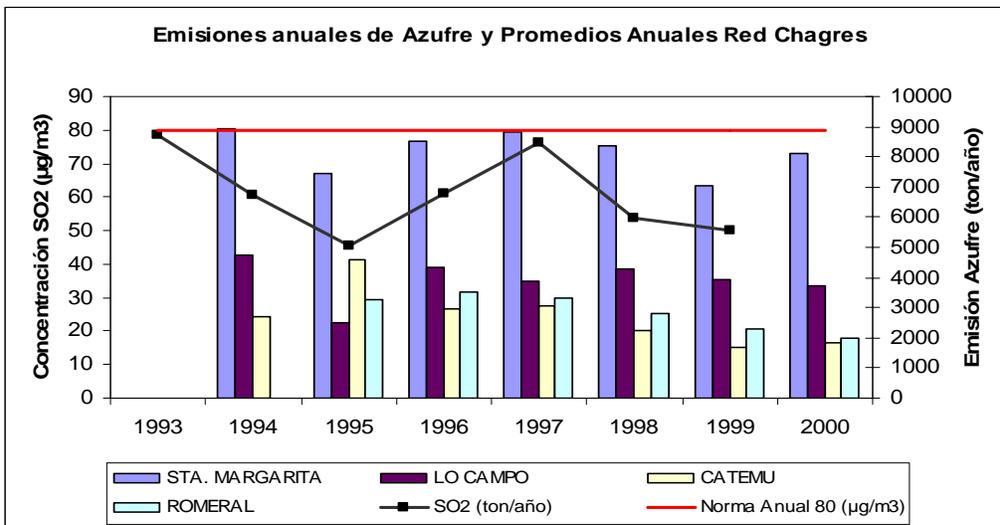


Figura 3.18 Series de emisiones anuales de Azufre de Chagres y serie de promedios anuales de SO₂ en estaciones de red de monitoreo.

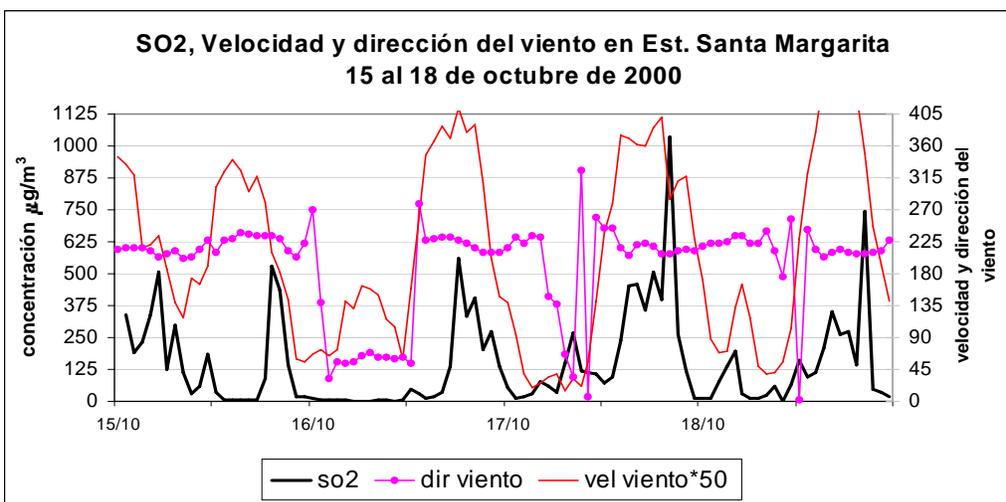


Figura 3.19 Series observadas de dióxido de azufre (SO₂), magnitud y dirección del viento en la estación Sta. Margarita, período 15 al 18 de octubre del 2000.

La Figura 3.19 muestra días con niveles altos de SO₂ en la Estación Sta. Margarita de la red de Chagres.

Las concentraciones de SO₂ más altas ocurren con dirección de viento SW, en horas de la tarde cuando se ha desarrollado la brisa diurna. Esta condición concuerda con la posición relativa a la fuente más importante del sector, la fundición Chagres.

En resumen, los elevados índices de SO₂ registrados en la estación Santa Margarita parecen estar dominados directamente por las emisiones provenientes de la Fundición Chagres. Si bien no se descarta una influencia de otras fuentes relevantes de SO₂ en el valle (ver Figura 3.8), dada las distancias y el tiempo transcurrido hasta alcanzar el área es poco probable que generen impactos tan elevados como para causar el problema de superación de la norma secundaria (horaria) registrados en una estación de la red de Chagres. En consecuencia, mientras no existan nuevas evidencias que justifiquen ampliar las fuentes y zonas de control, se recomienda que la gestión de este problema siga circunscrita a las emisiones de la Fundición Chagres.

Concón

La Figura 3.20 muestra días con niveles altos de SO₂ en Concón los días 28, 29 y 30 de abril del 2000. En los tres días, los valores altos se registran entre la medianoche y antes del mediodía, la magnitud del viento muestra un ciclo diario, con flujo diurno del W y NW, luego, en la transición hacia la noche flujo desde el N y NE que antecede el alza de los niveles de SO₂, y en condición nocturna viento principalmente del SE. En consistencia con el análisis realizado para el caso de PM₁₀, los niveles altos de SO₂ observados cerca de la medianoche pueden atribuirse a una masa de aire que proviene desde el mar de direcciones NW, N y NE previamente contaminada por las emisiones de Ventanas. En las horas siguientes de la madrugada, el SO₂ puede provenir desde la refinería de petróleo ubicada hacia el este, viento arriba del lugar de medición.

Es interesante notar que en este caso de invierno la magnitud del viento durante el período diurno y nocturno es similar (aproximadamente 1.5 m/s). Es durante la transición al flujo nocturno, que se registran máximos de corta duración con viento muy débil. En las horas siguientes se observan otros dos máximos, especialmente los días 29 y 30, uno durante la madrugada y el otro antes de la transición al flujo diurno. Se destaca, que si bien los niveles entre días son distintos, la forma de la serie de SO₂ observada es muy similar, donde se observan picos, que indican obedecer a efectos de los ciclos de operación de una fuente muy próxima, o a la superposición de las plumas de más de una fuente.

Los eventos de alta contaminación registrados en la estación Concón parecen ser distintos a los analizados para las redes de Ventanas y Chagres. En estos últimos, los eventos se encuentran fuertemente asociados a las emisiones de las fundiciones de cobre cercanas, sin una influencia mayor de otras fuentes. Como hemos discutido aquí, Concón puede estar impactado no sólo por la fuente más próxima a la estación de monitoreo, la Refinería de Petróleo Concón, sino que además parece recibir la influencia de una fuente ubicada al norte de la estación de monitoreo que, dada las magnitudes de las concentraciones registradas, aparentemente sería la Fundición Ventanas. Ello resulta consistente con los análisis de trayectorias de parcelas de aire que salen desde la fundición y que se han reportado en este capítulo y en los anexos a este informe.

Lo anterior nos lleva a nuevas reflexiones. Por un lado podría existir una evidencia empírica adicional a la reportada en la Figura 3.9⁵ sobre el impacto de la Fundición en zonas distintas a su entorno inmediato. La diferencia de esta nueva evidencia es que señala dosis de corta duración (un par de horas) pero de elevados niveles de contaminación, lo que puede traducirse en impactos agudos sobre la población de Concón e, inclusive, de las partes altas del Gran Valparaíso.

Además, de ser cierta la hipótesis anterior, la solución de los problemas detectados en Concón pasa por el control tanto de las emisiones de SO₂ provenientes de RPC como del Complejo Industrial Ventanas lo que agrega una mayor complejidad al tema.

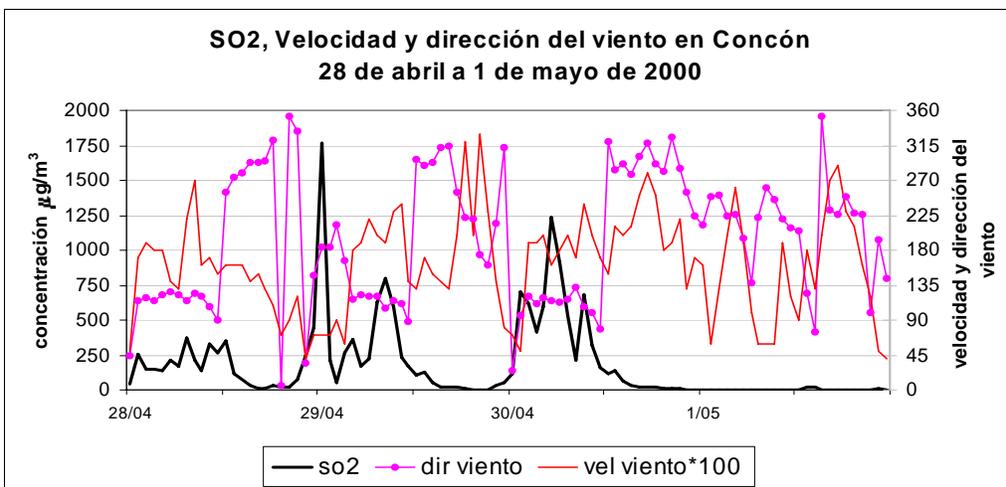


Figura 3.20 Series observadas de dióxido de azufre (SO₂), magnitud y dirección del viento en la estación Concón de la Refinería de Petróleos de Concón, período 28 de abril al 1 de mayo del 2000.

A modo de resumen, las conclusiones generales para SO₂ son:

- Los análisis de flujos de aire y trayectorias, indican que las áreas de influencia de las fuentes más importantes de SO₂ se extienden por grandes distancias, generando zonas de influencia superpuestas de impacto de SO₂ y/o sulfatos, por lo que no es posible separar el efecto de fuentes individuales cuando se considera el problema regional en su conjunto.

⁵ Esta figura relaciona positivamente las concentraciones promedio anual de SO₂ en el Gran Valparaíso con las emisiones de la fundición.

- Por otra parte, las estaciones de redes de observación regular están ubicadas en sectores cercanos a las fuentes, privilegiando en los criterios de monitoreo los impactos agudos y la vigilancia de centros poblados, sin entregar información de escala regional y de otros lugares con recursos que requieren de protección. Se recomienda la realización de estudios de prospección para determinar niveles en lugares donde se presume impactos importantes y los efectos a grandes distancias. Tampoco se han medido en forma sistemática los aerosoles secundarios que se originan de las emisiones de SO_x, ni el efecto de neblinas ácidas.
- El problema de contaminación por SO₂ debe ser tratado en forma integrada, definiendo zonas de gestión que apunten al cumplimiento de normas de calidad de aire, la protección de centros poblados y otros recursos que requieren ser vigilados, como reservas naturales y recursos agrícolas. Si bien los problemas generados por SO₂ abarcan zonas amplias, estos se atribuyen a grandes fuentes ya identificadas, por tanto, la gestión recomendada apunta por un lado al control de fuentes específicas que son responsables de un problema de gran extensión, y por otro, a la vigilancia de zonas de mayor extensión.

3.2.3 Ozono

La Figura 3.21 muestra la condición de excedencia de normas de ozono en las estaciones de monitoreo de la V Región.

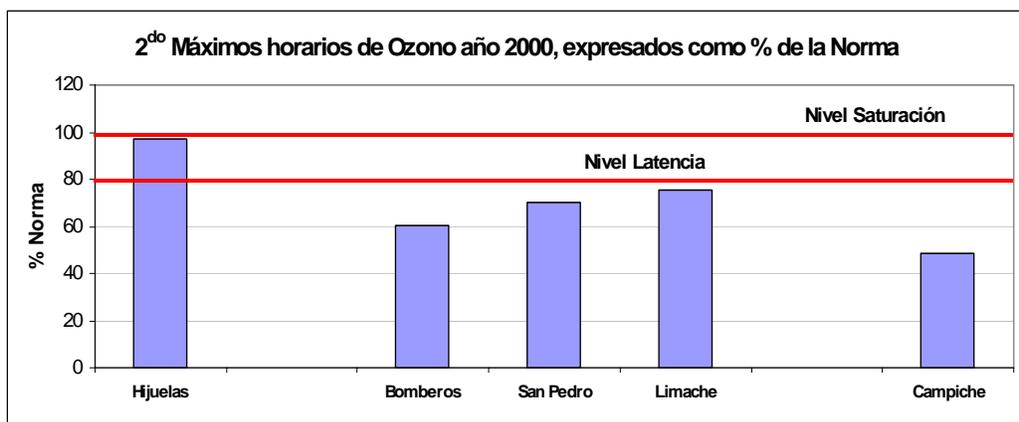


Figura 3.21 2^{do} Máximos de ozono de 1 h medidos en estaciones de la V Región, año 2000, expresados como porcentaje de la norma para 1 h.

Al considerar la norma propuesta para promedios móviles de 8 horas de ozono, y suponer que los niveles registrados durante el año 2000 se mantendrán similares durante los años 2001 y 2002, se encuentra la condición de la Figura 3.22. En ella se aprecia que la norma propuesta se excedería en la estación de Hijuelas.

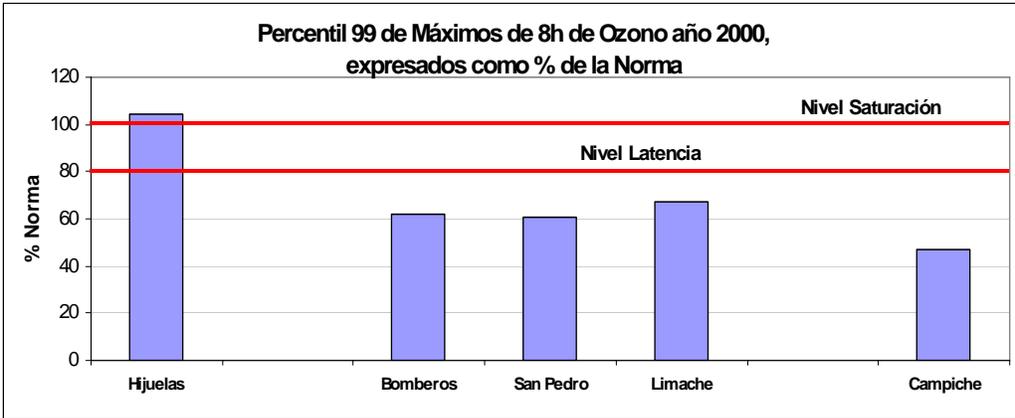


Figura 3.22 Percentil 99 de concentraciones de 8 h de ozono estimados para estaciones de la V Región, suponiendo condiciones del año 2000, expresados como % de la norma propuesta para períodos de 8 h.

Durante el año 2000, los valores más altos se registran en Hijuelas, con un máximo de 1 h que alcanza al 98% de la norma (condición de latencia) y en Limache, donde el máximo de 1 h alcanza 77% de la norma. La estación Campiche, ubicada en la costa, presenta los valores más bajos.

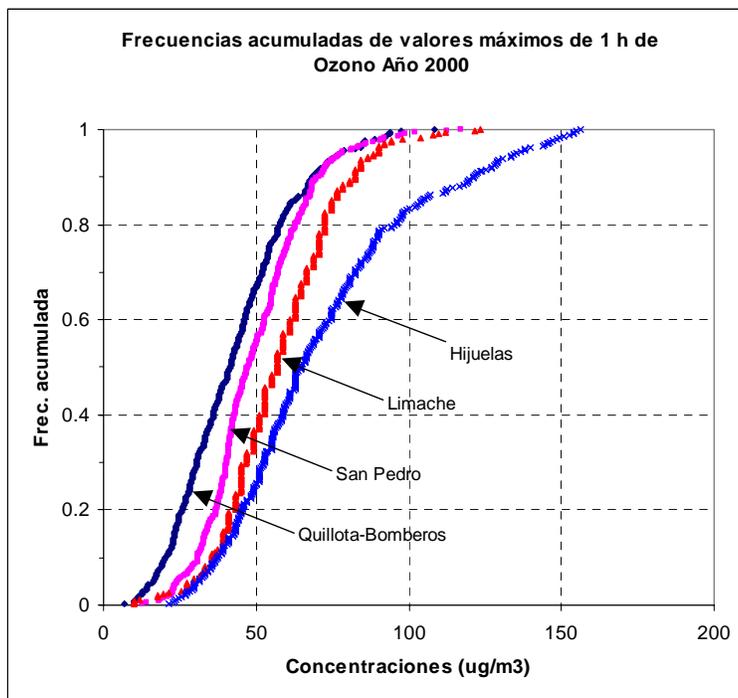


Figura 3.23 Frecuencias acumuladas de valores máximos diarios de 1 h de ozono medidos en estaciones de la V Región, año 2000

La Figura 3.23 muestra las frecuencias acumuladas de valores máximos diarios de 1 h, para las estaciones ubicadas en el valle del Aconcagua. Los valores se hacen mayores en la medida que las estaciones se alejan de la termoeléctricas, indicando el aumento de niveles de ozono desde la costa hacia el interior del valle, y principalmente viento abajo de las centrales termoeléctricas de ubicadas en Quillota, que constituyen fuentes importantes de precursores (NOx) en el área. La estación de Hijuelas registra los valores más altos, no descartando la posibilidad de encontrarse niveles superiores en lugares más alejados.

Los ciclos diarios de ozono muestran un comportamiento típico, con valores máximos que ocurren 2 o 3 horas después del mediodía, asociados a viento proveniente desde la costa hacia el interior.

Los precursores de ozono, NOx y COV, son emitidos principalmente desde el Gran Valparaíso y desde instalaciones industriales ubicadas en el valle del Aconcagua, las centrales termoeléctricas de la zona de Limache-Quillota, refinería de petróleo ubicada en el sector de Concón y otras fuentes menores. Como se aprecia en las trayectorias que describen las parcelas de aire originadas en esas fuentes⁶, durante los meses de verano las emisiones de precursores de ozono alcanzarán la zona de Hijuelas en pocas horas, por lo que una zona de control para este problema debería al menos considerar el Valle del Aconcagua, desde la costa y hasta los sectores de la Cuesta el Melón, Ocoa y Llayllay.

En las figuras siguientes se muestra el comportamiento del ozono y sus precursores NO y NO2 durante un período de fines de verano (3-6 marzo 2000) y un período de invierno (14-17 julio 2000), para las estaciones Quillota e Hijuelas.

