



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTIMACIÓN DEL APORTE DE DIFERENTES FUENTES A LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA POR PARTÍCULAS EN SANTIAGO, MEDIANTE UN MODELO DE
BALANCE DE MASAS DE ELEMENTOS QUÍMICOS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO**

GERARDO MAURICIO ALVARADO ZÚÑIGA

**PROFESOR GUÍA:
ROBERTO CORVALÁN PAIVA**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
MAURICIO OSSES ALVARADO
SEBASTIÁN TOLVETT CARO**

**SANTIAGO DE CHILE
DICIEMBRE 2006**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR : GERARDO ALVARADO Z
FECHA : DICIEMBRE 2006
PROF. GUIA : Sr. ROBERTO CORVALÁN

“ESTIMACIÓN DEL APORTE DE DIFERENTES FUENTES A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PARTÍCULAS EN SANTIAGO, MEDIANTE UN MODELO DE BALANCE DE MASAS DE ELEMENTOS QUÍMICOS”

Desde hace décadas la ciudad de Santiago de Chile experimenta un alto grado de contaminación atmosférica por material particulado alcanzando durante algunos días, mayoritariamente en la época de otoño-invierno, altas concentraciones consideradas peligrosas para la salud de las personas.

El desarrollo de programas de control y reducción de la contaminación atmosférica por partículas en la Región Metropolitana requiere identificar los responsables y su contribución en las concentraciones ambientales para diseñar y aplicar medidas eficaces y eficientes en corto, mediano y largo plazo. En este contexto, el presente Trabajo de Título pretende entregar un aporte al conocimiento del problema de la contaminación atmosférica de Santiago por material particulado y sus posibles soluciones, mediante la síntesis de la información existente, mediciones exploratorias en lugares no cubiertos por la red de monitoreo de Santiago y la aplicación de una herramienta computacional, correspondiente al modelo receptor de balance de masas de elementos químicos (CMB7) para determinar el aporte de las distintas fuentes emisoras de partículas contaminantes a los niveles ambientales registrados en Santiago.

Los muestreos exploratorios de material particulado respirable menor a $10\ \mu\text{m}$ (MP10) en lugares ubicados a la entrada de los flujos de aire a Santiago presentan concentraciones cercanas a un 50% de las registradas en la zona centro de Santiago durante meses de Invierno y concentraciones similares en meses de Primavera-Verano. Además, la fracción Fina (MP2.5 menor a $2.5\ \mu\text{m}$) considerada más dañina para la salud de las personas corresponde en promedio a un 60% del MP10 durante meses de Invierno, alcanzando porcentajes cercanos a 80% en los días con concentraciones consideradas peligrosas.

Se aplicó CMB7 a muestras de MP10 (fracciones fina y gruesa) tomadas con equipos gravimétricos dicótomos en la zona Centro de Santiago, La Dehesa, Las Condes y Talagante para algunos días de Invierno de 1993 y Verano 1994. En la zona Centro el principal aporte a las concentraciones de MP10 durante Invierno corresponde a Vehículos diesel con 28% seguido de Polvo de calles pavimentadas (24%), Quema de vegetación (12%), Polvo de suelo (8%), Sulfato (8%) y Vehículos livianos a gasolina con Plomo (4%). En Verano, el principal aporte corresponde a Polvo de calles pavimentadas con 28%, Polvo de Suelo (26%) y Vehículos diesel (19%). En Las Condes el principal aporte en invierno es Vehículos diesel (buses y camiones) con un 35% seguido de Polvo de calles pavimentadas con 16% y Quema de vegetación con 12%. En La Dehesa el principal aporte en Verano es Vehículos diesel (buses y camiones) con un 27% seguido de Polvo de Polvo de suelo con 22% y calles pavimentadas con 22%. En Talagante en Verano el principal aporte en invierno es Polvo de suelo con 42% seguido de Quema de vegetación con 32%. Los resultados presentan un porcentaje de masa sin explicar entre 9% y 15% lo cual se puede atribuir a aerosol secundario y la falta de perfiles adecuados para cada lugar.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi profesora de Enseñanza Básica Eugenia Bernales por su esfuerzo y dedicación a la formación de sus alumnos en un período tan difícil de nuestra historia. Gracias a su motivación mis padres me postularon al Instituto Nacional y gracias a la formación recibida en el Instituto ingresé a Ingeniería.

Han pasado muchos años desde el inicio de este Trabajo de Título, incluso algunos compañeros y profesores han partido a mejor vida, entre ellos el destacado Profesor Pablo Ulriken quién me aceptó en su proyecto de investigación, me propuso un tema de memoria y fue un pilar importante en mi posterior desarrollo profesional.

Agradezco a CONAMA RM por autorizar la utilización de los datos generados en proyectos de cooperación Sueca y Holandesa que fueron desarrollados por el Grupo de Estudios y Modelación de Calidad de Aire del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Agradezco también al Programa de Vigilancia de Calidad de Aire de SESMA por el envío de información de material particulado de la Red MACAM.

Agradezco a los funcionarios del Departamento de Geofísica, entre ellos Juanito y Don Manuel, con quienes compartí y disfruté los primeros años de este Trabajo de Título.

Un especial agradecimiento al profesor Roberto Corvalán que aceptó ser mi profesor guía motivándome a retomar y terminar de manera satisfactoria este proceso luego del lamentable fallecimiento de Pablo Ulriksen U.

Agradezco a mis compañeros de Ingeniería Mecánica, a mis compañeros en CENMA y a todo aquel que siempre me animó a seguir adelante.