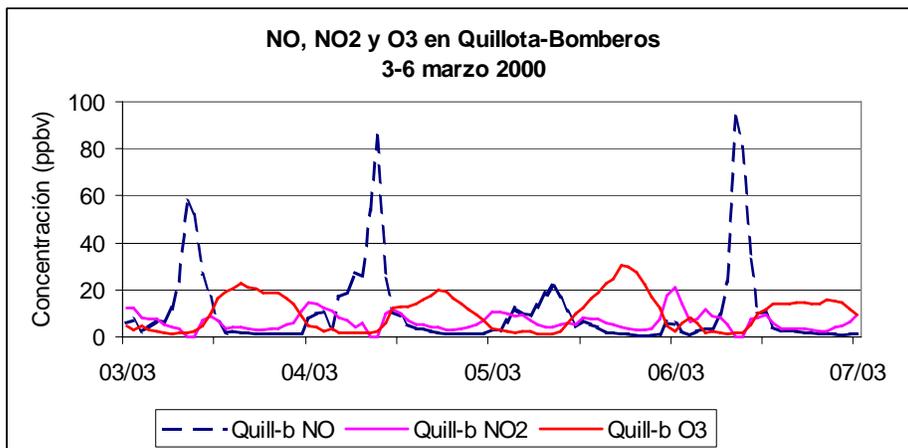


Figura 3.24 Concentraciones de NO, NO2 y O3 medidos en un período de verano en Quillota

⁶ Trayectorias de parcelas de aire desde las principales fuentes de la V Región en enero y febrero de 2000, presentada en el punto 2.42 de este informe y en anexos.

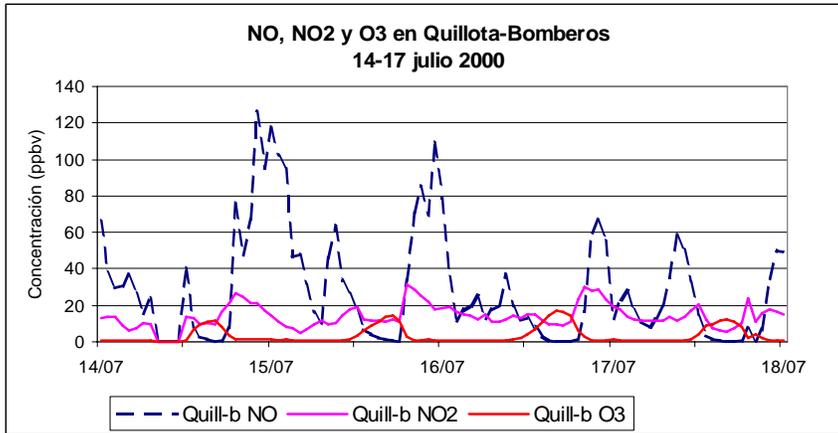


Figura 3.25 Concentraciones de NO, NO2 y O3 medidos en un período de invierno en Quillota

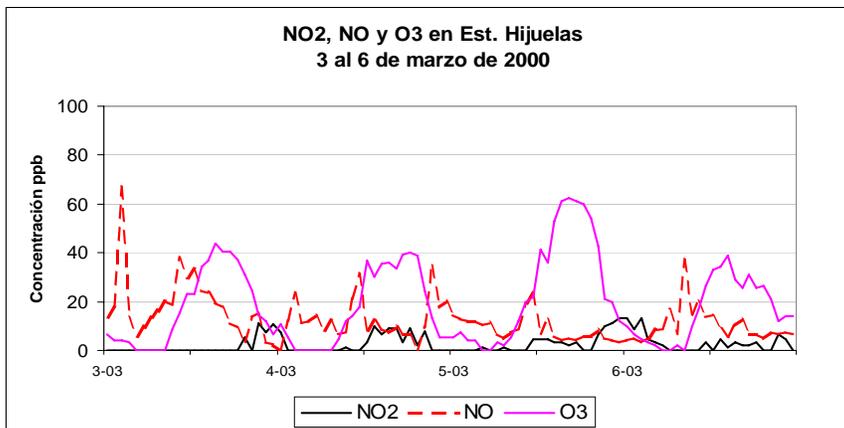


Figura 3.26 Concentraciones de NO, NO2 y O3 medidos en un período de verano en Hijuelas

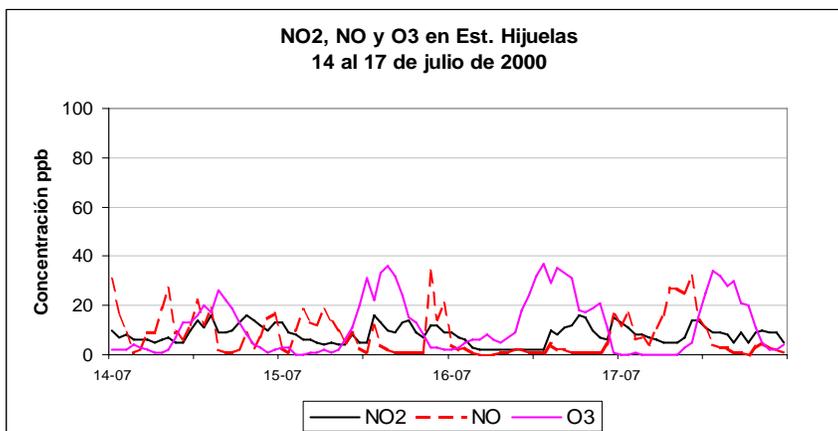


Figura 3.27 Concentraciones de NO, NO2 y O3 medidos en un período de invierno en Hijuelas

En marzo, en Quillota se observa un máximo importante de NO en la mañana, que precede al aumento de NO₂ y de ozono. Al finalizar la tarde, disminuye la concentración de ozono y aumentan los niveles de NO y NO₂.

En Hijuelas, durante el mismo período de marzo, se observan concentraciones más altas de ozono. Durante las horas de máximo ozono la dirección del viento tiene componente del W y tiende a rotar hacia viento S. Al final de la tarde, la disminución de ozono ocurre junto con un debilitamiento de la intensidad del viento y cambios irregulares en su dirección.

El máximo de NO en Quillota puede atribuirse a impacto de las emisiones de las centrales termoeléctricas. En Hijuelas, no se observan picos tan elevados como en Quillota. Los valores altos de ozono medidos en esa estación pueden atribuirse a la formación de ozono durante el trayecto de la masa de aire que se mueve hacia el interior del valle.

En los días de invierno, los valores de ozono en Quillota son bajos, con un ciclo diario de corta duración. Se observan valores altos de NO durante la noche, con un pico importante al comienzo del período nocturno y otro pico en la mañana. En Hijuelas, los niveles de ozono son más altos y el ciclo diario es de mayor duración. No se observan valores altos de NO durante el período nocturno, como en Quillota.

El viento medido en Hijuelas durante los días de invierno muestra un comportamiento regular, con componente principalmente del W durante las horas de mayores concentraciones de ozono y un cambio durante el período nocturno, a una brisa del E bien definida.

El aumento de niveles de NO y NO₂ en el periodo nocturno de invierno en Quillota, indica una posible recirculación de esos contaminantes valle abajo, que retornan con la masa de aire nocturna.

El comportamiento de ozono y óxidos de nitrógeno medidos en la zona de Quillota-Hijuelas indica que es posible que ocurran concentraciones más altas de ozono hacia el interior del valle, en la zona de Cuesta Melón y hacia el sector de Ocoa y Llayllay.

Por su parte, en Limache (Figura 3.28 y Figura 3.29) se observan valores altos de ozono durante un período de marzo, acompañados de valores relativamente menores de NO y NO₂. En invierno, en cambio, los niveles de ozono son menores y se observan concentraciones altas de NO durante la noche, con picos al principio del período nocturno y en la mañana. Las concentraciones de NO₂ aumentan al final del día al disminuir las concentraciones de ozono. El viento en Limache muestra direcciones del W y NW durante el día, variando a flujo desde el SE durante el período nocturno. Estas direcciones corresponden a la orientación general del valle de Olmué-La Dormida. El comportamiento de NO y NO₂ observado en Limache en invierno, indican una posible recirculación de óxidos de nitrógeno al final de la tarde, cuando se revierte el flujo de aire.

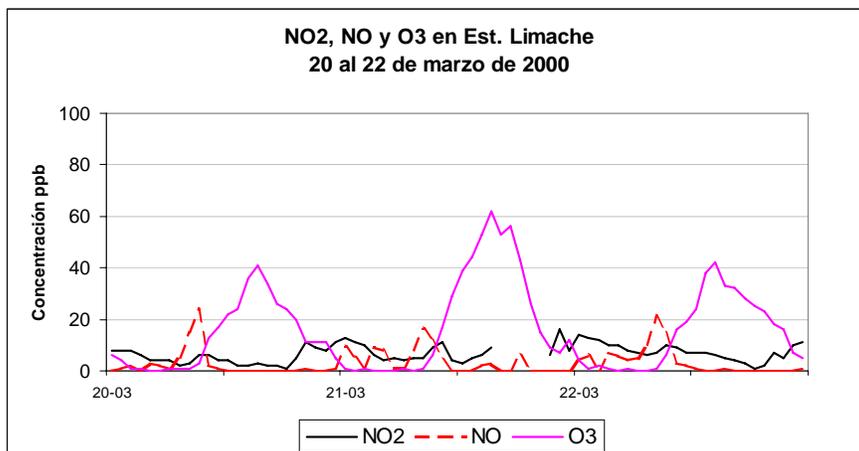


Figura 3.28 Concentraciones de NO, NO2 y O3 medidos en un período de verano en Limache

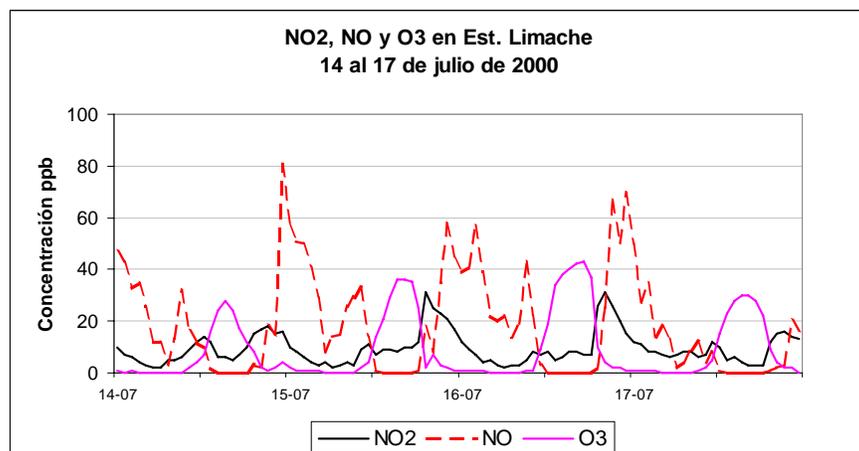


Figura 3.29 Concentraciones de NO, NO2 y O3 medidos en un período de invierno en Limache

De acuerdo a lo que se puede deducir de la Figura 3.23, las concentraciones de ozono aumentan a medida que aumenta la distancia relativa del punto de monitoreo con respecto al complejo de centrales termoeléctricas, por lo tanto, es posible que las concentraciones máximas de ozono en la zona de Limache estén ocurriendo más lejos, hacia el interior del valle de Olmué-La Dormida.

Por otra parte, las trayectorias típicas de masas de aire en la zona muestran la influencia de las zonas costeras sobre el interior del valle (Figura 3.30). Los precursores de ozono provienen de una extensa zona, que incluye el sector costero del Gran Valparaíso y la cuenca del Aconcagua.

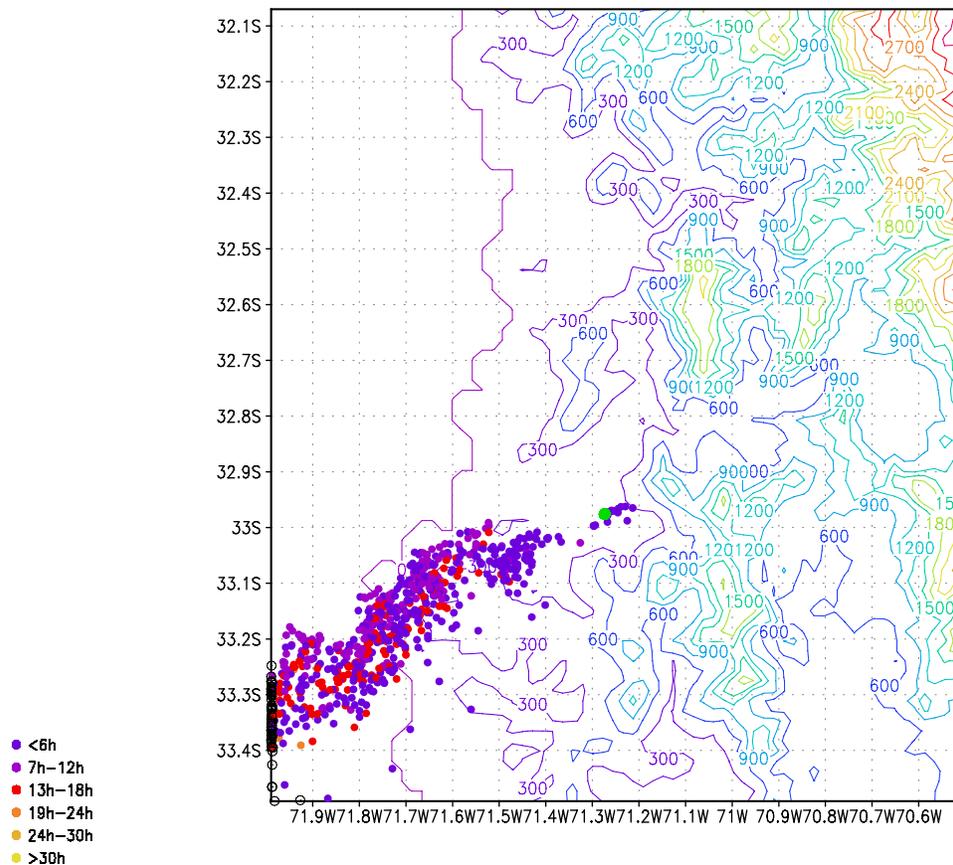


Figura 3.30 La Figura muestra las trayectorias atrás de parcelas de aire que llegan a la ubicación de la estación Limache en el período diurno para cada hora entre las 12 y las 20 horas del período 19 al 26 de enero del 2000.

De este análisis se puede concluir lo siguiente:

- Las mediciones de ozono y óxidos de nitrógeno indican que es posible que ocurran valores más elevados de ozono en sectores actualmente no prospectados, más alejados valle adentro.
- Se recomienda realizar una prospección de niveles de ozono y sus precursores, en aquellas áreas con posibles problemas potenciales (Olmue-La Dormida, Ocoa-Llayllay, Melón).
- Se recomienda mejorar los inventarios de emisiones de precursores de ozono, NO_x y COV. Para este último, es necesario contar con mejor información de las emisiones desde la refinera de petróleos y las emisiones evaporativas de estanques y terminales de combustibles.

- Se recomienda iniciar un programa de gestión de calidad de aire para prevenir aumentos de concentraciones de ozono en la región. Al respecto, se debe tener presente que es probable que la nueva norma primaria propuesta para ozono se esté superando en Hijuelas y en otras zonas actualmente no prospectadas.

3.3 Recomendaciones V Región

Los antecedentes recogidos por zonas y contaminantes en la V Región pueden resumirse en:

- Existe un problema generalizado de material particulado MP10 para promedios anuales. Ello puede estar relacionado a la formación de aerosoles secundarios por la presencia de grandes fuentes de SO_x y NO_x. Se recomienda estudiar la composición de MP10 en distintos lugares de la costa y hacia el interior del valle del Aconcagua para verificar la presencia de aerosoles secundarios como indicadores de la extensión del impacto de las grandes fuentes emisoras de la Región.
- La estación La Greda constituye un caso excepcional de excedencia de norma diaria de MP10. Se presume la existencia de efectos locales que requieren control a esa escala. ello implica como medidas inmediatas realizar inspección de la localización de la estación para identificar las posibles fuentes locales de material particulado y adicionalmente una caracterización química y granulométrica del material particulado para determinar su origen.
- Los problemas más agudos por SO₂ están relacionados a fuentes cercanas principalmente, sin embargo, las observaciones y los análisis de trayectorias muestran que los efectos de las emisiones de fuentes importantes, pueden alcanzar grandes distancias, con la posibilidad de generar superposición entre fuentes muy alejadas en la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua. Dentro de las fuentes importantes se considera el Complejo Industrial Ventanas, RPC, Chagres y el núcleo urbano de Valparaíso que incluye la actividad portuaria, de la que no se dispone de antecedentes de emisiones.
- Se presume la existencia de lugares con niveles altos de SO₂ en áreas actualmente no cubiertas por las zonas saturadas y latentes en vigencia (ver Figura 3.31). Se recomienda ampliar las zonas de vigilancia para verificar la existencia de niveles importantes de SO₂ en lugares que requieren de protección como centros poblados, recursos agrícolas y reservas naturales.
- Se estima que los problemas observados de ozono son de escala regional. Ello en consideración a la distribución de fuentes de precursores (núcleos urbanos, termoeléctricas y emisores de compuestos orgánicos volátiles), los altos valores observados donde hay monitoreo de O₃ y los patrones de transporte de masas de aire, en consecuencia, la gestión de este problema debe apuntar a un manejo a ese nivel. Se recomienda ampliar la cobertura de los inventarios de emisión que incluyen a las fuentes de precursores, NO_x y COVs principalmente, y también se deben iniciar campañas que apunten a determinar los niveles donde se advierte la posibilidad de impactos altos y que requieren ser vigilados, como población, recursos agrícolas y reservas naturales.

La Figura 3.31 muestra las comunas de la V Región, donde se destaca la zona saturada de Ventanas y la zona latente de Chagres. Los límites de estas zonas resultan insuficientes para realizar una gestión integral de los problemas de calidad del aire de la Región, en virtud de del desarrollo industrial y el crecimiento de centros urbanos que ha experimentado la V Región en los últimos años.

Los antecedentes recogidos indican que se requiere ampliar las zonas de control para atacar los problemas actuales y realizar un manejo sustentable del recurso aire en función de las perspectivas de desarrollo de la Región.