Finalmente, dedico esta memoria al esfuerzo y apoyo incondicional de mis padres (José y Elisa) para entregarme una mejor educación y formación, a mis hermanas (Gema y Susana), a mi esposa Fabiola que me ha acompañado y apoyado en este largo camino que hoy llega a su fin y a mis hijos (Fabián y Benjamín) quienes, espero, cosecharán los frutos de lo sembrado por sus abuelos.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivos | 2 |
| 1.1.1 Objetivo principal | 2 |
| 1.1.2 Objetivos secundarios | 2 |
| 1.2 Fundamentación del Trabajo de Memoria | 3 |
| 1.3 Metodología | 5 |
| CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES GENERALES..... | 7 |
| 2.1 Partículas atmosféricas | 7 |
| 2.1.1 Origen de las partículas | 7 |
| 2.1.2 Tamaño y clasificación de las partículas | 9 |
| 2.1.3 Distribución de las partículas en función de su tamaño | 10 |
| 2.1.4 Composición Química | 11 |
| 2.1.5 Efectos en la salud de las personas | 13 |
| 2.2 Contaminación por material particulado en Santiago | 15 |
| 2.2.1 Niveles de material particulado medidos en Santiago. | 15 |
| 2.2.2 Fuentes emisoras de material particulado. | 23 |
| 2.2.3 Caracterización física y química. | 24 |
| CAPÍTULO 3. TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 26 |
| 3.1 Campañas de medición de material particulado | 26 |
| 3.1.1 Mediciones para aplicación de modelo receptor CMB | 26 |
| 3.1.2 Análisis de las muestras | 29 |
| 3.1.3 Mediciones exploratorias de material particulado MP10 | 29 |
| 3.2 Resultados de análisis químicos y gravimétricos | 32 |
| 3.2.1 Resultados mediciones para aplicación de modelo receptor CMB | 32 |
| 3.2.2 Resultados mediciones exploratorias de MP10 | 36 |
| CAPÍTULO 4. ESTIMACIÓN DEL APORTE DE DISTINTAS FUENTES MEDIANTE APLICACIÓN DE MODELO CMB7..... | 39 |
| 4.1 Descripción del modelo de balance químico de masas CMB7 | 39 |
| 4.2 Aplicación de CMB7 | 40 |
| 4.3 Resultados de aplicación de CMB7 | 42 |
| 4.4 Análisis e interpretación de resultados | 46 |
| 4.5 Comparación de resultados con otras aplicaciones de Modelo Receptor | 52 |
| 4.5.1 Comparación con otra aplicación de CMB7 en Santiago | 52 |

| | |
|---|------------|
| 4.5.2 Comparación con resultados de aplicación de Análisis de Componentes Principales | 56 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 60 |
| CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA | 64 |
| ANEXOS | 68 |
| Anexo 1: Teoría del modelo receptor de balance de masas de especies química CMB7 | 69 |
| Anexo 2: Resultados análisis químicos mediciones de MP10 y MP2.5 | 78 |
| Anexo 3: Perfiles de fuentes emisoras de MP10 | 87 |
| Anexo 4: Salidas aplicación de CMB7 | 100 |

Capítulo 1. Introducción

Desde hace décadas la ciudad de Santiago de Chile experimenta un alto grado de contaminación atmosférica por material particulado alcanzando durante algunos días, mayoritariamente en la época de otoño-invierno, concentraciones consideradas peligrosas para la salud de las personas.

Los altos niveles de contaminación atmosférica en Santiago obedecen a la conjunción de varios factores. Por un lado la creciente actividad económica de la región lleva aparejada elevados niveles de emisión de contaminantes, a ésta se suman condiciones urbanas propias de la ciudad de Santiago. Además, la gran extensión y segregación funcional provocan un progresivo deterioro del transporte, con aumentos de las distancias recorridas, de los tiempos de viaje y de los flujos. Por otro lado, las condiciones geográficas y meteorológicas de la Región Metropolitana son particularmente desfavorables para una adecuada dispersión de contaminantes (CONAMA, 1997).

Procesos industriales, combustión en calderas, hornos y artefactos, emisiones vehiculares, polvo suspendido desde el suelo, uso de chimeneas domiciliarias y quemas agrícolas son las principales fuentes emisoras de partículas. Además, una fracción significativa del material particulado atmosférico se forma por transformaciones de gases dando origen a lo que se conoce como aerosol secundario.

La composición química de las partículas es muy heterogénea. Las partículas con diámetro inferior a 10 μm (denominadas MP10) son dañinas para la salud humana, ya que pueden penetrar en las vías respiratorias. La fracción fina del MP10 (partículas con diámetro menor a 2.5 μm denominadas MP2.5) es de mayor peligrosidad al ser 100% respirables, penetrar y permanecer mayor tiempo en los pulmones y en general la composición química es de mayor toxicidad.

Aumento de la frecuencia de infecciones respiratorias agudas, cáncer pulmonar y muertes prematuras son los principales efectos en salud vinculados a la exposición prolongada a material particulado respirable.

Además de los efectos en salud, otros efectos comprobados de la contaminación por material particulado son la reducción de visibilidad, ensuciamiento de fachadas de edificios y vestimentas, problemas potenciales de depositación y lluvia ácida.

El desarrollo de programas de control y reducción de la contaminación atmosférica por partículas en la Región Metropolitana requiere identificar los responsables y su contribución en las concentraciones ambientales para diseñar y aplicar medidas eficaces y eficientes en corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, para determinar la responsabilidad o participación de los distintos sectores emisores de material particulado no existe un método directo, ya que la relación entre los contaminantes emitidos a la atmósfera (emisión) y las concentraciones de calidad de aire (inmisión) no tiene un comportamiento lineal.

Al inicio del presente Trabajo de Título estaba disponible una estimación del nivel de emisión de material particulado para las principales fuentes contaminantes en Santiago. Sin embargo, la estimación del aporte de las fuentes contaminantes a las concentraciones ambientales de material particulado respirable correspondía a un estudio realizado por la Universidad de Chile en el año 1985, por lo cual se requería una actualización de los resultados considerando el

fuerte aumento económico, industrial y poblacional de la Región Metropolitana durante la última década y las futuras implementaciones de medidas de control de emisiones de material particulado.

En este contexto, el Trabajo de Título pretende entregar un aporte al conocimiento del problema de la contaminación atmosférica de Santiago por material particulado y sus posibles soluciones, mediante la síntesis de la información existente relacionada con el tema y mediante la aplicación de una herramienta computacional, correspondiente al modelo receptor de balance de masas de elementos químicos CMB7, para determinar el aporte de las distintas fuentes emisoras de partículas contaminantes a los niveles registrados en Santiago.

El desarrollo del Trabajo de Título incluyó aspectos experimentales correspondientes a mediciones de material particulado atmosférico en la Región Metropolitana con muestreadores gravimétricos que permitieron recopilar muestras de material particulado respirable en filtros que fueron enviadas al Desert Research Institute (DRI) en Nevada (USA), un laboratorio químico en el extranjero, para la determinación de concentraciones de elementos químicos y especies iónicas información fundamental para la aplicación de CMB. Se realizó además, recopilación y sistematización de la información existente relacionada con el tema, procesamiento numérico y aplicación de CMB7 para estimar la contribución de fuentes contaminantes en las concentraciones de los receptores ambientales.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo principal

Estimar el aporte de diferentes fuentes emisoras a la concentración del material particulado respirable en Santiago mediante la aplicación de un modelo de balance de masa de elementos químicos.

1.1.2 Objetivos secundarios

Recopilar la información histórica de material particulado en Santiago para elaborar un diagnóstico de la contaminación por material particulado respirable, incluyendo una actualización de los niveles de concentración de partículas medidos en diferentes lugares y en distintas épocas del año y sus características físicas y químicas.

Realizar muestreos exploratorios de concentraciones de material particulado para conocer las concentraciones en lugares no cubiertos por la red de vigilancia de calidad de aire de Santiago.

Aplicar un modelo de balance de masas de elementos químicos para proponerlo como una herramienta para identificar el aporte de las principales fuentes contaminantes en las concentraciones ambientales de material particulado respirable, lo cual permitirá canalizar las medidas de reducción y control de emisiones de material particulado.

1.2 Fundamentación del Trabajo de Memoria

Las concentraciones de material particulado respirable (MP10) superan los valores normados durante gran cantidad de días en el período otoño-invierno alcanzando incluso niveles considerados peligrosos para la salud de las personas. La implementación de medidas eficientes y efectivas para reducir los niveles de MP10 requiere identificar las fuentes responsables y su aporte en las concentraciones ambientales de MP10.

La composición química de las partículas es muy heterogénea, dependiendo de las fuentes que las originan y de las transformaciones químicas ocurridas posteriormente en la atmósfera. En general, el tamaño de las partículas varía en el rango de 0,005 hasta unos 100 μm . En función de su tamaño, las partículas pueden tener un distinto efecto toxicológico, puesto que el tamaño determina el grado de respirabilidad. Las partículas con diámetro inferior a 10 μm son dañinas para la salud humana ya que pueden penetrar en las vías respiratorias. La fracción fina del MP10, denominada MP2.5, es de mayor peligrosidad al ser 100% respirable, penetrar y permanecer mayor tiempo en los pulmones y en general la composición química es de mayor toxicidad.

Aumento de la frecuencia de Infecciones respiratorias agudas (IRA), cáncer pulmonar y muertes prematuras son los principales efectos en salud vinculados a la exposición prolongada a material particulado respirable. La IRA Baja (infección respiratoria aguda de las vías bajas) es un proceso inflamatorio que afecta a la laringe, tráquea, bronquios o parénquima pulmonar (síndrome bronquial obstructivo, bronquitis obstructiva, asma bronquial, laringitis, etc.)

La División de Salud Ambiental del Ministerio de Salud ha estudiado el efecto de las concentraciones de contaminantes en la población de la Región Metropolitana analizando los registros de la red de vigilancia de calidad del aire y las consultas por infecciones respiratorias agudas en los centros de atención primaria de la Región Metropolitana. Estos antecedentes, entre otros resultados, han demostrado:

- Un efecto acumulativo de daño respiratorio significativo en la población de niños sanos.
- Se produce un efecto agudo, en que por cada 10% de aumento de niveles de contaminación promedio diario por MP10, se asocia un aumento en IRAS Bajas diarias de un 0.6% y, a largo plazo, se produce un efecto acumulado de morbilidad respiratoria por la contaminación atmosférica, de tal manera que por cada 10% de aumento de la contaminación por MP10, las IRAS Bajas aumentan 7,6%.
- En niños menores de 2 años un aumento de 50 μm de MP10 se asocia con aumentos de 4 a 12% de los síntomas de IRA Baja; en niños mayores de 3 años este aumento varía entre 3 y 9%.

Además de los efectos en salud, otros efectos comprobados de la contaminación por material particulado son la reducción de visibilidad, ensuciamiento de fachadas de casas, edificios y vestimentas, problemas potenciales de depositación y lluvia ácida.

El desarrollo de programas de control y reducción de la contaminación atmosférica por partículas en la Región Metropolitana requiere identificar los responsables y su contribución en las concentraciones ambientales para diseñar y aplicar medidas eficaces y eficientes en corto, mediano y largo plazo.