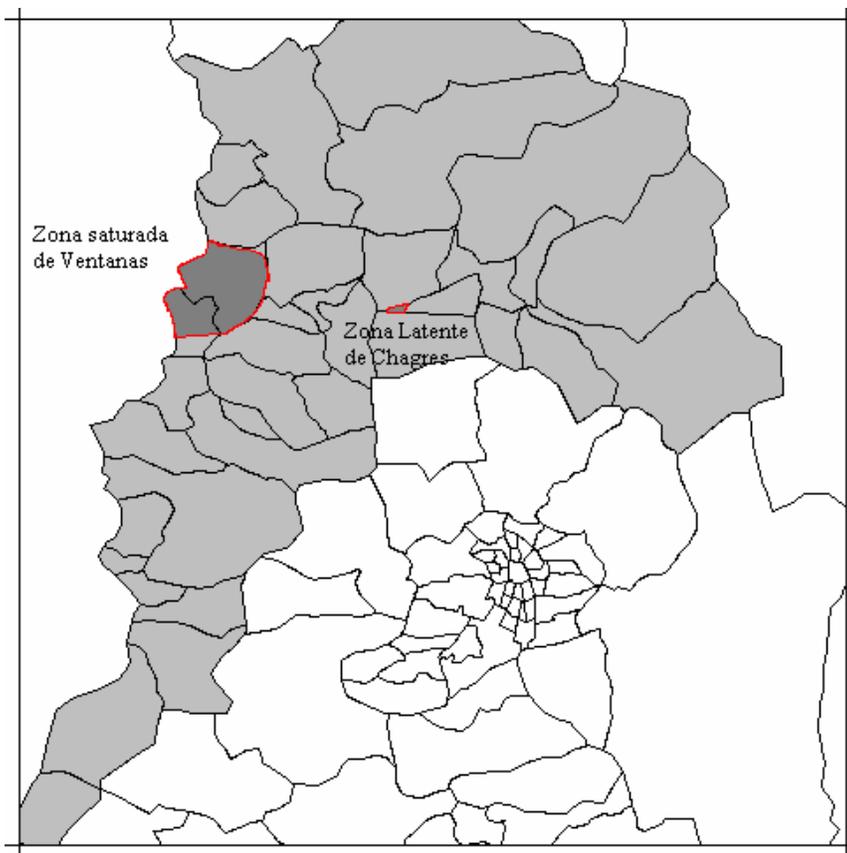


Figura 3.31 El mapa muestra las comunas de la V Región y se destacan: la zona saturada de Ventanas (DS 346) que toma gran parte de las comunas de Quintero y Puchuncaví, y la zona latente de Chagres (DS 185) en la comuna de Catemu

En consideración a que los niveles de SO₂ observados muestran los efectos más agudos en los entornos de las fuentes más importantes de azufre, y que los antecedentes recogidos indican su gran relevancia en los problemas de escala regional, se recomienda privilegiar la gestión de los problemas generados por la emisión de azufre oxidado al origen de estos, es decir, al control de las fuentes individuales importantes ya identificadas, más que al establecimiento de amplias áreas de manejo. Paralelamente, también se recomienda la ampliación de zonas de vigilancia mediante el establecimiento de observaciones en zonas que requieren de protección y que pueden estar recibiendo impactos importantes, y de estudios prospectivos para verificar la importancia de las emisiones de azufre oxidado en los aerosoles secundarios transportados a lo largo de la zona costera y hacia el interior del valle del Aconcagua.

Según los antecedentes presentados, Ozono y MP10 constituyen problemas de mayor escala, se recomienda considerar como zona de control al conjunto de áreas donde se verifican problemas de MP10 anual y niveles elevados de ozono, anexando además aquellas comunas donde se estima niveles altos de estos contaminantes, así como también aquellas que muestran influencia potencial sobre los lugares donde se ha constatado o se supone un problema. El área de control recomendada cubre: las provincias de San Felipe de Aconcagua, con excepción de la comuna de Putaendo, la totalidad de la provincia de Quillota y la provincia de Valparaíso, con excepción de las comunas de Casablanca y Juan Fernández, áreas que se encuentran señaladas en la Tabla 3.6 y destacadas en el mapa de la Figura 3.32.

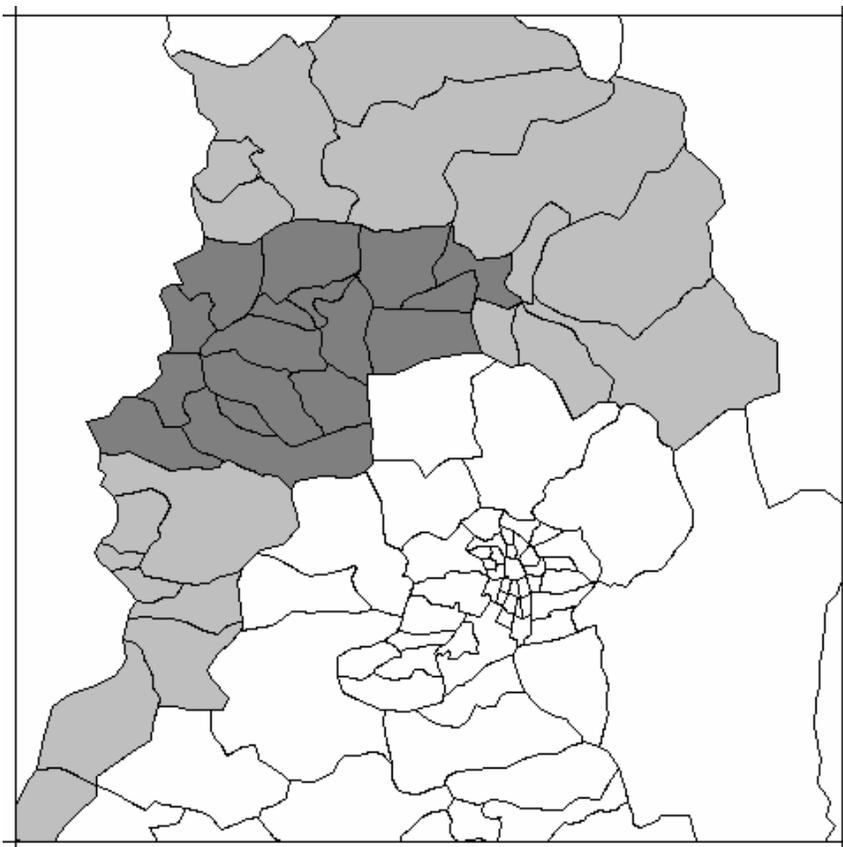


Figura 3.32 Zona de gestión recomendada para Material Particulado Respirable MP10 y Ozono O3 en la V Región. Incorpora las provincias de Quillota, y la mayor parte de las provincias de Valparaíso y San Felipe de Aconcagua.

Tabla 3.6 Recomendación de comunas para incorporar en la gestión de la calidad del aire en la V Región.

Provincia	Comunas
San Felipe de Aconcagua	Catemu, San Felipe, Santa María, Panquehue, Llaillay
Quillota	Nogales, Calera, La Cruz, Quillota, Hijuelas, Limache, Olmue
Valparaíso	Puchuncaví, Quintero, Viña del Mar, Villa Alemana, Valparaíso, Quilpué

3.4 VIII Región-Area Gran Concepción

La mayoría de los antecedentes disponibles de calidad de aire para esta zona de la VIII Región se encuentran circunscritos al área de Talcahuano.

Las observaciones consisten en monitoreo continuo de SO₂ y PM₁₀ desde 1997 en varias estaciones de la red de Petrox, y desde el año 2000 con dos lugares adicionales de mediciones continuas de MP₁₀, MP_{2.5} y SO₂, en el marco del Programa de Recuperación Ambiental de Talcahuano (PRAT). Además, en la misma área se han realizado diversas campañas de mediciones de SO₂, NO₂ y BTEX⁷ (un grupo de COV) con métodos pasivos en varios períodos. Sólo a partir del año 2001 se realizan mediciones continuas de SO₂ (horarias) y PM₁₀ (cada tres días) en Coronel, donde se hicieron mediciones con métodos pasivos de SO₂ y NO₂ durante el año 2000. Entre octubre de 1999 y mayo del 2000 también se realizaron mediciones con tubos pasivos de SO₂ en la zona de Lirquén.

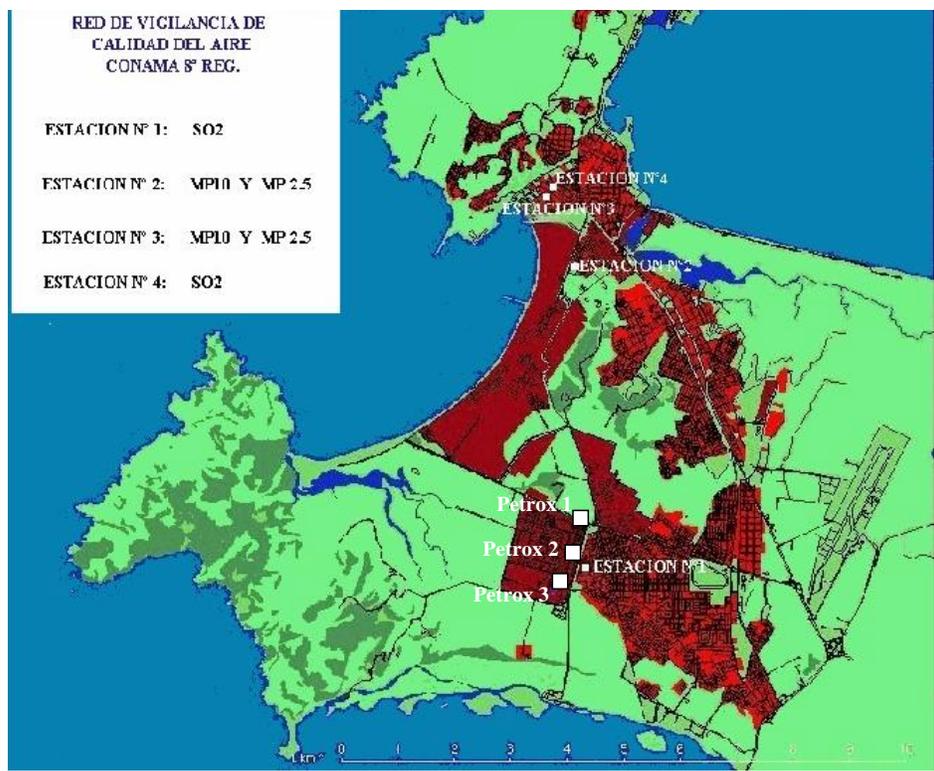


Figura 3.33 Ubicación de estaciones Red CONAMA VIII: Estación 1 (Hungría), Estación 2 (Libertad), Estación 3 (San Vicente 2 o Consultorio), Estación 4 (San Vicente o Bomberos), y Red Petrox en las cercanías de la refinera.

⁷ Corresponde al grupo de compuestos formado por Benceno, Tolueno, Etil-benceno y Xilenos.

Las fuentes emisoras individuales más importantes del Gran Concepción corresponden, en Talcahuano, a las instalaciones de Petrox, Siderúrgica Huachipato, Cementos Bio Bio y un conjunto de industrias petroquímicas y pesqueras; en Coronel, Central Térmica Bocamina y un conjunto de empresas pesqueras; en Laraquete, la Planta de Celulosa Arauco; y hacia el interior del curso del Río Bio Bio las plantas de Celulosa del Pacífico y la industria papelera Inforsa en La Laja.

En relación al tipo de emisiones, los compuestos azufrados se asocian a las petroquímicas, calderas de industrias pesqueras, celulosa y centrales de generación térmica. Por otra parte, al material particulado ambiental contribuyen múltiples fuentes individuales y de los núcleos urbanos y suburbanos. Al igual que en la V Región, la actividad portuaria puede constituir una fuente importante de óxidos de azufre y material particulado fino en la bahía de San Vicente y la bahía de Concepción, sin embargo, no existen antecedentes de estimaciones de esta actividad.

3.4.1 Material Particulado Respirable (MP10)

El valor de referencia para promedios anuales se superó en 2 estaciones de la red Petrox durante 1999 y en 2 lugares de Talcahuano con mediciones durante el 2000. Las mediciones realizadas en Coronel desde Enero 2001 presentan valores bajo las normas.

Tabla 3.7 Tabla promedios anuales de MP10 en Red Petrox

	TEOM 1 μg/m ³	TEOM 2* μg/m ³	TEOM 3* μg/m ³
1997	50.1		
1998	54.7		
1999	50.6	51.4	34.7
2000	47.3	42.3	35.0

* mediciones en TEOM2 y TEOM3 comienzan en octubre de 1999

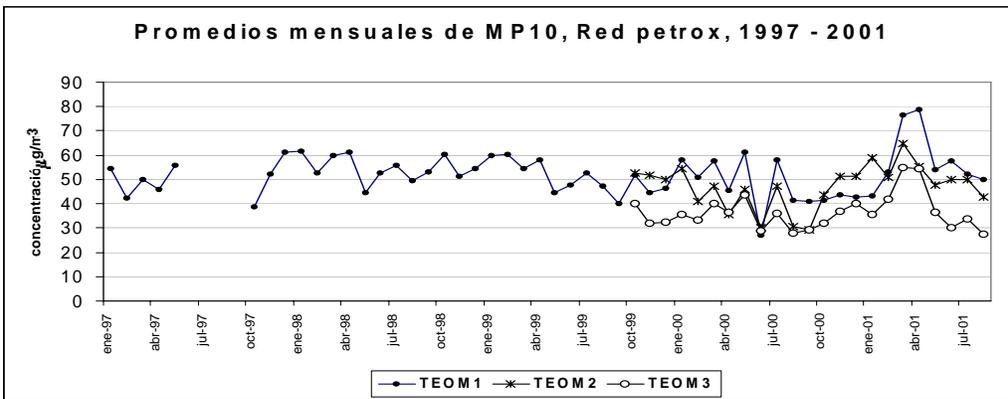


Figura 3.34 El gráfico presenta la serie de promedios mensuales de MP10 medidos por la red de Petrox en el período enero 1997 – agosto 2001.

La serie de promedios mensuales en la red de Petrox, Figura 3.34, muestra que para el TEOM 1 (ubicado en la esquina noroeste de la refinería) los valores entre 1997 y 1999 superan en reiteradas ocasiones el valor $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando la excedencia del valor de la norma anual de MP10 durante el período. Para el año 2000, el valor anual es $47.3 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$, alcanzando el nivel de latencia ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

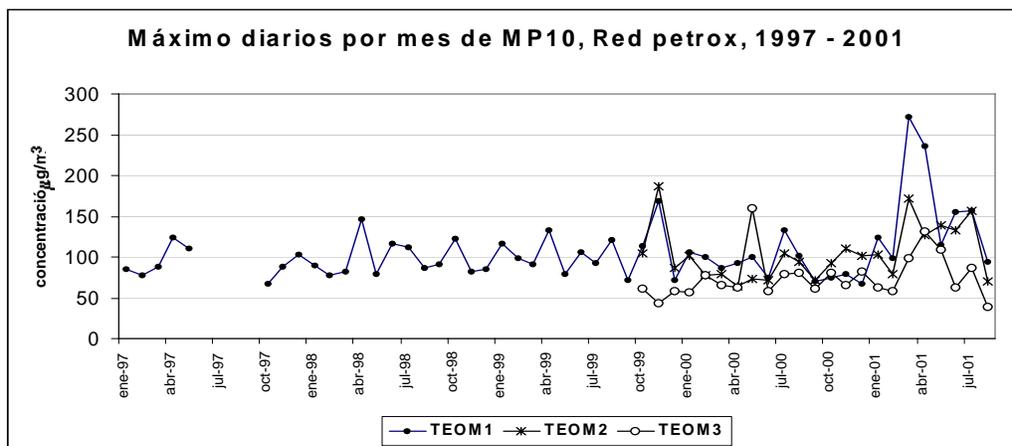


Figura 3.35 El gráfico presenta la serie de máximos diarios por mes de MP10 medidos por la red de Petrox en el período enero 1997 – agosto 2001.

La Figura 3.35 muestra la serie de máximos promedios diarios para cada mes en la Red Petrox. Durante 2000, el valor de la norma para 24 h se superó en 2 estaciones de la red Petrox y en la estación Libertad de Talcahuano. En el período marzo a julio del año 2001, en la red de Petrox se ha superado en 3 ocasiones. El análisis de series con valores horarios permitiría investigar con mayor detalle esos episodios, lamentablemente no se cuenta con esa información.

Si bien las excedencias de las normas de MP10 no se pueden atribuir en forma directa a fuentes específicas, debido a la componente de polvo natural que se origina desde calles y por otras actividades, los antecedentes aportados por las mediciones de la Red de CONAMA VIII Región en Talcahuano indican la existencia de fuentes locales que impactan a la estación Libertad en forma significativa.

La afirmación anterior proviene de dos antecedentes, por un lado, de la fuerte correlación que existe entre la magnitud del viento y los niveles de material particulado medido en la estación (Figura 3.36y Figura 3.37) y por otro la relación comparativa de fracciones fina y gruesa entre las estaciones Libertad y Consultorio San Vicente separadas por menos de 2 Km.

Las series de la Figura 3.36, muestran que en los meses de verano, donde hay más viento, existe muy buena correspondencia entre la magnitud del viento y el material particulado medido en la estación Libertad. Esta apreciación se refuerza con el gráfico de la Figura 3.37, que muestra la correlación positiva entre niveles altos de material particulado y viento fuerte, lo que lleva a suponer efectos de levantamiento de polvo.

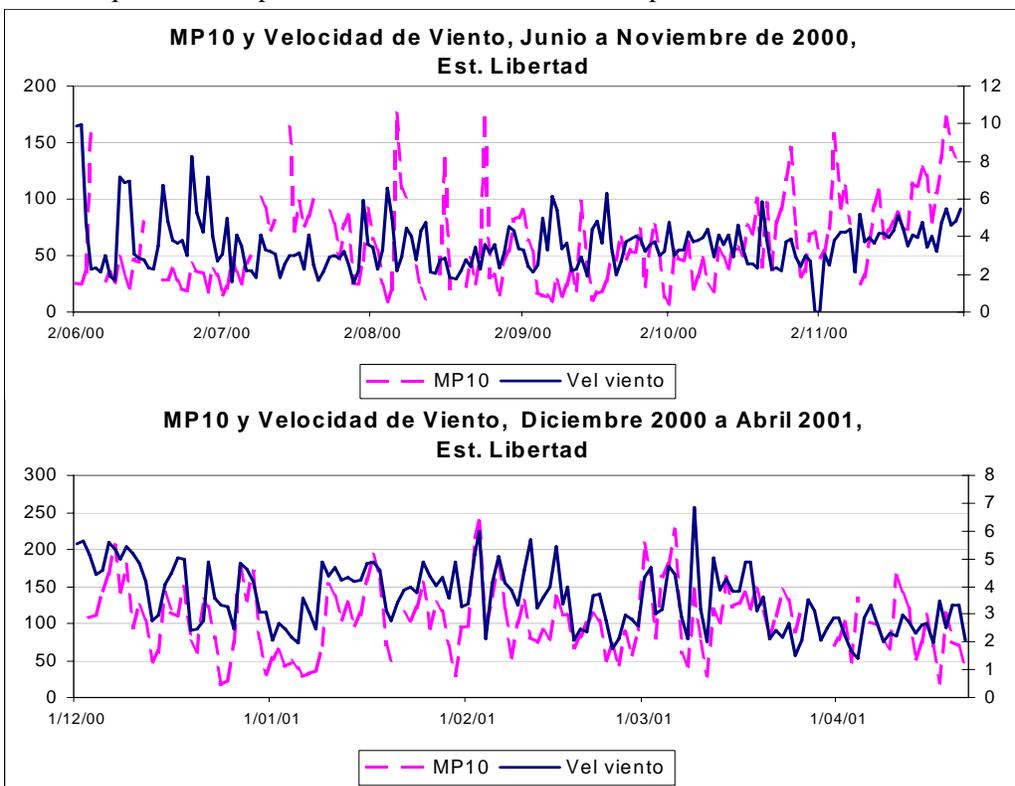


Figura 3.36 Series de máximos diarios de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y magnitud del viento (m/s) en la estación Libertad, períodos diciembre junio-noviembre 2000 y diciembre 2000 – abril 2001

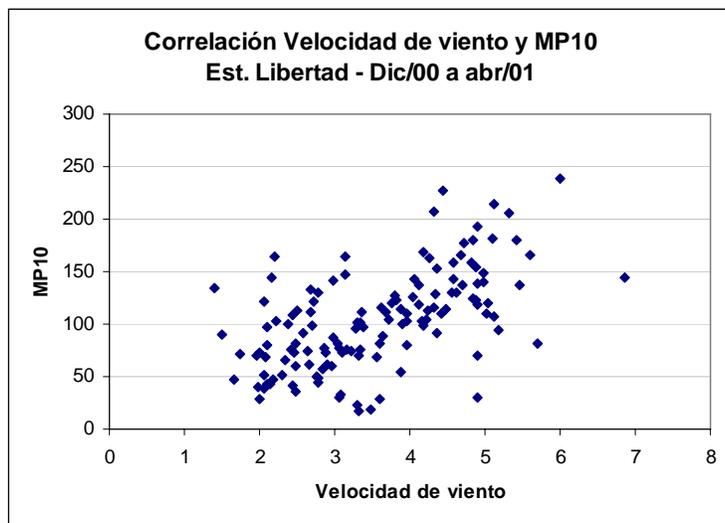


Figura 3.37 Gráfico de correlación entre magnitud del viento y material particulado en la estación Libertad, período diciembre 2000 – abril 2001

La hipótesis anterior se refuerza con la Figura 3.38, que muestra que en el período de mediciones de MP10 y MP2.5, a niveles similares de fracción fina de material particulado, los niveles observados de la fracción gruesa en la estación Libertad son significativamente superiores a los medidos en el Consultorio, lo que parece indicar que la estación Libertad está midiendo los efectos de una fuente de levantamiento de polvo muy cercana y no los efectos de aerosoles secundarios que podrían tener un efecto mayor en la fracción fina y más distribuido en la zona o bien fuentes de combustión cuyo efecto debería ser captado en la fracción fina.