Sin embargo, para determinar la responsabilidad o participación de los distintos sectores emisores de material particulado no existe un método directo ya que la relación entre los contaminantes emitidos a la atmósfera (emisión) y las concentraciones de calidad de aire (inmisión) no tiene un comportamiento lineal. La experiencia de países que han desarrollado programas de descontaminación atmosférica (Japón, Inglaterra, México, Estados Unidos, entre

otros) ha demostrado la utilidad de la aplicación de los denominados Modelos Receptores para identificar y determinar la contribución de las fuentes en las concentraciones ambientales de material particulado en función de las características físicas y químicas de partículas medidas tanto en fuentes emisoras como en receptores ambientales de material particulado. Los modelos receptores más comunes incluyen:

- Modelo de balance químico (Chemical Mass Balance, CMB)
- Análisis de componentes principales (ACP)
- Análisis de factores (AF)
- Regresión lineal múltiple (RLM)
- Análisis de Cluster

El modelo de balance químico, CMB, aplicado por primera vez por Hidy and Friedlander en 1971 es considerado el modelo receptor fundamental, consiste en una solución de mínimos cuadrados aplicado a un conjunto de ecuaciones lineales que expresan la concentración de una especie química en un receptor como la suma lineal de los productos entre perfiles de especies de las fuentes y la contribución de las fuentes.

El perfil de especies de las fuentes, es decir la cantidad fraccionaria de cada especie química en las emisiones de cada tipo de fuente, y la concentración de cada especie química en los receptores con su apropiada estimación de incerteza corresponde a la información de entrada del modelo CMB. Los resultados de la aplicación de este modelo consisten en la cantidad contribuida por cada tipo de fuente (incluyendo la incerteza de esos valores) a la concentración de cada especie química medida en el receptor o lugar de monitoreo.

Al inicio del presente Trabajo de Título estaba disponible una estimación del nivel de emisión de material particulado para las principales fuentes contaminantes en Santiago. Esta estimación se realizó mediante ensayos isocinéticos para procesos que emiten partículas a la atmósfera a través de chimeneas y en otros casos mediante la aplicación teórica de factores de emisión de partículas obtenidos en la literatura internacional a los procesos emisores en función de su nivel de actividad. Sin embargo, la estimación del aporte de las fuentes contaminantes a las concentraciones ambientales de material particulado respirable correspondía a un estudio realizado por la Universidad de Chile en el año 1985.

Considerando que la estimación de la participación de las fuentes contaminantes de MP10 fue realizada en el año 1985; el fuerte aumento económico, industrial y poblacional de la Región Metropolitana durante la última década y las futuras implementaciones de medidas de control de emisiones de material particulado necesariamente se requiere una actualización de los resultados.

Para dar respuesta a este requerimiento, el siguiente Trabajo de Título presenta una herramienta de análisis y gestión, correspondiente al modelo receptor de balance de masa de elementos químicos CMB7 que permitiría identificar cuales son las fuentes con mayor participación en los niveles de concentración de material particulado registrados en Santiago en la medida que se cuente con la información apropiada.

1.3 Metodología

La metodología aplicada durante el desarrollo de este Trabajo de Título consistió en las siguientes actividades:

Recopilación de literatura internacional para comprender el comportamiento de las partículas y sus mecanismos de formación, transporte y decantación. Una síntesis de esta información es presentada en el **Capítulo 2 Antecedentes generales**.

Elaboración de un diagnóstico de la contaminación por material particulado mediante una recopilación de la información disponible de mediciones de material particulado en Santiago. Para tales efectos se consultó en las bases de datos existentes en el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA), en la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y trabajos de investigación disponibles. Además, se consideraron las mediciones de material particulado realizadas en el proyecto de investigación del cual forma parte este Trabajo de Título. El período de análisis y procesamiento de datos incluye desde 1993 en adelante correspondiente con las mediciones experimentales.

Revisión, análisis y síntesis de la información recopilada. Los datos de concentraciones de las mediciones históricas de material particulado fueron procesados y analizados en forma numérica con el apoyo de planillas de cálculo. Los resultados para describir el comportamiento estacional, diario y horario del material particulado son presentados en tablas y gráficos.

Estimación del aporte de distintas fuentes emisoras mediante la aplicación de modelo CMB7. Para la determinación del aporte de las fuentes contaminantes en los niveles de concentración de MP10 se aplicó el modelo computacional de balance de masas de elementos químicos CMB7 (USEPA, 1990) a una serie de muestras de material particulado respirable (partículas menores de 10 micrones) fracciones fina y gruesa obtenidas en las estaciones de la Red de monitoreo automático de Santiago y en otras 2 estaciones auxiliares para dos campañas de medición realizadas, una en Septiembre de 1993 y otra en Diciembre de 1993 - Enero de 1994. Además, se recolectaron muestras de polvo de calle en cuatro avenidas principales. Las muestras fueron enviadas al Desert Research Institute (DRI) en Nevada (USA) donde se realizaron los análisis químicos pertinentes. El resultado de estos análisis fue recibido en Enero de 1996 con los cuales se construyó un perfil de polvo de calles de Santiago.

El modelo CMB7, desarrollado por DRI para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), consiste básicamente en la solución de un conjunto de ecuaciones lineales simultáneas que relacionan perfiles de concentraciones máxicas de elementos químicos de fuentes emisoras, con un perfil de concentraciones máxicas de elementos químicos de una muestra de material particulado atmosférico. La solución numérica utiliza ajuste de mínimos cuadrados para estimar el aporte de cada fuente sobre la muestra analizada.