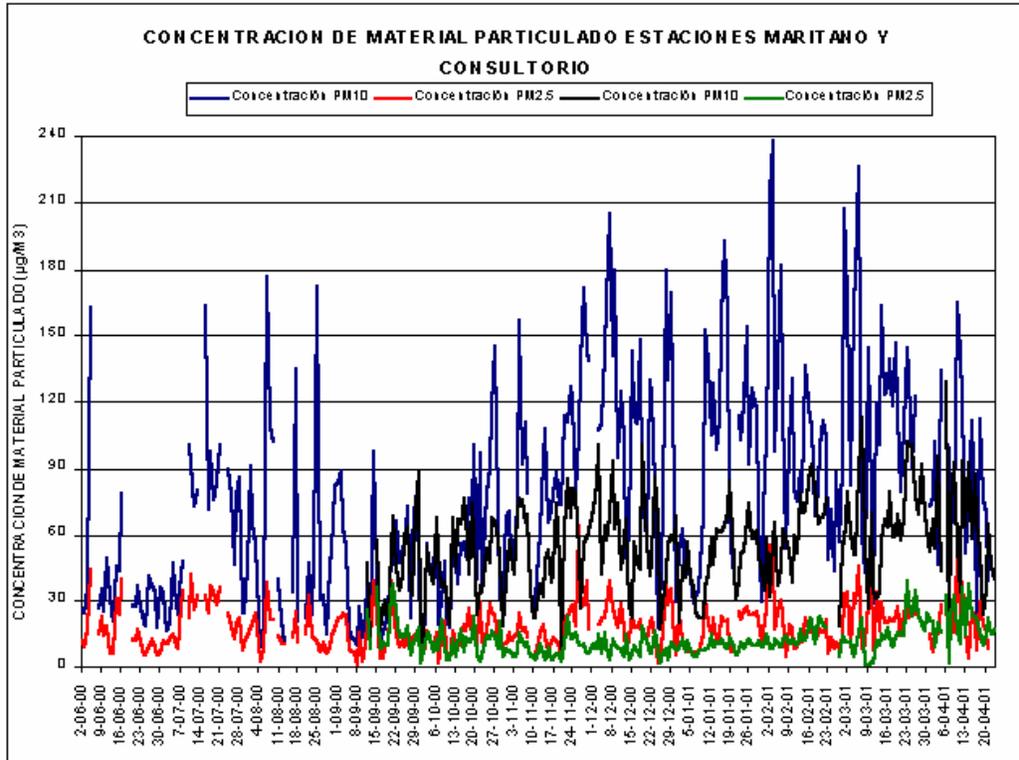


Figura 3.38 Series de concentraciones diarias de material particulado MP10 y MP2.5 en estaciones Libertad y Consultorio San Vicente de red CONAMA VIII Región, período Junio 2000-Abril 2001.

En vista de lo anterior, se recomienda inspeccionar la zona para identificar la posibilidad de fuentes cercanas de levantamiento de polvo, y adicionalmente la especiación química de muestras para reconocer el origen de material particulado. Además de confirmarse la hipótesis anterior y dado el carácter local del impacto del tipo de fuente supuesta, el control de este problema podría realizarse mediante un manejo adecuado del levantamiento de polvo, por lo que no sería recomendable que a partir de las mediciones en la estación Libertad se defina toda la zona de Talcahuano como zona saturada por MP10.

3.4.2 Dióxido de azufre (SO₂)

La promedios anuales alcanzan el nivel de latencia en dos estaciones de Talcahuano durante el año 2000 (4 Esquinas, Bomberos San Vicente). Por otra parte, campañas con tubos pasivos realizadas en Talcahuano muestran valores que superan el nivel de la norma anual durante 1999 y latencia durante 2000 (figxx). Para el año 2001, considerando que en general se producen aumento de valores en verano, se excederá el nivel de latencia. La tabla xx presenta los valores promedios anuales para el período 1998 a 2001.

Tabla 3.8 Promedios anuales de SO₂

	Petrox ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4 Esquinas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bomberos/San Vicente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1998	--	61.2	74.5 ¹
1999	53.1	57.5	<u>70</u>
2000	55.8	<u>75.0</u>	<u>71.0</u>
2001	48.4	63.4	

¹ período agosto-diciembre

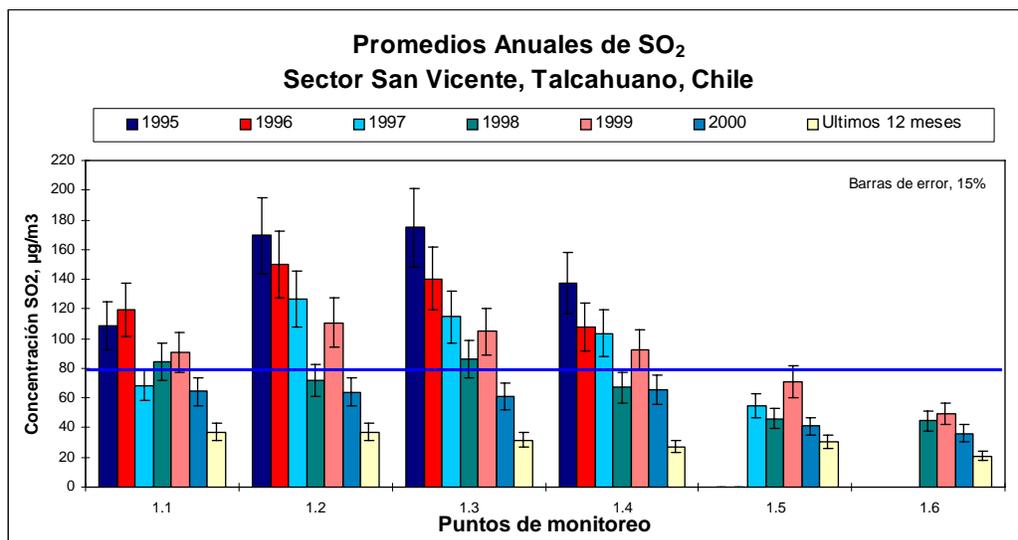
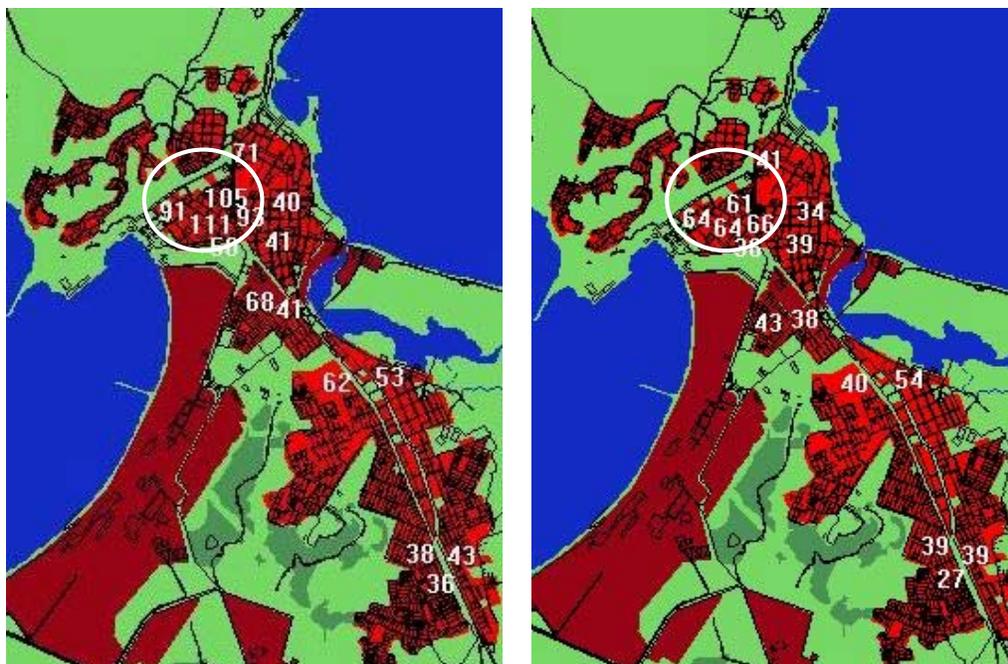


Figura 3.39 Promedios anuales de dióxido de azufre, obtenidos a partir de mediciones con tubos pasivos en Talcahuano. Fuente: "Monitoreo con tubos pasivos en Talcahuano" en el marco de PRAT.



Niveles de SO₂ Año 1999 (Enero 16, 1999 – Enero 15, 2000) Unidad: µg/m³ Niveles de SO₂ Año 2000 (Enero 15, 2000 – Diciembre 30, 2000) Unidad: µg/m³

Figura 3.40 Promedios anuales medidos con tubos pasivos en Talcahuano, años 1999 y 2000.
Fuente CONAMA VIII Región.

La Figura 3.40 que muestra los promedios anuales de SO₂ en Talcahuano para los años 1999 y 2000, de donde se extraen dos conclusiones. Por un lado, los niveles más altos se encuentran circunscritos en un área muy reducida, con fuertes gradientes negativos, que indican la cercanía de fuentes muy próximas a los puntos de monitoreo, ello es consistente con el análisis de casos realizado más adelante. Y por otro, la importante disminución de los niveles registrados de un año al siguiente, que correlaciona fuerte y positivamente con la reducción de la producción de harina de pescado en la comuna de Talcahuano reportadas por PRAT para el sector pesquero⁸.

La Figura 3.41 muestra series de SO₂, magnitud y dirección del viento para los períodos 4 al 7 de febrero y 22 al 25 de marzo del 2000.

⁸ Informe de Gestión 1994-2000 PRAT.

Los picos más importantes de SO₂ se registran en los días 5 y 6 aproximadamente a las mismas horas y en condiciones de flujo similares. Durante el día 5, el primer pico se observa después del mediodía, con viento fuerte del SW, luego sigue una caída significativa de los niveles ante la variación de unos pocos grados de la dirección del viento, luego cerca de las 20 horas el pico de mayor magnitud, y ya en la madrugada del 6 otro pico de importancia. El ciclo descrito se desarrolla muy parecido después del mediodía del 6, pero con los efectos de una masa de aire ya cargada de contaminantes que se deduce del ancho de curva

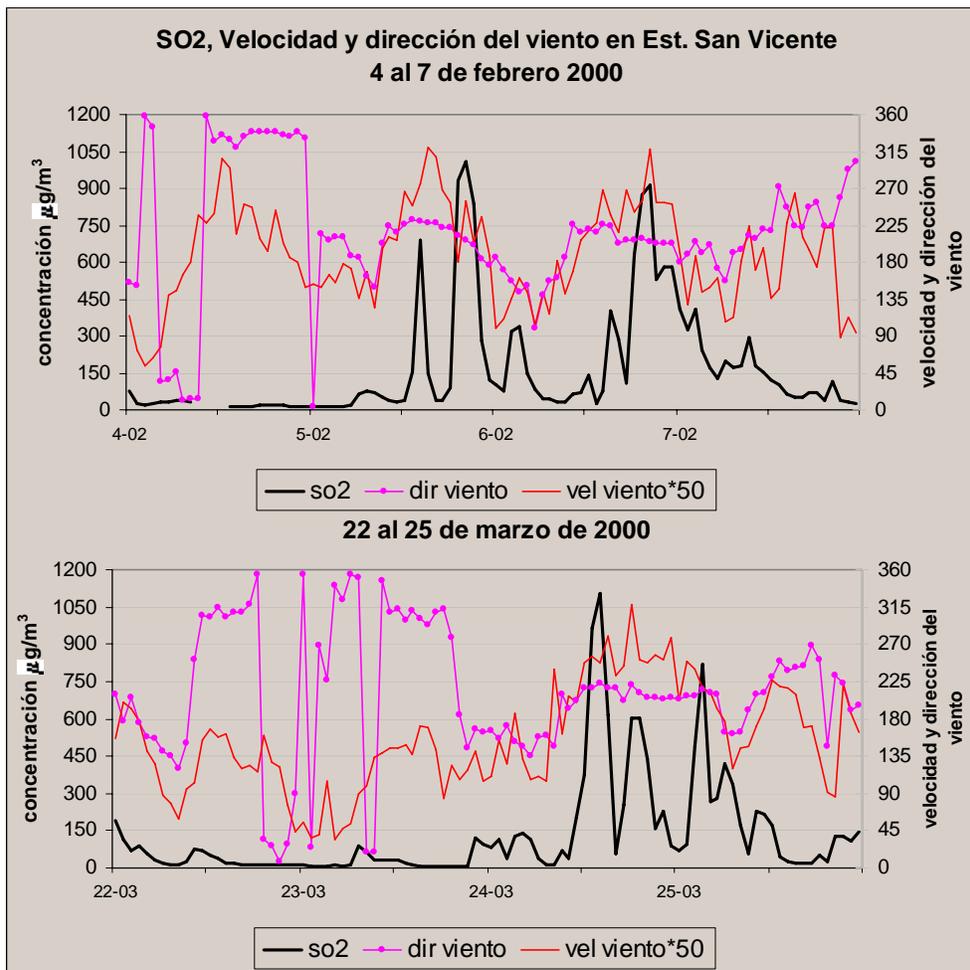


Figura 3.41 Series de valores horarios de SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), magnitud (m/s) y dirección del viento ($^\circ$) en estación San Vicente.

Una situación muy parecida a la del período antes descrito ocurre los días 24 y 25 de marzo, donde se observa con mayor evidencia importantes picos de SO₂ de corta duración asociados a un rango muy estrecho de direcciones de viento SW. De lo que se concluye la posibilidad de gran cercanía de fuentes específicas al punto de monitoreo.

Considerando lo expuesto, se recomienda estudiar la hipótesis anterior, inspeccionando la zona que rodea la estación y hacia la bahía de San Vicente en dirección SW para identificar fuentes específicas que impactan el área de monitoreo. De verificarse el supuesto, es posible que el control de dichas fuentes sea una medida muy efectiva para disminuir los niveles de SO₂ a nivel de promedios diarios y anuales.

Sin perjuicio de lo anterior, con excepción del sector de San Vicente, en toda el área Talcahuano se observa que los niveles promedio anuales observados de un año al siguiente tienen valores similares. Lo que indica la existencia de fuentes de funcionamiento permanente y cuyo efectos se superponen y distribuyen más homogéneamente en el área, como la refinería Petrox y otras instalaciones petroquímicas.

Un antecedente adicional surge del análisis de campos de viento y trayectorias para esa región, que muestra que la zona de Talcahuano también podría estar siendo impactada por emisiones que provienen desde el sector costero al sur de Concepción, y por su parte, las emisiones desde Talcahuano podrían impactar las zonas del entorno, incluyendo Concepción y el litoral que se extiende hacia Tomé.

En vista de lo anterior, se recomienda ampliar las zonas de vigilancia incluyendo mediciones en Concepción, San Pedro y en las localidades de Penco y Tomé, para verificar la extensión de los problemas que se observan en Talcahuano.

3.5 Recomendaciones VIII Región

Los antecedentes recogidos para esta zona pueden resumirse en:

- Fuera del área de Talcahuano existe muy poca información que permita constatar problemas de calidad de aire por efecto de las emisiones provenientes de la actividad de importantes núcleos urbanos y de industrias cuyas emisiones pueden impactar en forma significativas zonas de gran extensión.
- Las mediciones de material particulado y dióxido de azufre realizadas en Talcahuano entregan antecedentes sobre algunos problemas que pueden tener una extensión regional y otros de una escala muy reducida.
- Es muy probable que los problemas más agudos detectados puedan ser resueltos con controles localizados a fuentes más que involucrar amplias zonas en planes de manejo de gran envergadura y costo. El estudio particular de casos con datos a nivel horario de calidad de aire y variables meteorológicas pueden ser un gran aporte a la búsqueda de causas y soluciones específicas muy efectivas. Se recomienda buscar los mecanismos para contar con este tipo de información.
- Los problemas de mayor alcance y persistencia requieren ser explorados, incluyendo mediciones de calidad de aire, meteorología y caracterización química de material particulado para estudiar la formación de aerosoles secundarios.

- No hay mediciones disponibles de ozono. El gran desarrollo de urbano Concepción y otros centros, junto con la presencia de la industria petroquímica, constituyen una motivación para la exploración de posibles problemas de ozono en el entorno de grandes centros poblados, pues ambos son fuentes de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos que son precursores de ozono.

En virtud de los antecedentes expuestos, las recomendaciones de gestión se orientan en primer término a investigar y resolver los problemas agudos por material particulado y dióxido de azufre, que aparentemente son de una escala muy reducida en el sector de San Vicente, por tanto las medidas de control deben ser acordes a esa dimensión.

Se detectan problemas por SO₂ que pueden ser de una escala mayor, para ello se recomienda explorar esos problemas ampliando las zonas de vigilancia con mediciones prospectivas en el área de Concepción, al interior del curso del río Bio Bio, Penco, Tomé, y San Pedro.

El material particulado y el ozono también pueden constituir problemas de gran extensión, en estos casos se recomienda realizar mediciones exploratorias de ozono y material particulado fino en Concepción, Talcahuano y viento abajo en Penco y Tomé para validar las hipótesis de transporte de contaminantes por largas distancias.

4 Proposición de una Red de Monitoreo Regional de Calidad de Aire para la Macrozona Central de Chile y mediciones complementarias

4.1 Antecedentes

En Chile Central se reúne casi la mitad de la población del país, concentrado gran parte del sector industrial, transporte privado y público, el consumo energético y otras actividades. En la región se ubican fundiciones de cobre y centrales termoeléctricas que generan cantidades significativas de contaminantes primarios y precursores de otros contaminantes.

Los contaminantes presentes en la atmósfera de Chile Central incluyen sustancias que pueden ser dispersadas regionalmente, es decir, hasta distancias de cientos de kilómetros de las fuentes emisoras (material particulado fino, aerosoles secundarios y gases precursores, ozono y sus precursores, etc.). Estos contaminantes no sólo pueden afectar la salud de las personas, sino también los recursos agrícolas y forestales, la calidad del paisaje por pérdida de visibilidad, efectos en suelos y aguas por deposición húmeda y seca y otros.

La macrozona central de Chile experimenta un gran desarrollo económico, de infraestructura vial y transporte, viviendas e industrias. Esto hace necesario contar con evaluaciones de línea base del recurso aire en zonas urbanas y suburbanas, que permitan detectar los potenciales efectos existentes y acumulados, para evitar el deterioro del recurso aire y sus consecuencias sobre la salud de las personas, los recursos renovables y el medio ambiente en general.

Los resultados de monitoreo de calidad de aire disponibles para las regiones V y VIII han sido analizados en otros capítulos. Antecedentes de carácter interregional provienen especialmente de estudios recientes.

Un estudio de dispersión regional de azufre oxidado, desarrollado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, en cooperación con el Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología (Gallardo et al. 2000), enfocado a las regiones V, RM y VI, entregó resultados de la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes, de escala regional, donde se evalúan las contribuciones de las fundiciones de cobre a la calidad del aire y deposición de azufre oxidado hacia el suelo. El proyecto entregó importantes antecedentes para el diseño de una red regional de monitoreo para la macrozona central de Chile.

El trabajo de T. García-Huidobro (2001) evaluó el riesgo de los impactos potenciales de dióxido de azufre (SO₂) sobre la producción agrícola en la zona de Chile Central, usando los resultados del estudio anterior. Para ello considera los cultivos y plantaciones en la superficie agrícola del entorno de tres fundiciones de cobre existentes en el área, Ventanas, Chagres y Caletones. El análisis muestra que los niveles de SO₂ medidos en el entorno de esas fundiciones presentan un riesgo elevado para cultivos anuales y efectos adversos en los rendimientos, crecimiento y producción de frutales.

El presente estudio incluyó mediciones con técnicas exploratorias (tubos pasivos) en ocho lugares ubicados en sectores rurales, entre la V y VII Regiones, con el fin de evaluar sitios de monitoreo más permanentes, que podrían incluirse en una red regional de calidad de aire. Los resultados de estas mediciones se presentan en el capítulo correspondiente al análisis de antecedentes de calidad de aire. Las mediciones con tubos pasivos se comparan favorablemente con las estimaciones presentadas en el estudio de dispersión de azufre oxidado. De acuerdo a estos resultados, las localidades elegidas son aptas para mediciones de niveles regionales.

4.2 Extensión de la zona cubierta por la red regional

Este estudio abarca principalmente la denominada Macrozona Central de Chile. El análisis de antecedentes para definir zonas de gestión integral de calidad de aire, está centrado en la V y VIII Regiones.

El término Macrozona Central de Chile ha sido usado para referirse a la zona central de Chile, con varias interpretaciones sobre su extensión geográfica.

La interpretación más usual se refiere a la zona del Gran Santiago y regiones vecinas, que presentan una tendencia a formar una megaciudad, enlazando mediante sistemas de transporte rápido la ciudad de Santiago con Valparaíso-Viña del Mar y con Rancagua hacia el sur. Los proyectos de infraestructura de transporte además incluyen trenes suburbanos entre Santiago y las ciudades cercanas, Talagante-Melipilla, Buin-Paine, Lampa-Tiltil.

Esa definición es usada en el Estudio Preliminar de Concesión del Sistema de Transporte de la Macrozona Central de Chile (Proyecto Tren Rápido Santiago-Valparaíso) (<http://www.curauma.cl/Planos/PagPlanoMZC.htm>, <http://www.geocities.com/chiletrenes/noticias/stgovpo8052001.htm>).

En el Consejo de Desarrollo Sustentable de CONAMA, el Comité de Apoyo Técnico tiene representantes de los Consejos Consultivos Regionales, agrupados en Macrozona Norte, Macrozona Central, Macrozona Sur (<http://www.conama.cl/CDS>).

En este trabajo se utiliza el término Macrozona Central para referirse a la zona central del país, que puede estar afectada por intercambios de contaminantes atmosféricos, por transporte hasta cientos de kilómetros de distancia.

Desde un enfoque geográfico-climático, la zona de la depresión interior que se extiende entre la V y VIII regiones, presenta características climáticas similares, de clima templado y estación seca de verano prolongada (4 o más meses). Esa zona incluye la cuenca de Los Andes-San Felipe, la cuenca de Santiago y el valle central desde Angostura hasta el Biobío. Una característica de esa zona es el requerimiento de riego durante los meses de primavera-verano, para cultivos con demanda hídrica media y alta.

Entre las regiones V y VII se concentra la mayor parte de la producción agrícola nacional dedicada a hortalizas, frutales, viñas, y una proporción importante de la superficie nacional dedicada a producción de cereales, chacras, cultivos industriales, forraje y plantaciones forestales (Figura 4.1, ODEPA 2001). Desde la VIII Región hacia el sur, disminuye la superficie dedicada a hortalizas, frutales y viñas, y aumenta la proporción de superficie dedicada a plantaciones forestales y cultivos extensivos.

Las áreas de mayor concentración agrícola en esas regiones corresponden a las superficies bajo riego en los sectores medios y bajos de las cuencas hidrográficas principales, que se extienden desde el pie de la cordillera de los Andes hasta las zonas costeras. Las principales cuencas con frutales, viñas y hortalizas de la zona corresponden a los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Tinguiririca, Mataquito y Maule.

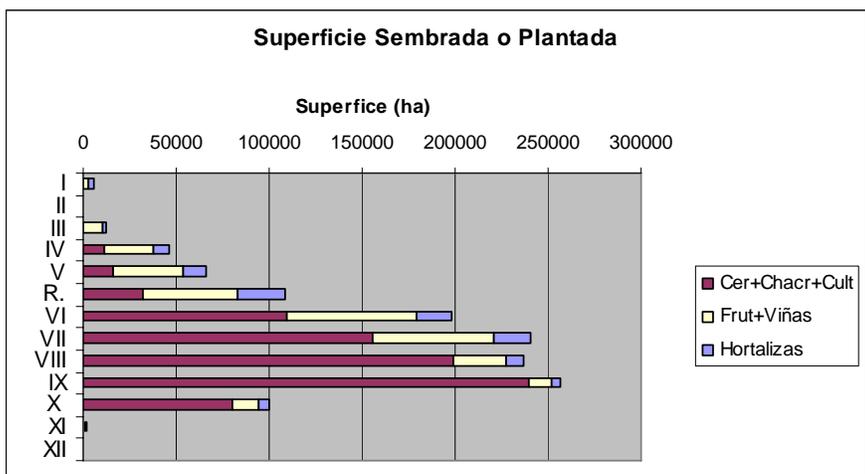


Figura 4.1 Superficie sembrada o plantada con cultivos extensivos (cereales, chacras, cultivos industriales); frutales y viñas; hortalizas, por regiones de Chile, según Censo Nacional Agropecuario 1996-1997 (elaboración propia a partir de información de ODEPA, 2001)

La zona para la cual se propone una red regional se extiende desde la V Región hasta la VIII Región. El área analizada con mayor detalle corresponde a las regiones V, RM y VI, donde existen varias redes de monitoreo de calidad de aire.

4.3 Mediciones de calidad de aire en la Macrozona Central

Las mediciones de calidad de aire actualmente existentes y planeadas para las Regiones V a VIII son las siguientes:

V Región:

Existentes:

- Red de monitoreo de calidad de aire de la zona de Ventana (Fundición ENAMI, Central termoeléctrica, Terminal de asfalto y combustibles)
- Estación de Concón (RPC)
- Red de monitoreo de calidad de aire de las Centrales Termoeléctricas instaladas en la zona de Limache-Quillota.
- Estaciones de monitoreo del área de La Calera (Cemento Melón).
- Red de monitoreo de Fundición Chagres.

Propuestas:

- Mediciones de calidad de aire en 2 puntos del Gran Valparaíso (Valparaíso-Viña del Mar-Villa Alemana-Quilpué-Concón), Proyecto Cosude.

Región Metropolitana:

Existentes:

- Red de monitoreo de calidad de aire de Santiago (Red MACAM2 y estaciones complementarias de SESMA).
- Estación de monitoreo de calidad de aire de Central Renca.
- Estaciones de medición de PM10 y polvo sedimentable de Proyecto de Disposición de Relaves Embalse Ovejería (División Andina Codelco).

Propuestas:

- Mediciones de CO en Autopista Costanera Norte
- Mediciones de CO en Autopista Acceso Sur a Santiago
- Estaciones de monitoreo Relleno Sanitario Santiago Poniente (Maipú)
- Estaciones de monitoreo Relleno Sanitario Santa Marta (Talagante)

VI Región

Existentes:

- Red de monitoreo de calidad de aire División El Teniente, Codelco

Propuestas:

- Monitoreo de calidad de aire en Rancagua (Cosude)

VII Región

No hay monitoreo de calidad de aire

VIII Región

Existentes:

- Estaciones de monitoreo de calidad de aire de Refinería de Petróleos Petrox (Talcahuano)
- Estaciones de monitoreo en Talcahuano

- Estaciones de monitoreo de calidad de aire en Coronel

Propuestas:

- Monitoreo de calidad de aire en Complejo Forestal Industrial Itata (Ranquil).

Resumen de ubicación de estaciones de calidad de aire

Las redes de monitoreo de calidad de aire existentes en estas Regiones se ubican en zonas urbanas o en el entorno de grandes fuentes emisoras. A excepción de algunas estaciones en el valle del Aconcagua, y otras en el entorno de Caletones, todas orientadas a medir influencias de grandes fuentes, no existen mediciones de calidad de aire establecidas en forma continua en sectores rurales.

4.4 Consideraciones para el diseño de la Red Regional de Calidad de Aire

4.4.1 Objetivos del monitoreo de calidad de aire

Los programas de monitoreo deben estar ligados estrechamente a los principales problemas de calidad de aire en una región. A lo largo del tiempo, los resultados del monitoreo permitirán confirmar los problemas, o bien demostrar que el riesgo no es tan alto como el sospechado. El monitoreo entregará información para apoyar las decisiones sobre cómo encarar problemas de calidad de aire y definir prioridades de los diferentes temas que deben ser tratados.

Un aspecto de gran importancia es definir los objetivos de calidad de aire regionales, o de áreas específicas dentro de una región. Los objetivos pueden ser “mantener y mejorar la calidad de aire” (por ejemplo, en una zona de parques nacionales), o bien “reducir las concentraciones actuales de MP10 en un porcentaje dado, en un plazo definido”, que corresponden a metas de planes de descontaminación en zonas saturadas. Un programa de monitoreo debe entregar información suficiente para saber si tales objetivos han sido alcanzados.

4.4.2 Objetivos principales de una red de monitoreo

Los principales objetivos que se proponen para la red regional de calidad de aire para la región central de Chile son los siguientes:

- Evaluación de los niveles actuales de calidad de aire a los cuales está expuesta la población, para estimar riesgos en salud.
- Evaluación de niveles de calidad de aire en sectores rurales, con fines de estimar el riesgo de deterioro de la productividad agrícola y proteger recursos naturales renovables.

- Evaluación del riesgo de deterioro de la calidad del aire en áreas de alta vulnerabilidad a la presencia de contaminantes, particularmente en zonas de paisaje prístino y de especies sensibles a la contaminación.
- Evaluación de los niveles de fondo de calidad de aire y de sus tendencias a mediano plazo, que indicarán tempranamente la posible acumulación de efectos de emisiones distribuidas en áreas geográficas extensas.

4.4.3 Consideraciones especiales

- La red debe complementarse con las redes públicas y privadas existentes, ubicadas en ciudades y en entornos de grandes fuentes emisoras. También debe considerar las mediciones que se establecen en las resoluciones ambientales de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y las propuestas para algunas ciudades de la zona.
- Los niveles de calidad de aire esperados en zonas apartadas, son más bajos que los usualmente encontrados en áreas urbanas y entornos de fuentes importantes. Por lo tanto, el rango de operación de los equipos debe adecuarse a esos niveles más bajos.
- Las variaciones espaciales esperadas en zonas apartadas son suaves, sin gradientes importantes. Por lo tanto, las estaciones de monitoreo pueden tener un espaciamiento mayor que en zonas cercanas a emisiones importantes, donde existen gradientes espaciales fuertes.
- La selección de los lugares de instalación debe, evitar influencias de emisiones cercanas, que aunque pequeñas, podrían afectar la representatividad de las mediciones para áreas extensas.

4.4.4 Criterios para seleccionar áreas para ubicación de estaciones de monitoreo

Evaluación de riesgos en salud:

- Localidades con mayor población, donde se puede esperar que los niveles de calidad de aire se deterioren por concentración de actividades (tránsito vehicular, consumo de combustibles, emisiones industriales).

Evaluación de riesgos en producción agrícola:

- Áreas de mayor desarrollo de cultivos y plantaciones sensibles a contaminantes (frutales, viñas, horticultura y otros cultivos).
- Unidades geográficas homogéneas (cuencas, zonas agrícolas extensas).
- Se propone priorizar lugares donde existen estaciones agrícolas experimentales.

Zonas prístinas y áreas naturales:

- Parques nacionales, reservas, áreas protegidas.

Niveles de fondo regionales:

- Áreas alejadas de fuentes emisoras importantes (ciudades, grandes fuentes).

4.4.5 Relación con las redes de monitoreo existentes.

La proposición de red regional considera la existencia de las redes actuales, en las regiones V, RM y VI. En estas regiones existe mayor riesgo de deterioro de la calidad del aire, por la concentración de grandes núcleos urbanos y fuentes emisoras de gran magnitud. La red propuesta en estas regiones tiene mayor densidad.

En las regiones VII y VIII no existen mediciones, excepto en dos sectores costeros de la VIII Región (Talcahuano, Coronel). Para estas regiones se ha propuesto una red de menor densidad, que tiene carácter exploratorio.

4.4.6 Tipos de estaciones de monitoreo de calidad de aire

Equipamiento propuesto para diferentes tipos de estaciones:

Estaciones simples:

Estaciones para protección de actividad agrícola y de áreas protegidas

Calidad de aire por método de Tubos pasivos:

- SO₂
- O₃
- NO₂
- NH₃

En lugares seleccionados, mediciones meteorológicas:

- Velocidad y dirección de viento
- Temperatura, humedad del aire
- Radiación solar

Estaciones simples para protección de salud poblacional (urbanas):

- Se agregará monitoreo de material particulado respirable MP₁₀ por métodos simples, por ejemplo, muestreo cada tres días con instrumentos tipo Harvard Impactor o Minivol.

Estaciones de monitoreo continuo:

Estaciones para protección de salud poblacional, estaciones de niveles de fondo:

Calidad de aire, monitoreo continuo (específico según ubicación):

- MP₁₀ / MP_{2.5}

- O3
- NO, NO2
- SO2
- CO

Calidad de aire, muestreos para análisis químicos:

- MP10/MP2.5, otras fracciones
- Compuestos Orgánicos Volátiles
- Específicos

Meteorología (según ubicación).

- Velocidad y dirección de viento
- Temperatura, humedad del aire
- Radiación solar
- Otras variables (según requerimientos específicos)

4.5 Red Regional de Monitoreo de Calidad de Aire propuesta

En las tablas y figuras siguientes se presentan las localidades propuestas para cumplir con diferentes objetivos de protección. Se identifican las posibles influencias de fuentes emisoras sobre la localidad propuesta.

Las localidades propuestas para protección por efectos en salud, corresponden a ciudades con una población de 50.000 habitantes o más, o localidades donde existen antecedentes de riesgos para la salud de las personas, por cercanía de fuentes emisoras. En las ciudades más extendidas, existen o se proponen más de una estación de monitoreo.

Algunas localidades propuestas para fines de protección agrícola, son cercanas a lugares poblados y por lo tanto representan los niveles mínimos de calidad de aire que se esperan en el área urbana.

Se han asignado prioridades a cada localidad propuesta para monitoreo de calidad de aire, en una escala de 1 (mayor prioridad) a 3 (menor prioridad). Las prioridades asignadas obedecen a consideraciones relativas al nivel de impacto sobre calidad de aire esperado en esa zona, la representatividad e importancia de un área agrícola o de un recurso protegido, el tamaño de la población en caso de estaciones urbanas.

La última tabla resume las estaciones propuestas para conformar la red de carácter regional, que abarca desde la V a la VIII Regiones. Se han seleccionado las estaciones propuestas para cada objetivo de protección, con prioridades 1 o 2.

Si bien el número de estaciones que se proponen parece ser elevado, se debe tener presente que algunas de ellas cumplirán más de un objetivo. Además la red se extiende hacia regiones que no cuentan actualmente con monitoreo de calidad de aire.

Por otra parte, el nivel de recursos que se destina en la actualidad a monitoreo de calidad de aire en la zona del Valle del Aconcagua es alto, encontrándose una gran densidad de puntos de monitoreo en torno a grandes fuentes, y extensas áreas sin cobertura.

Se propone re-evaluar la totalidad de las redes existentes en la V Región, buscando compatibilizar los objetivos propios de monitoreo de cada fuente emisora, con las recomendaciones de objetivos regionales y localizaciones aquí propuestas. Ello es coherente con la constatación hecha en este estudio en cuanto a que el impacto de las principales fuentes industriales de la región no se limita a su entorno inmediato, sino que abarca al menos el Valle del Aconcagua, superponiéndose al impacto de otras fuentes. Por lo tanto, no es posible considerar en forma aislada cada red de monitoreo, sino que es necesario integrarlas al análisis y la gestión de calidad de aire de escala regional, que es un problema multicausal.

Por su parte, para las estaciones orientadas a la vigilancia de impactos sobre recursos agrícolas y áreas protegidas ubicadas en la VI Región y en la zona Sur de la Región Metropolitana, se propone evaluar la factibilidad de que sean asociadas a la actual red de monitoreo pasivo de la Fundición Caletones. Ello, pues esa fuente parece tener un impacto relevante en las concentraciones de SO₂ sobre las zonas propuestas.

El enfoque anterior, es decir, la revisión de la localización de las estaciones actualmente asociadas a grandes fuentes emisoras, también se recomienda aplicarlo a las estaciones en operación ubicadas en la VIII Región. De esta forma se optimiza el uso de recursos ya destinados a fines de monitoreo en el país.