Dada la falta de perfiles de especies químicas para las fuentes contaminantes de Santiago, se utilizó un conjunto de perfiles extraídos de la base de datos de US EPA característicos de fuentes contaminantes similares a las fuentes contaminantes de MP10 en Santiago. Se probaron distintos perfiles de fuentes emisoras hasta encontrar el set de perfiles con el mejor ajuste (solución más apropiada), de acuerdo a los protocolos de validación de resultados de este modelo (USEPA, 1990b). Se realizaron corridas utilizando el perfil de polvo de calles de Santiago las cuales se compararon con los resultados obtenidos solamente con perfiles US EPA.

Los resultados obtenidos para cada muestra ambiental identifican las principales fuentes y su aporte.

Finalmente, los resultados que identifican el aporte de las principales fuentes emisoras de MP10 fueron comparados con una aplicación de CMB7 a muestras obtenidas en la zona céntrica de Santiago en 1987 y 1996. Además, se comparó con los resultados de estimación de aporte de fuentes mediante el uso de Análisis de Componentes Principales a los resultados obtenidos en las campañas de especiación físico-química realizados por la Universidad de Sao Paulo para CONAMA RM en 1998 como parte de los estudios incluidos en el Plan de Prevención y Descontaminación de Santiago.

Capítulo 2. Antecedentes generales

2.1 Partículas atmosféricas

Internacionalmente, de acuerdo a la Norma ISO 4225-1980, las partículas se definen como pequeñas masas de materia líquida o sólida. Cuando éstas se encuentran suspendidas en una masa de aire estable se definen como partículas atmosféricas. Esta Norma define, además, la palabra aerosol como la suspensión en el medio gaseoso de partículas sólidas o líquidas o sus mezclas que presentan velocidad de deposición variable.

Desde antiguo las partículas se han clasificado en dos grandes grupos: Sedimentables (cuando se depositan con facilidad) y suspendidas (tiempo largo de permanencia en el aire).

La concentración de partículas se expresa en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ (microgramos por metro cúbico). No corresponde utilizar [ppm] (partes por millón) puesto que la fase partículas presenta una concentración muy pequeña en comparación a la fase aire.

2.1.1 Origen de las partículas

Las partículas atmosféricas se originan en una variedad de fuentes y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, químicas, físicas y termodinámicas. Algunas partículas son sólidas, otras líquidas, también hay algunas de núcleo sólido rodeada por líquido.

Las partículas se forman mediante dos mecanismos: subdivisiones o roturas de fragmentos mayores de materia y aglomeración de fragmentos pequeños incluyendo moléculas.

Las partículas se clasifican en primarias y secundarias, según la fuente que las origina. Las primarias son aquellas emitidas directamente por las fuentes bajo forma de partícula, tales como el polvo en suspensión o partículas emitidas por una chimenea. Las secundarias son aquellas producidas en la misma atmósfera, por ejemplo a causa de reacciones químicas gaseosas que producen especies capaces de condensarse. Las partículas primarias abarcan todos los tamaños, en cambio las secundarias son principalmente partículas muy pequeñas.

La formación de partículas secundarias se realiza principalmente a partir de los tres procesos siguientes:

- Coagulación por el cual las partículas colisionan entre ellas debido a su movimiento relativo adhiriéndose para formar partículas más grandes.
- Nucleación a partir de un vapor sobresaturado con la presencia de un núcleo de condensación (heterogénea) o no (homogénea).
- Condensación simultánea (proceso cinético de nucleación heterogénea) o consecutivo (difusión, inercial, difusoforético o electrostático).

Las partículas también se clasifican de acuerdo a su origen, ya sea natural o antropogénico. Las fuentes naturales primarias más importantes son el polvo levantado por el viento, aerosol marino, emisiones volcánicas, incendios de bosques y matorrales. Las fuentes naturales secundarias incluyen sulfatos, nitratos e hidrocarburos.

Las principales fuentes antropogénicas primarias son quemado de combustibles, procesos industriales, motores de combustión interna, quema de residuos. Entre las fuentes secundarias destaca la formación de aerosoles secundarios a partir de contaminantes primarios (nitratos, sulfatos, hidrocarburos).

Estudios realizados a comienzos de la década de los setenta estimaron la producción global anual de partículas, tanto por fuentes naturales como antropogénicas. Entre estos estudios destacan los realizados por Petersen y Junge (1971), Hidy y Brock (1971) y el estudio "Impacto del Hombre en el Clima", SMIC por sus siglas en inglés (Prospero *et al*, 1983), los cuales se resumen en las Tabla 2-1 y Tabla 2-2.

Tabla 2-1 Estimación de la producción global de partículas (millones de toneladas) a partir de fuentes naturales

| Fuente | Petersen y Junge | | Hidy y Brock | SMIC |
|------------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|
| | Conjunto | 2.5 μ m | | |
| Emisiones directas | | | | |
| Sal Marina | 1000 | 500 | 1095 | 300 |
| Minerales | 500 | 500 | 7 - 365 | 100 - 500 |
| Volcanes | 25 | 25 | 4 | 25 - 150 |
| Quemas bosques y veg. | 35 | 5 | 146 | 3 - 150 |
| Meteoritos | 10 | - | 0.02 - 0.2 | - |
| Subtotal | 1580 | 780 | 1610 | 428 - 1100 |
| Emisiones secundarias | | | | |
| Sulfato | 244 | 220 | 36 - 365 | 130 - 200 |
| Nitrato | 75 | 60 | 600 - 620 | |
| Hidrocarburos | 75 | 75 | 182 - 1095 | 75 - 200 |
| Subtotal | 394 | 355 | 2080 | 345 - 1100 |
| Total | 1964 | 1135 | 3690 | 773 - 2200 |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Petersen y Junge, 1971), (Hidy y Broca, 1971) y (Prospero *et al*, 1983)

Tabla 2-2 Estimación de la producción global de partículas (millones de toneladas) a partir de fuentes naturales

| Fuente | Petersen y Junge | | Hidy | Smic |
|------------------------------|------------------|-------------|----------|------------|
| | Conjunto | 2.5 μ m | | |
| Emisiones directas | | | | |
| Transporte | 2.2 | 1.8 | | |
| Fijas | 43.4 | 9.6 | | |
| Industria | 56.4 | 12.4 | | |
| Residuos sólidos | 2.4 | 0.4 | | |
| Otras | 28.8 | 5.4 | | |
| Subtotal | 133.2 | 29.6 | 36 - 110 | 10 - 90 |
| Emisiones secundarias | | | | |
| Sulfato | 220 | 200 | 109.5 | 130 - 200 |
| Nitrato | 40 | 35 | 23 | 30 - 35 |
| Hidrocarburos | 15 | 15 | 27 | 15 - 90 |
| Subtotal | 275 | 250 | 159 | 175 - 325 |
| Total | 2372 | 1415 | 3959 | 958 - 2615 |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Petersen y Junge, 1971), (Hidy y Broca, 1971) y (Prospero *et al*, 1983)

2.1.2 Tamaño y clasificación de las partículas

El tamaño es un parámetro muy importante en la determinación de efectos, tasa de deposición, tiempo de residencia en la atmósfera y destino de las partículas atmosféricas. Además, el tamaño de las partículas tiene gran relevancia en las propiedades de éstas, en el comportamiento en la atmósfera y en las posibilidades de ser inhalada o capturada en los sistemas o equipos diseñados para el estudio de las partículas.

La morfología y tamaño de las partículas varía ampliamente dependiendo principalmente de su origen (natural o antropogénico) y la fase en que se presenta. Cuando las partículas están en fase líquida la forma es esférica. En cambio, las partículas sólidas poseen gran variedad de formas, raramente esféricas, rectangulares, fibrilares, astilladas, etc.

Con el propósito de estudiar el comportamiento aerodinámico de las partículas se define un diámetro aerodinámico equivalente como: “el diámetro de una esfera de densidad 1 g/cm^3 con la misma velocidad de deposición debido a fuerzas gravitacionales en aire estable que la partícula real, bajo las mismas condiciones de presión, temperatura y humedad relativa” (HINDS, 1982). En función de este criterio, cualquier partícula, independiente de su forma, es equivalente al diámetro de una esfera de densidad 1 g/cm^3 de idéntica velocidad de caída.

Para las partículas inferiores a $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ se utiliza el término diámetro de difusión, definido como el diámetro de una esfera de idéntico coeficiente de difusión que la partícula real bajo las mismas condiciones de presión, temperatura y humedad relativa.

De acuerdo al tamaño de las partículas atmosféricas son clasificadas en dos grupos:

- Partículas de diámetro superior a $10 \text{ }\mu\text{m}$, éstas en condiciones normales se depositan por acción de la gravedad. Constituyen la mayor parte de la materia sedimentable, conocida con el nombre genérico de polvo.
- Partículas de diámetro menor o igual a $10 \text{ }\mu\text{m}$, éstas no sedimentan fácilmente y forman en el aire suspensiones. Se denominan partículas en suspensión o aerosoles.

Por otro lado, la comunidad científica utiliza tres aproximaciones o criterios para clasificar las partículas:

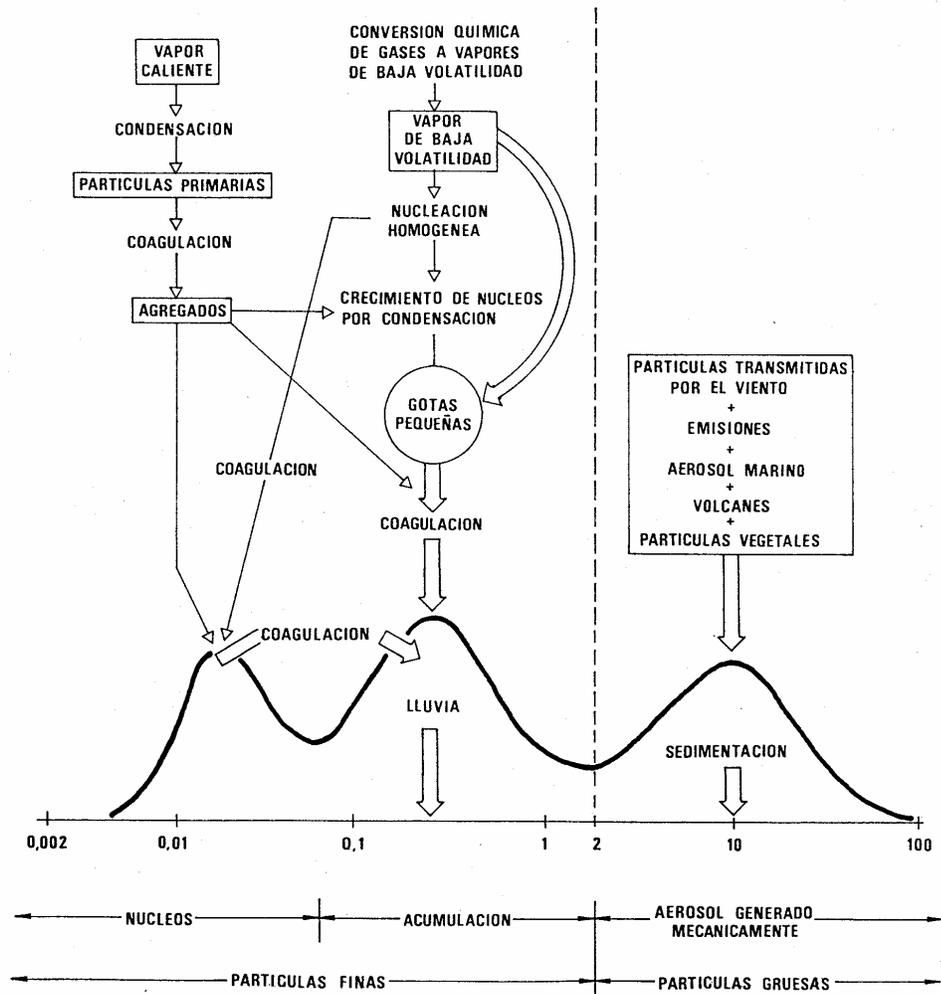
- Modal, clasifica las partículas en función de la distribución de tamaños y de los mecanismos de formación en modo grueso, modo fino, modo de acumulación y modo de nucleación
- Dosimetría, clasifica las partículas según el grado de penetración en el sistema respiratorio en partículas inhalables, torácicas y respirables.
- Punto de corte, de acuerdo al diámetro de las partículas para especificar los equipos de muestreo o captadores de éstas, se habla de partículas totales en suspensión (PTS), partículas respirables (MP10), partículas finas (MP2.5), etc.