En relación a lo anterior, se debe tener presente que la propuesta aquí planteada debe ser revisada en función de los recursos que la autoridad pueda destinar para concretarla y de la capacidad de ésta para intervenir en la relocalización de redes existentes.

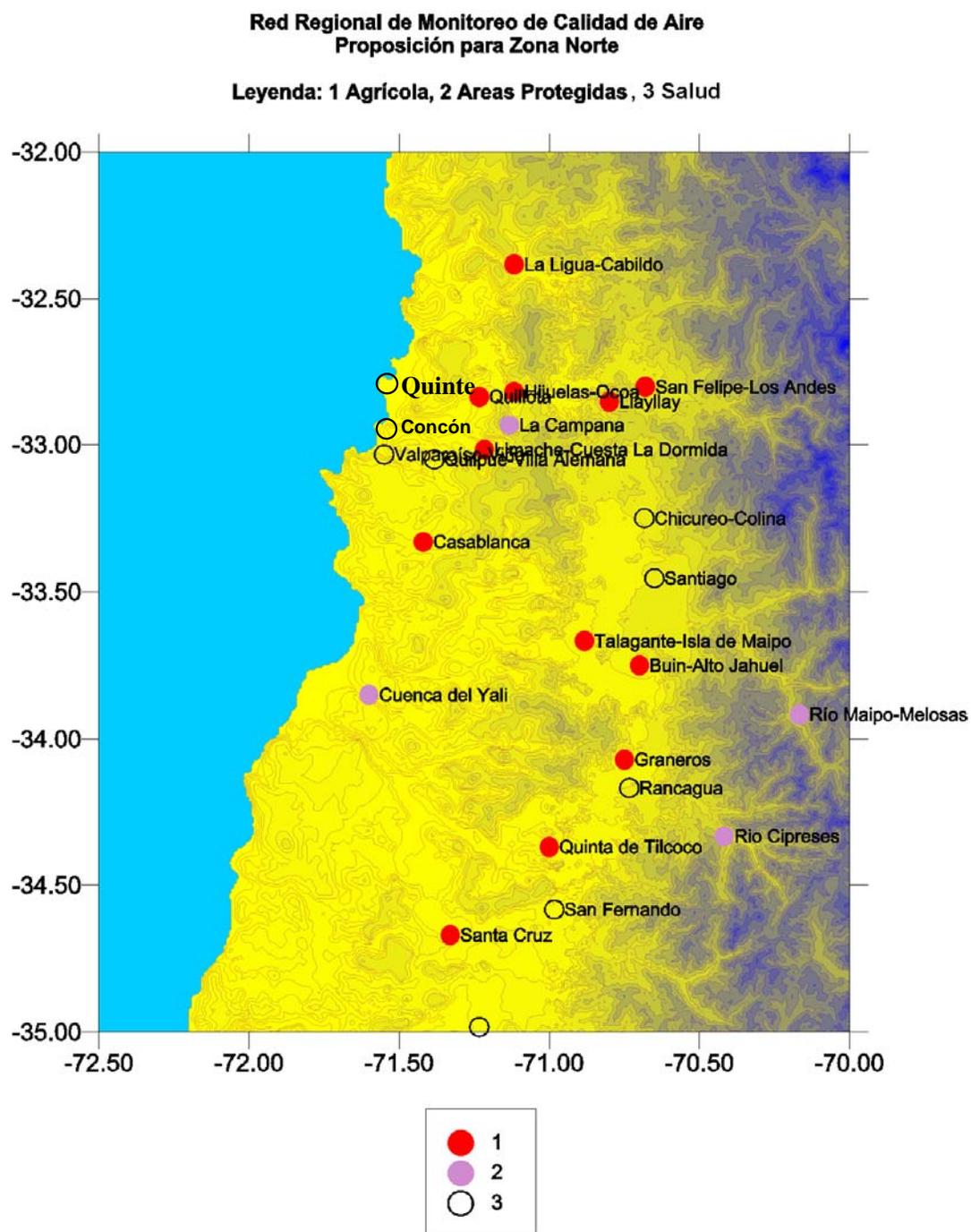


Figura 4.2 Red Regional de Monitoreo de Calidad de Aire propuesta para las Regiones V a VIII, parte norte

**Red Regional de Monitoreo de Calidad de Aire
Proposición para Zona Sur**

Legenda: 1 Agrícola, 2 Areas Protegidas, 3 Salud

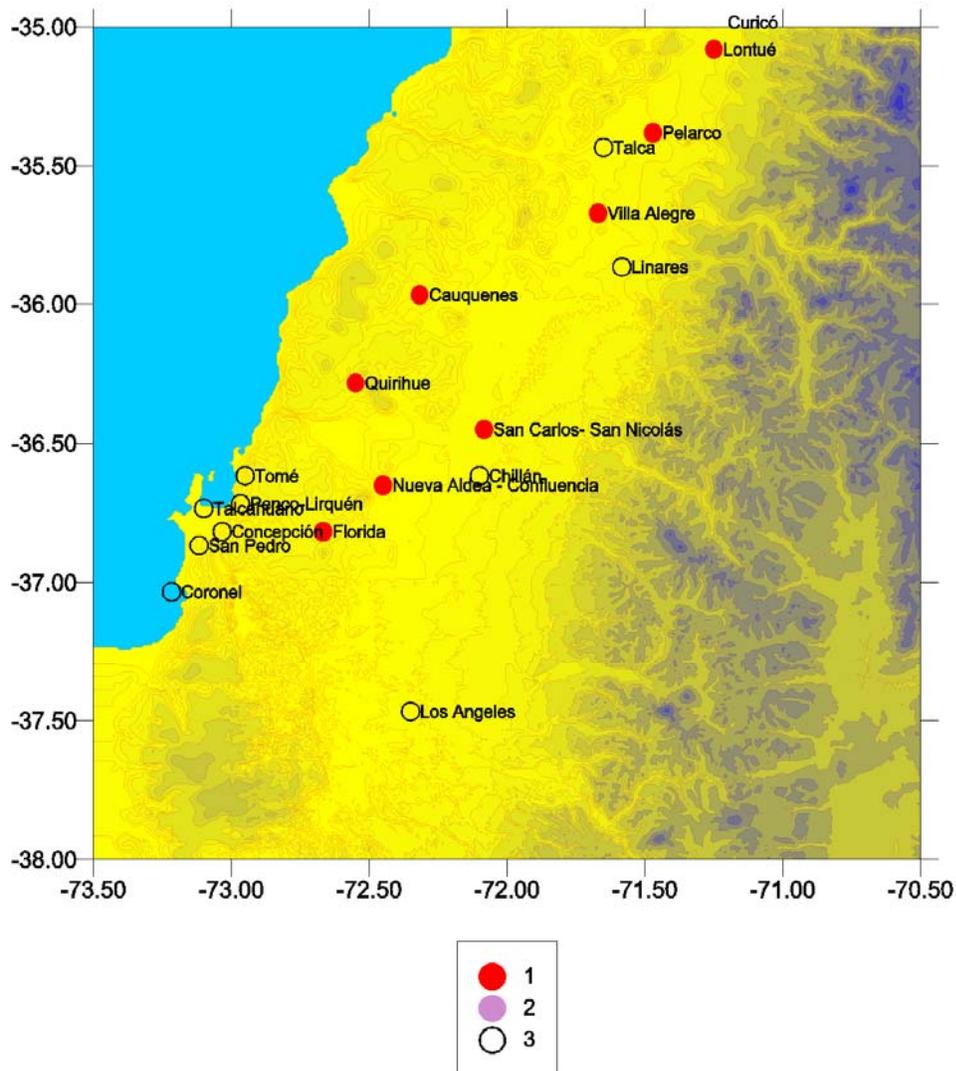


Figura 4.3 Red Regional de Monitoreo de Calidad de Aire propuesta para las Regiones V a VIII, parte sur

Tabla 4.1 Proposición de red orientada a protección de salud poblacional

Prioridad	Región	Sector	Localidad	Influencia	Otros
1	V	La Ligua-Cabildo		Niveles regionales	Coincide con estación propuesta para protección agrícola
1	V	Quintero		Ventanas	Estación de calidad de aire existente
1	V	Concón		Concón	Estación de calidad de aire existente
1	V	San Felipe-Los Andes		Chagres, Santiago	Complementar estación agrícola con mediciones para evaluar efectos en salud
1	V	La Calera		Cemento Melón, Termoeléctricas, Ventanas, RPC	Estación de calidad de aire existente
1	V	Quillota		Termoeléctricas, Ventanas, RPC, Gran Valparaíso	Coincide con estación propuesta para protección agrícola
1	V	Sector Limache		Valparaíso, Termoeléctricas, RPC, Ventanas	Coincide con estación propuesta para protección agrícola
1	V	Gran Valparaíso	Quilpue-Villa Alemana	Urbana, contaminantes secundarios	Provista por COSUDE
1	V	Gran Valparaíso	Valparaíso-Viña	Urbana	Provista por COSUDE
3	V	San Antonio		No hay impacto identificado	
3	RM	Melipilla		No hay impacto identificado	
1	RM	Talagante		Santiago	Coincide con estación propuesta para protección agrícola
1	RM	Chicureo-Colina		Santiago	Zona de expansión urbana, mediciones previas, problema de ozono
3	RM	Quilicura-Lampa		Santiago	Zona de expansión urbana
1	RM	Santiago	Red	Salud, Santiago y Caletones	Mantener mediciones históricas,

Prioridad	Región	Sector	Localidad	Influencia	Otros
			MACAM y otras	(regional)	evaluar requerimientos de monitoreo específicos
1	RM	Buín		Santiago, Caletónes	Coincide con estación propuesta para protección agrícola
1	VI	Graneros-Codegua		Caletónes	Coincide con estación propuesta para protección agrícola
1	VI	Rancagua		Salud, Caletónes	Estación provista por COSUDE
3	VI	Rengo		Salud, Caletónes	Representado por estación agrícola propuesta
2	VI	San Fernando		Salud	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VII	Curicó		Salud	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VII	Talca		Salud	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VI	Linares		Salud	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VIII	Chillán		Salud	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VIII	Gran Concepción	Tomé	Urbano	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VIII	Gran Concepción	Penco-Lirquén	Urbano	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VIII	Gran Concepción	Talcahuano	Urbano	Mediciones existentes
2	VIII	Gran Concepción	Concepción	Urbano	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VIII	Gran Concepción	San Pedro	Urbano	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire
2	VIII	Coronel		Urbano	Mediciones existentes
2	VIII	Los Angeles		Urbano	Mediciones exploratorias para evaluar calidad de aire

Tabla 4.2 Proposición de Red orientada a protección de productividad agrícola

Prioridad	Región	Sector	Localidad	Influencia	Otros
1	V	La Ligua-Cabildo	Sector agrícola	Posible efecto de Ventanas	
1	V	San Felipe-Los Andes	Sector agrícola	Chagres, Santiago	
1	V	Llayllay	Sector agrícola	Chagres, Termoeléctricas, Santiago	
1	V	Hijuelas-Ocoa	Sector agrícola	Ventanas, Chagres, Cemento Melón	
1	V	Quillota	Sector agrícola	Termoeléctricas, Valparaíso, Ventanas, RPC, Cemento Melón	Posible reubicación de estaciones de la red termoeléctricas
2	V	Limache-Cuesta La Dormida	Sector agrícola	Valparaíso, Termoeléctricas, RPC, Ventanas	
2	V	Casablanca	Sector agrícola	No hay influencia identificada	Sector de viñedos
3	RM	María Pinto-Bollenar	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	RM	Talagante-Isla de Maipo	Sector agrícola	Santiago	Monitoreo previo en Escuela Agrícola de Talagante
1	RM	Buin-Alto Jahuel	Sector agrícola	Santiago, Caletones	Monitoreo previo en Estación Agrícola Los Tilos
1	VI	Graneros	Sector agrícola	Caletones, Rancagua, futuras termoeléctricas	
1	VI	Quinta de Tilcoco	Sector agrícola	Caletones	
1	VI	Santa Cruz	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	VII	Lontué	Sector agrícola	No hay influencia identificada	

1	VII	Pelarco	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	VII	Villa Alegre	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	VII	Cauquenes	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	VIII	San Carlos-San Nicolás	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	VIII	Quirihue	Sector agrícola	No hay influencia identificada	
1	VIII	Nueva Aldea - Confluencia	Sector agrícola	No hay influencia identificada	Monitoreo previsto por Complejo Forestal Industrial Itata
1	VIII	Florida	Sector agrícola	No hay influencia identificada	

Tabla 4.3 Proposición de red orientada a protección de Areas protegidas, recursos naturales, niveles de fondo regionales

Prioridad	Región	Sector	Localidad	Influencia	Otros
2	V	Cordillera de la Costa	La Campana	Termoeléctricas, Ventanas, Valparaiso	Parque Nacional
3	RM	Sector Andino	Rio Olivares-Alfalfal	No hay influencia identificada	Area propuesta como reserva natural
2	RM	Sector Andino	Río Maipo-Melosas	Caletones	Area prístina con probable impacto
3	RM	Cordillera de la Costa	Altos de Cantillana	Posible influencia de Caletones	Area protegida
2	RM-V	Sector costero	Cuenca del Yali	Sector apropiado para niveles de fondo	Area de vida silvestre
2	VI	Sector Andino	Rio Los Cipreses	Caletones	Reserva natural, mediciones red de monitoreo de Caletones

Tabla 4.4 Propuesta final de Red Regional, incluyendo los objetivos de protección de salud poblacional, producción agrícola, recursos naturales y niveles de fondo.

Prioridad	Región	Sector	Entorno	Tipo estación	Comentarios
1	V	La Ligua-Cabildo	Agrícola	Simple	
1	V	Quintero	Urbana	Continua	
1	V	Concón	Urbana	Continua	
1	V	San Felipe-Los Andes	Agrícola, niveles suburbanos	Simple + Continua	
1	V	Llayllay	Agrícola	Continua	Reubicar estación de red Chagres
1	V	Hijuelas-Ocoa	Agrícola	Continua	Reubicar estación de red Termoeléctricas
1	V	Quillota	Agrícola, niveles suburbanos	Continua	Reubicar estación de red Termoeléctricas
2	V	Limache-Cuesta La Dormida	Agrícola	Continua	Reubicar estación de red Termoeléctricas
2	V	La Campana	Recurso natural	Simple	
1	V	Quilpue-Villa Alemana	Urbana	Continua	Provista por COSUDE
1	V	Valparaíso-Viña	Urbana	Continua	Provista por COSUDE
2	V	Casablanca	Sector agrícola	Simple	
1	RM	Chicureo-Colina	Agrícola, niveles suburbanos	Simple + campaña	
1	RM	Talagante-Isla de Maipo	Agrícola, niveles suburbanos	Simple	
1	RM	Buín-Alto Jahuel	Sector agrícola	Simple	
2	RM	Río Maipo-Melosas	Recurso natural	Simple	
2	RM-V	Cuenca del Yali	Recurso natural	Simple	
2	VI	Río Cipreses	Recurso natural	Simple	Estación de red Caletones
1	VI	Graneros	Sector agrícola	Simple	
1	VI	Rancagua	Urbana	Continua	Provista por COSUDE
1	VI	Quinta de Tilcoco	Sector agrícola	Simple	
2	VI	San Fernando	Urbana	Simple	

Prioridad	Región	Sector	Entorno	Tipo estación	Comentarios
1	VI	Santa Cruz	Sector agrícola	Simple	
1	VII	Curicó	Urbana	Simple	
1	VII	Lontué	Sector agrícola	Simple	
1	VII	Pelarco	Sector agrícola	Simple	
1	VII	Talca	Urbana	Simple	
1	VII	Villa Alegre	Sector agrícola	Simple	
1	VII	Cauquenes	Sector agrícola	Simple	
1	VII	Linares	Urbana	Simple	
1	VIII	San Carlos- San Nicolás	Sector agrícola	Simple	
1	VIII	Quirihue	Sector agrícola	Simple	
1	VIII	Chillán	Urbana	Simple	
1	VIII	Nueva Aldea - Confluencia	Sector agrícola	Simple	Monitoreo por futuro Complejo Forestal Industrial Itata
1	VIII	Florida	Sector agrícola	Simple	
1	VIII	Tomé	Urbana	Simple	
1	VIII	Penco-Lirquén	Urbana	Simple	
1	VIII	Talcahuano	Urbana	Continua	Red existente
1	VIII	Concepción	Urbana	Continua	
1	VIII	San Pedro	Urbana	Simple	
1	VIII	Coronel	Urbana	Continua	Red existente
1	VIII	Los Angeles	Urbana	Simple	

4.6 Estudios especiales complementarios a la red regional

Se han identificado algunos aspectos específicos de mayor detalle espacial que lo que puede entregar la red regional, que requieren un análisis especial.

4.6.1 Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes

Los elevados niveles de aerosoles secundarios y oxidantes fotoquímicos originados en la cuenca de Santiago, pueden estar afectando la cuenca de Los Andes, por transporte por el flujo predominante de componente sur durante el día, cruzando sobre el cordón de cerros de Chacabuco.

Se propone realizar una Campaña de mediciones a lo largo de un transecto entre el sector Norte de la Cuenca de Santiago y la Cuenca de Los Andes-San Felipe, con mediciones a lo largo de una línea (6 puntos), durante dos períodos del año, invierno y verano, incluyendo:

- Muestreos semanales con tubos pasivos de Ozono, NO₂, SO₂
- Muestras para especiación de COV
- Muestras de PM_{2.5} para especiación
- Monitoreo continuo de PM, SO₂, NO_x, O₃ en dos lugares
- Meteorología: complemento con información disponible (2 lugares)

4.6.2 Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua:

Interesa especialmente estudiar sectores actualmente no monitoreados, donde se pueden producir concentraciones significativas de Ozono, SO₂ y otros contaminantes.

Sectores prioritarios: Valle de Limache-La Dormida, Sector El Melón, Sector Hijuelas-Ocoa, Sector Llay-Llay-Catemu, Sector San Felipe-Los Andes.

Campaña en período de verano:

- Muestreos semanales con tubos pasivos para O₃, SO₂, NO₂ (12 lugares).
- Mediciones continuas de SO₂, NO_x, O₃, PM en dos sectores (El Melón, Ocoa).
- Mediciones meteorológicas complementarias a las existentes (2 a 3 lugares)
- Muestreos para especiación de COV.

4.6.3 Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona:

Estudio de la variación espacial de contaminantes con la distancia a la fuente emisora. Se propone realizar mediciones a lo largo de 3 líneas originadas en la fuente, de acuerdo al patrón de comportamiento de vientos en el período de invierno, el que hacia el valle determina principalmente las direcciones Norte, Oeste y Sur.

Una campaña de tres meses de duración debería considerar a lo menos los siguientes estudios:

- Muestras semanales con tubos pasivos para O₃, SO₂, NO₂, en 15 puntos.
- Mediciones continuas de SO₂, NO_x, O₃, PM en dos puntos
- Mediciones meteorológicas complementarias a las existentes (3 lugares, una por línea)
- Muestras para especiación de material particulado (Cu, As, S, y otros).

4.7 Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda

Los contaminantes atmosféricos emitidos desde grandes ciudades y fuentes industriales afectan la vegetación y los ecosistemas, tanto por contacto directo como en forma indirecta por deposición hacia los suelos y sistemas hídricos.

Los flujos de deposición seca y húmeda no han sido medidos en Chile. Se puede postular que la presencia de las fundiciones de cobre, con emisiones de óxidos de S y elementos metálicos, y plantas termoeléctricas en zonas donde se desarrollan actividades agrícolas, forestales y ganadería, representan un riesgo muy alto para esas actividades. Las estimaciones realizadas por Gallardo et al. (2000) muestran la gran magnitud de la deposición que puede haberse acumulado a través de décadas de grandes emisiones desde esas fuentes.

Se propone desarrollar un programa experimental para establecer la metodología de mediciones de flujos de deposición seca y húmeda hacia el suelo, de diferentes tipos de contaminantes en su calidad de gases y partículas.

Atendiendo a la complejidad de las mediciones asociadas a este tipo de estudios y a la carencia de una experiencia nacional en el tema, hemos considerado iniciar un conjunto de aplicaciones validadas por la literatura para un sector de la Macrozona Central correspondiente al sector costa de la V Región. Esta selección se basa en la presencia de megafuentes con emisiones de SO₂ y NO_x, y en condiciones meteorológicas claramente definidas, las que permiten el estudio de deposiciones secas sobre la base de un claro patrón meteorológico de superficie, y deposiciones húmedas sobre la base de lluvias y neblinas, estas últimas, definidas como una importante y principal contribución detectada en zonas costeras de California.

Las actividades generales propuestas son las siguientes:

- Aplicación de modelos para el cálculo de deposición seca de gases (SO₂ y NO_x) y partículas.
- Aplicación de modelos para el cálculo de deposiciones húmedas, tanto por lluvias como por neblinas.
- Validación de la metodología de análisis de composición química de aguas lluvia probada experimentalmente en CENMA durante 2001.
- Comparación de métodos teóricos y experimentales para estimación de flujos de deposición (Dry Deposition Inferential Method).

4.8 Referencias

ODEPA, 2001. Compendio Estadístico Silvoagropecuario 1990-2000. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura.

García-Huidobro, T., Marshall, F., Bell, J., .2001: A risk assessment of potential crop losses due to ambient SO₂ in the central regions of Chile. *Atmos. Environ.* 35 (2001) 4903-4915.

5 Resumen de proposiciones

A continuación se recogen proposiciones y recomendaciones, generales y específicas, realizadas en diferentes secciones del estudio

5.1 Proposición para mejoramiento de la calidad de la información reportada por redes de monitoreo privadas.

La información proveniente de las redes de monitoreo instaladas en el entorno de grandes fuentes, muestra diferentes niveles información reportada. Se aprecian diferentes comportamientos anómalos, tales como saturación de señales, saltos bruscos, comportamientos muy diferentes a partir de una fecha dada, valores escapados, direcciones de viento contrarias al resto de las estaciones, direcciones reportadas en puntos cardinales, y otros.

Para mantener la calidad de la información, se debe realizar una inspección y validación de ella con el menor retardo posible, que permita detectar las anomalías, obtener información adicional para verificar los datos y corregir la información archivada. Mientras mayor tiempo transcurre desde la generación de información, mayor es el esfuerzo para corregirla, con menor resultado efectivo.

Se propone desarrollar un sistema de validación de información centralizado, en línea con las estaciones monitoras, con procedimientos automatizados para revisar diariamente la información recolectada en las diferentes redes de monitoreo, supervisado por personal con experiencia en este tema. La detección de comportamientos anómalos debería ser reportada a los generadores de esa información, para revisar y corregir posibles deficiencias, en el menor plazo posible. La información validada se incorporaría a una base de datos validados, desde la cual se podrían generar diariamente reportes para todos los usuarios directos de esa información (empresas, servicios públicos y otros).

Se propone aprovechar las capacidades desarrolladas en el Centro Nacional del Medio Ambiente en este tema, que opera redes de monitoreo en varias regiones del país, captura información en forma remota y ha desarrollado protocolos de validación, procesamiento y generación de reportes para la información de calidad de aire y meteorología.

5.2 Proposición para estandarizar los procedimientos de generación de información de calidad de aire

Se recomienda establecer procedimientos estandarizados para selección de la ubicación de estaciones, selección de equipamiento, operación de redes, estaciones y equipos, procesamiento de información, generación de reportes, ejecución de auditorías independientes.

5.3 Proposición para optimizar las redes de monitoreo de ozono y precursores en el Valle del Aconcagua.

El ozono alcanza valores elevados en el valle del Aconcagua. Las emisiones de los precursores de ozono, se originan principalmente en los conglomerados urbanos, especialmente el Gran Valparaíso (Valparaíso, Viña del Mar, Reñaca, Concón, Villa Alemana, Quilpue) y en las fuentes industriales que emiten grandes cantidades de NO_x y COV, Refinería de Petróleos RPC, Centrales Termoeléctricas, Planta de Cemento Melón.

Las redes de monitoreo instaladas a lo largo del valle del Aconcagua no están midiendo en todos los lugares donde se podría producir máximos de ozono. Algunas estaciones están muy cerca de las termoeléctricas, y además concentradas en la misma área geográfica.

Se propone revisar la ubicación de las estaciones de monitoreo dedicadas a estos fines, para incorporar las siguientes áreas donde se pueden esperar valores elevados de ozono:

- Area al interior de Limache (Olmué-La Dormida)
- Areas hacia el norte y sur de La Calera: sector El Melón , sector Ocoa.

La instalación de estaciones en esos lugares deberá incorporar mediciones meteorológicas, para el análisis de movimientos de masas de aire y su relación con niveles de calidad de aire.

5.4 Monitoreo de SO₂ en el entorno de RPC.

Los niveles elevados de SO₂ registrados en la estación Concón ocurren de preferencia durante la noche, con flujo proveniente desde RPC. No hay registro de posibles impactos en la dirección contraria, hacia el interior del valle, correspondiente el flujo diurno desde la costa. Se sugiere realizar mediciones con tubos pasivos y estaciones móviles en el entorno de RPC, con el fin de detectar posibles áreas de impacto adicionales a Concón.

5.5 Monitoreo de SO₂ en el entorno de Ventanas

El comportamiento de las mediciones de SO₂ en el entorno de Ventanas muestra variaciones espaciales importantes, con impactos muy diferentes en localidades cercanas. Los impactos de emisiones fugitivas de SO₂, a niveles cercanos a la superficie, podrían ser la causa de las variaciones espaciales y temporales observadas. Por otra parte, las emisiones desde la chimenea originan un penacho elevado, que puede estar originando niveles elevados de SO₂ en los cerros que forman la cuenca de Ventanas.

Se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y con estaciones móviles, para estudiar en detalle la ocurrencia de eventos de contaminación y la distribución espacial de áreas de máximo impacto, en el entorno de Ventanas. Debido a la magnitud de las emisiones de esa fuente, se esperan impactos significativos hasta distancias de decenas de kilómetros, especialmente en cerros.

5.6 Monitoreo de SO₂ en el entorno de Chagres

La estación Santa Margarita muestra valores de SO₂ muy cercanos a la norma de calidad de aire. No existe información suficiente sobre la posible ocurrencia de niveles más altos en el entorno de Chagres, o de ubicación de zonas de máximo impacto. Se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y estaciones móviles, con el fin de caracterizar la distribución espacial de concentraciones de SO₂, orientada a definir zonas de máximo impacto. El penacho originado desde la Fundición también podría generar impactos significativos en sectores de cerros cercanos, en rangos de alturas correspondientes a los del penacho.

5.7 Mejoramiento de la información meteorológica en el Valle del Aconcagua

Para el análisis de campos de viento y trayectorias en la V Región, se requiere una cobertura geográfica más extensa, que puede combinarse con la reubicación de estaciones meteorológicas, actualmente concentradas en el entorno de algunas fuentes emisoras.

Se propone mejorar la distribución espacial de estaciones de superficie, midiendo en lugares sin observaciones:

- Sector El Melón
- Sector Ocoa
- Sector San Felipe-Los Andes

5.8 Campaña de mediciones meteorológicas en altura en la V Región

Las observaciones en altura disponibles para la V región corresponden al radiosondeo que se realiza dos veces por día en Santo Domingo, en la costa al sur de la región. Debido a la complejidad del relieve de la zona, los flujos en superficie y en altura son afectados por la presencia de valles estrechos y cerros altos.

Se propone estudiar la estructura vertical de la capa límite atmosférica en los primeros kilómetros sobre el suelo, para caracterizar su evolución temporal y comportamiento espacial. Se propone realizar una campaña de mediciones, orientada a obtener perfiles de viento y temperatura en tres lugares a lo largo de un transecto desde la costa hacia el interior del valle de Aconcagua.

5.9 Mediciones meteorológicas en la VIII Región

La información meteorológica adecuada para uso en modelos de simulación, para el área del Gran Concepción, es restringida, limitada a estaciones de superficie en Talcahuano, en el Aeropuerto Carriel Sur y en estaciones de calidad de aire en Coronel.

Las mediciones realizadas durante este estudio en Chiguayante y Arauco son un aporte importante para la meteorología de escala regional.

Se propone implementar una red regional de estaciones meteorológicas de superficie, incluyendo las siguientes áreas:

- Zona costera norte (Tomé)
- Dos estaciones en cerros, sector Escuadrón y sector Penco al interior.
- Mantener las estaciones instaladas en Chiguayante y Arauco.

Debido a la carencia de información en altura en la región, se propone realizar una campaña de mediciones de perfiles verticales para caracterizar la estructura de la capa límite atmosférica en los primeros kilómetros sobre la superficie.

5.10 Modelamiento meteorológico de campos de viento

La realización de campañas de mediciones meteorológicas en altura debe estar acompañada de la interpretación de la información medida.

Se recomienda realizar modelaciones meteorológicas para los períodos en los que se realicen campañas de mediciones, con el fin de mejorar la interpretación de los resultados. El análisis también servirá para verificar el comportamiento de modelos tipo diagnóstico, y comparar con simulaciones con modelos de tipo dinámico.

6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Recopilación de información

Se recopiló información en documentos y medios digitales disponible en CONAMA Nacional y CONAMA Regiones V, VI y VIII. El énfasis de la revisión y análisis posteriores se puso en las regiones V y VIII.

La identificación y el posterior acceso a informes y estudios relevantes para los objetivos del estudio fue complejo. Ello, debido a que no existen centros de documentación completos y actualizados a nivel central y en regiones. Muchos estudios están solamente en poder de personas, desconociendo si corresponden a documentos para uso público o reservado.

En la V Región la información de calidad de aire y meteorología proviene principalmente de redes privadas asociadas a grandes fuentes emisoras: Complejo Industrial Ventanas (Enami-Gener), Fundición Chagres (Compañía Minera Disputada de las Condes), centrales de generación térmica San Isidro y Nehuenco (Colbún-Endesa), Cemento Melón, PACSA y la Refinería de Petróleos Concón (RPC). Entre las mediciones de calidad de aire se cuenta con observaciones de dióxido de azufre (SO₂), material particulado respirable (PM₁₀), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono (O₃).

En la VIII Región hay una menor cantidad disponible de información. La existente corresponde mayoritariamente al área de Talcahuano, con mediciones continuas de SO₂ y PM₁₀ de la red Petrox y de Conama VIII Región, esta última en el marco de PRAT⁹, además de diversos puntos de monitoreo pasivo de SO₂, NO₂ y algunos compuestos orgánicos volátiles (COV). En el año 2001 se iniciaron mediciones continuas de SO₂ y PM₁₀ (cada tres días) en Coronel, donde previamente se realizó una campaña de mediciones con tubos pasivos de SO₂ y NO_x. Entre octubre de 1999 y mayo del 2000 también se realizaron mediciones con tubos pasivos de SO₂ en la zona de Lirquén.

Los datos recopilados y disponibles en medio digital se encuentran en forma de resumen (promedios mensuales, máximos diarios, máximos mensuales, etc) a partir de 1997. Los datos horarios e información base se encuentra disponible sólo para los últimos 2 años y para algunas estaciones. Esto merma la posibilidad de estudiar con mayor profundidad tendencias en períodos más largos y también períodos específicos (por ejemplo episodios).

La información proveniente de las redes de monitoreo instaladas en el entorno de grandes fuentes, muestra diferentes niveles en la calidad de los datos desde su generación hasta su reporte. Se aprecian algunos comportamientos anómalos, tales como saturación de señales, saltos bruscos, comportamientos muy diferentes a partir de una fecha dada, valores escapados, direcciones de viento contrarias al resto de las estaciones, direcciones reportadas en puntos cardinales, y otros.

⁹ Programa de Recuperación Ambiental de Talcahuano

Se recomienda desarrollar un sistema de validación de información centralizado, en línea con las estaciones monitoras, en el cual personal con experiencia se dedique a revisar diariamente la información recolectada en las diferentes redes de monitoreo. La detección de comportamientos anómalos debería ser reportada a los generadores de esa información, para revisar y corregir posibles deficiencias, en el menor plazo posible. La información validada se incorporaría a una base de datos validados, desde la cual se podrían generar diariamente reportes para todos los usuarios directos de esa información (empresas, servicios públicos y otros).

En la misma línea anterior, se recomienda establecer procedimientos estandarizados en la selección de la ubicación de estaciones, selección de equipamiento, operación de redes, estaciones y equipos, procesamiento de información, generación de reportes y ejecución de auditorías independientes.

Se propone aprovechar las capacidades desarrolladas en el Centro Nacional del Medio Ambiente en este tema, que rutinariamente opera redes de monitoreo en varias regiones del país, captura información en forma remota y ha desarrollado protocolos de validación, procesamiento y generación de reportes para la información de calidad de aire y meteorología.

Para facilitar el uso de los antecedentes disponibles en documentos y estudios es necesario generar mecanismos que permitan mantener los centros de documentación actualizados y con acceso para consulta pública.

6.2 Estimación de emisiones

Como resultado de esta actividad se han construido archivos con la información de emisiones para ser ingresada a la de Base de Datos de Emisiones del sistema Airviro, a partir del cual se pueden generar archivos de entrada al modelo de dispersión MATCH u otro. El detalle de esta labor se encuentra en el Anexo F.

Se dispone de inventarios de emisiones para las regiones V, VI y RM. El inventario para la VIII Región fue completado al finalizar este proyecto.

Al comparar los inventarios globales se aprecia la gran magnitud de las emisiones de SO_x de las fundiciones de cobre en la V y VI Región y de las emisiones de CO, NO_x y COV (principalmente por vehículos) en la RM.

Adicionalmente se presentan los valores estimados de emisiones anuales de azufre (S) y material particulado (MP), para las fuentes puntuales más importantes ubicadas en la V Región: Fundición Ventanas (Enami), Central Térmica Ventanas (Gener) y Fundición Chagres (Compañía Minera Disputada de las Condes). Las tendencias de las emisiones reflejan importantes disminuciones en las megafuentes que han estado sometidas a planes de descontaminación en los últimos años. Y por otra parte, entregan un esquema sencillo sobre la distribución regional de la carga de emisiones de azufre, donde el conjunto de fuentes ubicadas en la costa tienen el mayor peso.

La Refinería de Petróleos de Concón también constituye una fuente importante de Azufre oxidado, pero no se dispone de antecedentes de la fuente. Se recomienda incorporar sus emisiones en los inventarios regionales, por importancia relativa en la emisión de azufre y también su potencial importancia en la emisión de precursores de ozono. Igual recomendación vale para la actividad portuaria de Valparaíso.

6.3 Modelación atmosférica

El uso de un modelo de tipo diagnóstico permite obtener una resolución de 2 Km. en los campos meteorológicos, lo que mejora la representación de los rasgos de mesoescala en comparación con las simulaciones disponibles con resolución de 10 Km.

El modelo de diagnóstico requiere datos de: relieve, tipo de superficie y observaciones meteorológicas en superficie y altura. Los resultados dependen fuertemente de la calidad y distribución espacial de las observaciones.

El esquema diagnóstico desarrollado tiene ventajas respecto esquema diagnóstico tradicional. El esquema Hirlam-Calmet se sustenta en resultados de un modelo dinámico (Hirlam) que entrega buenos resultados en altura y deficientes en superficie, donde se requiere una representación más detallada del relieve para estudiar fenómenos de una escala reducida. Los aspectos de superficie son mejorados por el modelo de diagnóstico mediante la incorporación de topografía con mayor resolución y la simulación de los efectos cinemáticos del relieve, flujos de ladera y bloqueo. En altura se conservan los patrones del modelo dinámico y se incorpora las pocas observaciones verticales disponibles en el área de simulación (en este caso sólo el sondeo de Santo Domingo). Esta es una ganancia respecto del enfoque tradicional de diagnóstico que desarrolla un patrón de flujo general sólo a partir de observaciones, que será muy limitado en altura si los datos en la vertical son escasos como es la situación de la V y la VIII Regiones.

6.3.1 Campos de vientos V Región-Valle del Aconcagua

Los resultados obtenidos muestran las perturbaciones de la superficie en los primeros niveles simulados. Se observan flujos canalizados por los valles estrechos y en general los efectos del relieve con mayor resolución al original.

Existen lugares desprovistos de información donde el modelo no entrega buenos resultados. De ser relevantes, como el caso de la cuenca de Los Andes, estos aspectos pueden ser mejorados con mediciones meteorológicas adicionales.

En vista de estos antecedentes, es recomendable realizar una coordinación de quienes realizan las observaciones e incluir dentro de los objetivos de medición, además de los problemas locales a los que actualmente se orientan, el concepto de una representación de los flujos más regionales, asociados a problemas de impactos de más largo alcance. Así como también incorporar estaciones de observación en lugares de complejidad orográfica sin información como Los Andes, El Melón y San Felipe.

Sería conveniente también disponer de mediciones regulares dentro de los primeros niveles de la atmósfera para tener una caracterización de la evolución de la capa límite en diferentes condiciones del año y tener información más precisa orientada a los problemas de contaminación atmosférica de nivel regional. Se recomienda realizar una campaña de mediciones en altura orientada a la caracterización de la capa límite junto a la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua.

6.3.2 Trayectorias en V Región-Valle del Aconcagua

La visualización de las trayectorias permite identificar que los efectos de las emisiones de grandes fuentes y núcleos urbanos pueden tener alcances de nivel local y regional, por lo que las medidas de control y gestión de la contaminación atmosférica deben tener también ambas dimensiones.

Se encuentra recirculación de parcelas de aire dentro del dominio por más de un día. En condiciones de verano e invierno se aprecia que las emisiones pueden tener efectos de alcance regional. Este es un antecedente importante para la definición de áreas de control para SO₂, proveniente principalmente de grandes fuentes y también para O₃ y aerosoles secundarios, donde participan múltiples fuentes. En casos específicos, se muestra la posibilidad de efectos significativos del complejo industrial de Ventanas sobre los núcleos urbanos de Concón, Valparaíso y Viña del Mar, donde se superpone con emisiones de otras fuentes locales importantes como RPC, la actividad portuaria y las ciudades mismas.