2.1.3 Distribución de las partículas en función de su tamaño

En 1978 Whitby publicó un estudio con más de 1000 distribuciones de tamaños de partículas medidas en diferentes lugares de USA. Whitby observó que las distribuciones típicamente tienen 3 peak que denominó “modos”, concluyendo que la distribución de tamaños se puede caracterizar como la suma de 3 distribuciones lognormales.

El modo de tamaños con un peak cercano a $10 \mu\text{m}$ entre se denominó “grosso” y corresponde a partículas formadas directamente por procesos mecánicos (erosión, erupciones volcánicas, polen, etc.). El modo con un peak entre $0.15 \mu\text{m}$ y $0.5 \mu\text{m}$ se denominó “acumulación” y corresponde a partículas finas formadas por acumulación y condensación. Por último el modo con un peak entre 0.15 y 0.04 se denominó de “núcleos”, corresponde a partículas ultrafinas formadas por nucleación, influenciadas por acumulación y condensación. Investigaciones recientes (Woo *et al.*, 2001; McMurray *et al.*, 2000) han clasificado 2 modos en las partículas ultrafinas, el modo “nucleación” con partículas de tamaños menores a 10nm y modo Aitken con partículas entre 10 nm y 100 nm .

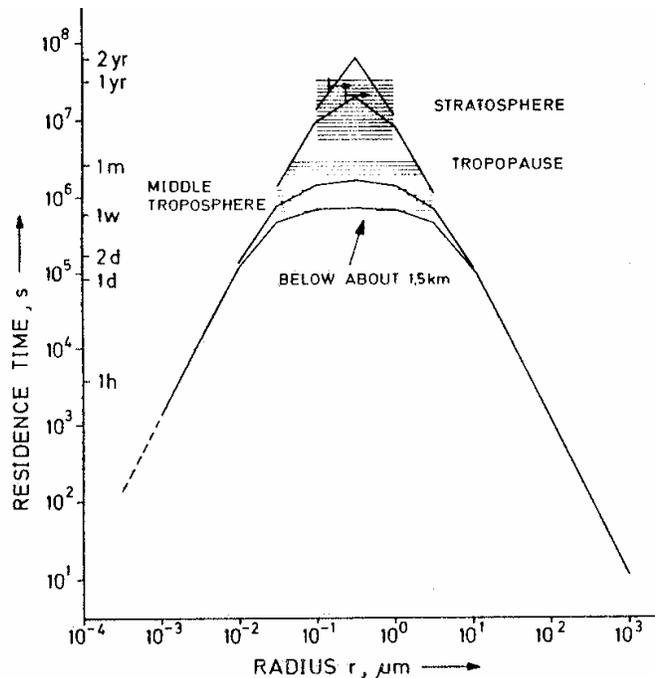
Las relaciones entre procesos de formación de partículas y la distribución resultante son mostradas en la Figura 2-1.



Fuente: (Prospero *et al.*, 1983)

Figura 2-1 Procesos de formación de partículas y espectro de distribución

Mientras nuevas partículas son continuamente creadas y modificadas, las partículas existentes en el aerosol son continuamente removidas por una amplia variedad de procesos húmedos y secos, cuya eficiencia varía en función de su tamaño. De estos procesos depende el tiempo de residencia en la atmósfera. Estimaciones realizadas por Jaenicke (1980) (ver Figura 2-2), determinan que para partículas en el rango de 0.1 - 10 μm el tiempo de residencia en la atmósfera es cercano a 1 semana, en cambio en la estratosfera es de meses a años. El aumento de la duración del tiempo en función de la altura se debe en gran medida a de la distribución de vapor de agua y a la distribución vertical de un número importante de especies reactivas (fotoquímicamente producidas) entre ellas ozono e hidróxidos radicales.



Fuente: (Jaenicke, 1980)

Figura 2-2 Tiempo de residencia en el aerosol de partículas individuales en función del tamaño y la altitud en la atmósfera

2.1.4 Composición Química

Los principales componentes del material particulado atmosférico (MP) son sulfato, nitrato, amonio, ión hidrógeno, agua adherida a las partículas, carbono elemental, una gran variedad de compuestos orgánicos y elementos de la corteza terrestre. La mayoría de los estudios de especiación química del MP evidencian una dependencia entre composición química y tamaño de las partículas. Sulfato, amonio, ión hidrógeno, carbón elemental, componentes orgánicos secundarios, especies orgánicas primarias de quemaduras y combustión y ciertos metales de transición son predominantes en la fracción fina del MP. Elementos de la corteza como calcio, aluminio, sílice, magnesio, hierro y materia orgánica (polen, esporas, restos de plantas y animales) son predominantes en la fracción gruesa del MP. Nitrato y Potasio puede ser encontrado en ambas fracciones (US EPA, 2004).