Sin perjuicio de la utilidad de las trayectorias para identificar el alcance de las fuentes emisoras, el único proceso físico considerado en su cálculo es la advección, por lo tanto, al interpretar sus resultados se debe tener presente que no permiten dar cuenta de otros factores que condicionan la contaminación atmosférica, tales como el desarrollo de la capa mezcla y procesos de dispersión, depositación y transformaciones de los contaminantes en la atmósfera.

Dada la complejidad de los problemas de contaminación atmosférica provocados por la superposición del conjunto de emisiones de centros urbanos y grandes núcleos industriales, se recomienda mejorar las bases de datos (emisiones y meteorología) orientadas a la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes y modelos de balance con perspectiva regional que permitan identificar los grados de aporte de diferentes fuentes para orientar estrategias de control específicas.

6.3.3 Campos de viento VIII Región-Gran Concepción

La información meteorológica adecuada para modelos de simulación en el área del Gran Concepción, es limitada y está restringida a estaciones de superficie en Talcahuano, el Aeropuerto Carriel Sur y en estaciones de calidad de aire en Coronel. Las mediciones realizadas durante este estudio en Chiguayante y Arauco son un aporte importante para el estudio la meteorología de escala regional.

Se carece de mediciones meteorológicas en altura. La estación con sondeos más cercana (Puerto Montt) se encuentra a más de 400 Km. hacia el sur.

Los resultados del esquema de tipo diagnóstico se pueden mejorar aumentando la cobertura de las observaciones de superficie y de altura. También es recomendable realizar pruebas con un modelo de tipo dinámico y comparar resultados con los obtenidos del modelo de diagnóstico.

En consideración a estos antecedentes, se recomienda el establecimiento de observaciones regulares de superficie y realizar campañas de observación en altura para caracterizar el viento en altura en niveles bajos de la atmósfera en algunos puntos próximos a Concepción.

Se propone implementar una red regional de estaciones meteorológicas de superficie, incluyendo las siguientes áreas:

- Zona costera norte (Tomé)
- Dos estaciones en cerros, sector Escuadrón y sector Penco al interior.
- Mantener las estaciones instaladas en Chiguayante y Arauco.

Con el fin de mejorar la interpretación de los resultados de mediciones meteorológicas en altura, se recomienda realizar modelaciones para los períodos en los que se realicen tales campañas.

6.3.4 Trayectorias VIII Región-Gran Concepción

Resultados preliminares de trayectorias en la VIII Región muestran la posibilidad de impacto a la zona urbana de Concepción de emisiones desde la zona de Coronel y en menor medida desde Talcahuano.

Se recomienda profundizar los antecedentes entregados por las trayectorias calculadas con la aplicación de modelos de dispersión con perspectiva regional, junto con mediciones de calidad de aire en Concepción, Penco y Tomé para validar las hipótesis de transporte de contaminantes por largas distancias.

6.4 Antecedentes para declaración de zonas saturadas

6.4.1 V Región-Valle del Aconcagua

Existe un problema generalizado de material particulado MP10 para promedios anuales. Ello puede estar relacionado a la formación de aerosoles secundarios por la presencia de grandes fuentes de SO_x y NO_x. Se recomienda estudiar la composición del MP10 en distintos lugares de la costa y hacia el interior del valle del Aconcagua para verificar la presencia de aerosoles secundarios como indicadores de la extensión del impacto de las grandes fuentes emisoras de la Región.

La estación La Greda de la red del Complejo Industrial Ventanas constituye un caso excepcional de excedencia de norma diaria de MP10. Se presume la existencia de efectos locales que requieren control a esa escala. Ello implica, como parte de medidas inmediatas, realizar inspección de la localización de la estación para identificar las posibles fuentes locales de material particulado y adicionalmente una caracterización química y granulométrica del material particulado para determinar su origen.

Los problemas más agudos por SO₂ están relacionados principalmente a fuentes cercanas, sin embargo, las observaciones y los análisis de trayectorias muestran que los efectos de las emisiones de fuentes importantes, pueden alcanzar grandes distancias, con la posibilidad de generar superposición entre fuentes muy alejadas en la costa y hacia el interior del Valle del Aconcagua. Dentro de las fuentes importantes se considera el Complejo Industrial Ventanas, RPC, Chagres y el núcleo urbano de Valparaíso que incluye la actividad portuaria, de la que no se dispone de antecedentes de emisiones.

Se presume la existencia de lugares con niveles altos de SO₂ en áreas actualmente no cubiertas por las zonas saturadas y latentes en vigencia. Se recomienda ampliar las zonas de vigilancia para verificar la existencia de niveles importantes de SO₂ en lugares que requieren de protección como centros poblados, recursos agrícolas y reservas naturales.

Se estima que los problemas observados de ozono son de escala regional. Ello en consideración a la distribución de fuentes de precursores (núcleos urbanos, termoeléctricas y emisores de compuestos orgánicos volátiles), los altos valores observados donde hay monitoreo de O₃ y los patrones de transporte de masas de aire, en consecuencia, la gestión de este problema debe apuntar a un manejo a ese nivel. Se recomienda ampliar la cobertura de los inventarios de emisión que incluyen a las fuentes de precursores, NO_x y COVs principalmente, y también se deben iniciar campañas que apunten a determinar los niveles donde se advierte la posibilidad de impactos altos y que requieren ser vigilados, como población, recursos agrícolas y reservas naturales.

Los antecedentes recogidos indican que se requiere ampliar las zonas de control en función de atacar los problemas actuales y realizar un manejo sustentable del recurso aire en función de las perspectivas de desarrollo de la Región.

En consideración a que los niveles de SO₂ observados muestran los efectos más agudos en los entornos de las fuentes más importantes de azufre, y que los antecedentes recogidos indican su gran relevancia en los problemas de escala regional, se recomienda privilegiar la gestión de los problemas generados por la emisión de azufre oxidado al origen de estos, es decir, al control de las fuentes individuales importantes ya identificadas, más que al establecimiento de amplias áreas de manejo. Paralelamente, también se recomienda la ampliación de zonas de vigilancia mediante el establecimiento de observaciones en zonas que requieren de protección y que pueden estar recibiendo impactos importantes, y de estudios prospectivos para verificar la importancia de las emisiones de azufre oxidado en los aerosoles secundarios transportados a lo largo de la zona costera y hacia el interior del valle del Aconcagua.

Según los antecedentes presentados, Ozono y MP₁₀ constituyen problemas de mayor escala, se recomienda considerar como zona de control al conjunto de áreas donde se verifican problemas de MP₁₀ anual y niveles elevados de ozono, anexando además aquellas comunas donde se estima niveles altos de estos contaminantes, así como también aquellas que muestran influencia potencial sobre los lugares donde se ha constatado o se supone un problema. El área de control recomendada cubre: las provincias de San Felipe de Aconcagua, con excepción de la comuna de Putaendo, la totalidad de la provincia de Quillota y la provincia de Valparaíso, con excepción de las comunas de Casablanca y Juan Fernández.

6.4.2 VIII Región-Gran Concepción

Fuera del área de Talcahuano existe muy poca información que permita constatar problemas de calidad de aire por efecto de las emisiones provenientes de la actividad de importantes núcleos urbanos y de industrias cuyas emisiones pueden impactar en forma significativa zonas de gran extensión.

Las mediciones de material particulado y dióxido de azufre realizadas en Talcahuano entregan antecedentes sobre algunos problemas que pueden tener una extensión regional y otros de una escala muy reducida.

Es muy probable que los problemas más agudos detectados puedan ser resueltos con controles localizados a fuentes más que involucrar amplias zonas en planes de manejo de gran envergadura y costo.

Los problemas de mayor alcance y persistencia requieren ser explorados, incluyendo mediciones de calidad de aire, meteorología y caracterización química de material particulado para estudiar la formación de aerosoles secundarios.

No hay mediciones disponibles de ozono. El gran desarrollo de urbano Concepción y otros centros, junto con la presencia de la industria petroquímica, constituyen una motivación para la exploración de posibles problemas de ozono en el entorno de grandes centros poblados, pues ambos son fuentes de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos que son precursores de ozono.

En virtud de los antecedentes expuestos, las recomendaciones de gestión se orientan en primer término a investigar y resolver los problemas agudos por material particulado y dióxido de azufre, que aparentemente son de una escala muy reducida en el sector de San Vicente, y por tanto las medidas de control deberían ser acordes a esa dimensión.

También se detectan problemas por SO₂ que pueden ser de una escala mayor, para ello se recomienda explorar esos problemas ampliando las zonas de vigilancia con mediciones prospectivas en el área de Concepción, al interior del curso del río Bio Bio, Penco, Tomé, y San Pedro.

El material particulado y el ozono también pueden constituir problemas de gran extensión, en estos casos se recomienda realizar mediciones exploratorias de ozono y material particulado fino en Concepción, Talcahuano y viento abajo en Penco y Tomé.

6.5 Proposición de una red regional de monitoreo

Se ha propuesto el diseño conceptual para una Red de Monitoreo Regional de la Calidad de Aire que se extiende desde la V Región hasta la VIII Región.

Los principales objetivos planteados para la red son:

- Evaluación de los niveles actuales de calidad de aire a los cuales está expuesta la población, para estimar riesgos en salud.
- Evaluación de niveles de calidad de aire en sectores rurales, con fines de estimar el riesgo de deterioro de la productividad agrícola y proteger recursos naturales renovables.
- Evaluación del riesgo de deterioro de la calidad del aire en áreas de alta vulnerabilidad a la presencia de contaminantes, particularmente en zonas de paisaje prístino y de especies sensibles a la contaminación.
- Evaluación de los niveles de fondo de calidad de aire y de sus tendencias a mediano plazo, que indicarán tempranamente la posible acumulación de efectos de emisiones distribuidas en áreas geográficas extensas.

Además de los objetivos de monitoreo, hay consideraciones especiales a tomar en cuenta:

- La red debe complementarse con las redes públicas y privadas existentes, ubicadas en ciudades y en entornos de grandes fuentes emisoras. También debe considerar las mediciones que se establecen en las resoluciones ambientales de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y las propuestas para algunas ciudades de la zona.

- Los niveles de calidad de aire esperados en zonas apartadas, son más bajos que los usualmente encontrados en áreas urbanas y entornos de fuentes importantes. Por lo tanto, el rango de operación de los equipos debe adecuarse a esos niveles más bajos.
- Las variaciones espaciales esperadas en zonas apartadas son suaves, sin gradientes importantes. Por lo tanto, las estaciones de monitoreo pueden tener un espaciamiento mayor que en zonas cercanas a emisiones importantes, donde existen gradientes espaciales fuertes.
- La selección de los lugares de instalación debe, evitar influencias de emisiones cercanas, que aunque pequeñas, podrían afectar la representatividad de las mediciones para áreas extensas.

Los criterios de proposición de lugares de monitoreo se relacionan directamente con los objetivos señalados.

Se han asignado prioridades a cada localidad propuesta para monitoreo de calidad de aire, en una escala de 1 (mayor prioridad) a 3 (menor prioridad). Las prioridades asignadas obedecen a consideraciones relativas al nivel de impacto sobre calidad de aire esperado en cada zona específica, la representatividad e importancia de un área agrícola o de un recurso protegido, el tamaño de la población en caso de estaciones urbanas.

El nivel de recursos que se destina en la actualidad a monitoreo de calidad de aire en la zona del Valle del Aconcagua es alto, encontrándose una gran densidad de puntos de monitoreo en torno a grandes fuentes, y extensas áreas sin cobertura. Se propone re-evaluar la totalidad de las redes existentes en la V Región, buscando compatibilizar los objetivos propios de monitoreo de cada fuente emisora, con las recomendaciones de objetivos regionales y localizaciones aquí propuestas. Ello es coherente con la constatación hecha en este estudio en cuanto a que el impacto de las principales fuentes industriales de la región no se limita a su entorno inmediato, sino que abarca al menos el Valle del Aconcagua, superponiéndose al impacto de otras fuentes. Por lo tanto, no es posible considerar en forma aislada cada red de monitoreo, sino que es necesario integrarlas al análisis y la gestión de calidad de aire de escala regional, que es un problema multicausal.

Para las estaciones orientadas a la vigilancia de impactos sobre recursos agrícolas y áreas protegidas ubicadas en la VI Región y en la zona Sur de la Región Metropolitana, se propone evaluar la factibilidad de que sean asociadas a la actual red de monitoreo pasivo de la Fundación Caletones. Ello, pues esa fuente parece tener un impacto relevante en las concentraciones de SO₂ sobre las zonas propuestas.

El enfoque anterior, es decir, la revisión de la localización de las estaciones actualmente asociadas a grandes fuentes emisoras, también se recomienda aplicarlo a las estaciones en operación ubicadas en la VIII Región. De esta forma se tiende a la optimización de recursos ya destinados a fines de monitoreo en el país.

6.6 Estudios especiales complementarios a la red regional

Se identifican algunos aspectos específicos de mayor detalle espacial que lo que puede entregar la red regional, que requieren un análisis especial, para lo cual se propone la realización de estudios complementarios, entre ellos:

6.6.1 Análisis de aportes de contaminantes desde la cuenca de Santiago hacia el sector de Los Andes

Se propone realizar una campaña de mediciones a lo largo de un transecto entre el sector Norte de la Cuenca de Santiago y la Cuenca de Los Andes-San Felipe, con mediciones de: Ozono, NO₂, SO₂, COV, MP_{2.5}, MP₁₀ en 6 puntos (2 con meteorología), durante dos períodos del año, invierno y verano.

6.6.2 Evaluación de niveles de contaminación a lo largo del valle del Aconcagua

Se propone realizar campaña de mediciones de O₃, SO₂, NO₂, (12 lugares) con tubos pasivos, de SO₂, NO_x, O₃, MP en dos sectores (El Melón, Ocoa) con monitores continuos, muestreos para especiación de COV y mediciones meteorológicas (2 a 3 lugares).

6.6.3 Evaluación de impactos de Caletones sobre áreas agrícolas de la zona

Con objeto de estudiar la variación espacial de contaminantes con la distancia a la fuente emisora, se propone realizar durante tres meses mediciones las direcciones Norte, Oeste y Sur a partir de la fuente hacia el valle con muestreos pasivos de O₃, SO₂, NO₂ (15 puntos), mediciones continuas de SO₂, NO_x, O₃, MP (2 puntos), meteorología (3 lugares) y muestreos para especiación de material particulado (Cu, As, S, y otros).

6.6.4 Desarrollo de metodologías de medición y estimación de flujos de deposición seca y húmeda.

Dada la ausencia de mediciones y estimaciones de flujos de deposición seca y húmeda en los antecedentes recopilados en el estudio, se propone desarrollar un programa experimental para establecer la metodología de mediciones de flujos de deposición seca y húmeda hacia el suelo, de diferentes tipos de contaminantes en su calidad de gases y partículas. Las actividades generales propuestas son las siguientes:

- Aplicación de modelos para el cálculo de deposición seca de gases (SO₂ y NO_x) y partículas.
- Aplicación de modelos para el cálculo de deposiciones húmedas, tanto por lluvias como por neblinas.
- Validación de la metodología de análisis de composición química de aguas lluvia probada experimentalmente en CENMA durante 2001.
- Comparación de métodos teóricos y experimentales para estimación de flujos de deposición (Dry Deposition Inferential Method).

6.7 Resumen de recomendaciones

A continuación se recogen recomendaciones generales realizadas en el desarrollo del estudio:

Calidad de la información

Se recomienda desarrollar un sistema de validación de información centralizado, en línea con las estaciones monitoras, en el cual personal con experiencia se dedique a revisar diariamente la información recolectada en las diferentes redes de monitoreo. La detección de comportamientos anómalos debería ser reportada a los generadores de esa información, para revisar y corregir posibles deficiencias, en el menor plazo posible. La información validada se incorporaría a una base de datos validados, desde la cual se podrían generar diariamente reportes para todos los usuarios directos de esa información (empresas, servicios públicos y otros).

Se recomienda establecer procedimientos estandarizados para selección de la ubicación de estaciones, selección de equipamiento, operación de redes, estaciones y equipos, procesamiento de información, generación de reportes, ejecución de auditorías independientes.

Optimización de redes de monitoreo en la V Región

Se recomienda revisar la ubicación de las estaciones de monitoreo de la toda la V Región en base a los criterios de la red Regional propuesta y los antecedentes presentados respecto de impactos de nivel regional y de estaciones que están recogiendo efectos muy locales. Además se recomienda incorporar áreas donde se supone la existencia de valores elevados de ozono: área al interior de Limache (Olmué-La Dormida), áreas hacia el norte y sur de La Calera, sector El Melón , sector Ocoa, y Sector San Felipe-Los Andes.

En general, las mediciones de calidad de aire deben incorporar mediciones meteorológicas, para el análisis de movimientos de masas de aire y su relación con niveles contaminación medidos.

Mediciones complementarias a redes de monitoreo de grandes fuentes

Con el fin de detectar posibles áreas de impacto adicionales a Concón, se sugiere realizar mediciones con tubos pasivos y estaciones móviles en el entorno de RPC,.

Basándose en la magnitud de las emisiones de Ventanas, observaciones meteorológicas y los estudios de trayectorias, se suponen impactos significativos hasta distancias de decenas de kilómetros, especialmente en cerros que rodean el valle de Puchuncaví y también en zonas de Concón, Valparaíso y Viña del Mar. Se sugiere desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y estaciones móviles en el entorno de Ventanas y Quintero, y los lugares antes mencionados para estudiar en detalle la ocurrencia de eventos de contaminación y la distribución espacial de áreas de máximo impacto.

Con el fin de caracterizar la distribución espacial de concentraciones de SO₂, se propone desarrollar mediciones con una red de tubos pasivos y estaciones móviles, orientada a definir zonas de máximo impacto hacia el valle de Catemu y el área de Llaillay.

Mejoramiento de la información meteorológica en V Región

Se propone mejorar la distribución espacial de estaciones de superficie, midiendo en lugares sin observaciones, Sector El Melón, Sector Ocoa, Sector San Felipe-Los Andes.

Se propone realizar una campaña de mediciones, orientada a mejorar el conocimiento de la estructura vertical de la atmósfera en tres lugares desde la costa hacia el interior del valle de Aconcagua.

Mejoramiento de la información meteorológica en la VIII Región

Se recomienda implementar una red regional de estaciones meteorológicas de superficie, incluyendo las siguientes áreas: Zona costera norte (Tomé), dos estaciones en cerros, sector Escuadrón y sector Penco al interior, y mantener las estaciones instaladas en Chiguayante y Arauco.

Se propone realizar una campaña de mediciones, orientada a mejorar el conocimiento de la estructura vertical de la atmósfera cerca de Concepción.

Modelamiento meteorológico

Se recomienda realizar modelaciones meteorológicas para todos los períodos en los que se realicen campañas de mediciones, con el fin de mejorar la interpretación de los resultados y descripción de la meteorología local en la V y VIII Regiones..