Las fuentes o procesos antropogénicos emisores de partículas que involucran combustión tienen un predominio de la fracción fina (partículas menores a 2.5 micrones), en cambio las emisiones asociadas a fuentes naturales tienen un predominio de la fracción gruesa.

La Tabla 2-3 presenta los rangos típicos de participación (en porcentaje) para elementos y especies químicas predominantes en las principales fuentes emisoras de MP en ambientes urbanos.

Tabla 2-3 Rangos típicos de participación (en porcentaje) de elementos y especies químicas para fuentes de emisión en ambientes urbanos

| Tipo de fuente | Fracción dominante | <0.1% | 0.1 a 1 % | 1 a 10% | >10% |
|-------------------------------|----------------------|--|--|--|--|
| Polvo de calle pavimentada | Gruesa (2.5 a 10 µm) | Cr, Sr, Pb, Zr | SO ₄ ⁼ , Na ⁺ , K ⁺ , P, S, Cl, Mn, Zn, Ba, Ti | Carbón elemental (EC), Al, K, Ca, Fe | Carbón orgánico (OC), Si |
| Polvo de calle no pavimentada | Gruesa | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , P, Zn, Sr, Ba. | SO ₄ ⁼ , Na ⁺ , K ⁺ , P, S, Cl, Mn, Ba, Ti | OC, Al, K, Ca, Si | Fe |
| Construcción | Gruesa | Cr, Mn, Zn, Sr, Ba | SO ₄ ⁼ , K ⁺ , S, Ti | OC, Al, K, Ca, Si | Fe |
| Suelo agrícola | Gruesa | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cr, Zn, Sr | SO ₄ ⁼ , Na ⁺ , K ⁺ , S, Cl, Mn, Ba, Ti | OC, Al, K, Ca, Si | Fe |
| Suelo natural | Gruesa | Cr, Mn, Ba, Zn, Sr | CL ⁻ , Na ⁺ , EC, P, S, Cl, Ti | OC, Al, Mg, K, Ca, Fe | Si |
| Motores de vehículos | Fina (0 a 2.5 µm) | Cr, Ni, Y, Sr, Ba | Si, Cl, Al, P, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Pb | NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , NH ₄ ⁺ , S | OC, EC |
| Quemas de vegetación | Fina | Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Rb, Pb | NO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁼ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , S | Na ⁺ , K ⁻ , Cl, K | OC, EC |
| Residuos de combustión | Fina | K ⁺ , OC, Cl, Ti, Cr, Co, Ga, Se | NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , Zn, Fe, Si | V, OC, EC, Ni | S, SO ₄ ⁼ |
| Incineradores | Fina | V, Mn, Cu, Ag, Sn | K ⁺ , Al, Ti, Zn, Hg | NO ₃ ⁻ , Na ⁺ , EC, Si, S, Ca, Fe, Br, La, Pb | SO ₄ ⁼ , NH ₄ ⁺ , OC, Cl |
| Hornos a carbón | Fina | Cl, Cr, Mn, Ga, As, Se, Br, Rb, Zr | NH ₄ ⁺ , P, K, Ti, V, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb | SO ₄ ⁼ , Al, Ca, Fe, EO, OC, Cl | Si |
| Central Térmica a petróleo | Fina | V, Ni, Se, As, Br, Ba | Al, Si, P, K, Zn | NH ₄ ⁺ , OC, EC, Na, Ca, Pb | S, SO ₄ ⁼ |
| Fundiciones de acero | Fina | V, Mn, Sb, Cr, Ti | CD, Zn, Mg, Na, Ca, K, Se | Fe, Cu, As, Pb | S |
| Tostador de antimonio | Fina | V, Cl, Ni, Mn | SO ₄ ⁼ , Sb, Pb | S | No reportada |
| Aerosol marino | Fina y Gruesa | Ti, V, Ni, Sr, Zr, Pd, Ag, Sn, Sb, Pb | Al, Si, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ba, La | NO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁼ , OC, EC | Na ⁺ , Cl ⁻ , Ca, Cl |

Fuente: (Chow, 1995)

2.1.5 Efectos en la salud de las personas

El estudio de los episodios de alta contaminación atmosférica en el Valle Meuse (Bélgica) en 1930, Donora (Pensilvania) en 1948 y Londres en 1952 han sido las primeras fuentes documentadas que relacionaron mortalidad con contaminación por partículas (Préndez, 1993).

Avances en la investigación de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas, han determinado que los riesgos a la salud son causados por partículas inhalables, en función de la penetración y deposición de éstas en diferentes secciones del aparato respiratorio, y la respuesta biológica a los materiales depositados.

Las partículas más gruesas, sobre $5 \mu\text{m}$ son filtradas por la acción conjunta de los cilios del conducto nasal y la mucosa que cubre la cavidad nasal y la tráquea. Las partículas de diámetro entre 0.5 y $5 \mu\text{m}$ pueden depositarse en los bronquios e incluso en los alvéolos pulmonares, sin embargo son eliminadas por los cilios de bronquios y bronquiolos al cabo de algunas horas. Las partículas menores a $0.5 \mu\text{m}$ pueden penetrar profundamente hasta depositarse en los alvéolos pulmonares, permaneciendo desde semanas a años, puesto que no existe un mecanismo mucociliar de transporte que facilite la eliminación. La figura siguiente muestra la penetración de las partículas en el sistema respiratorio dependiendo del tamaño de éstas.

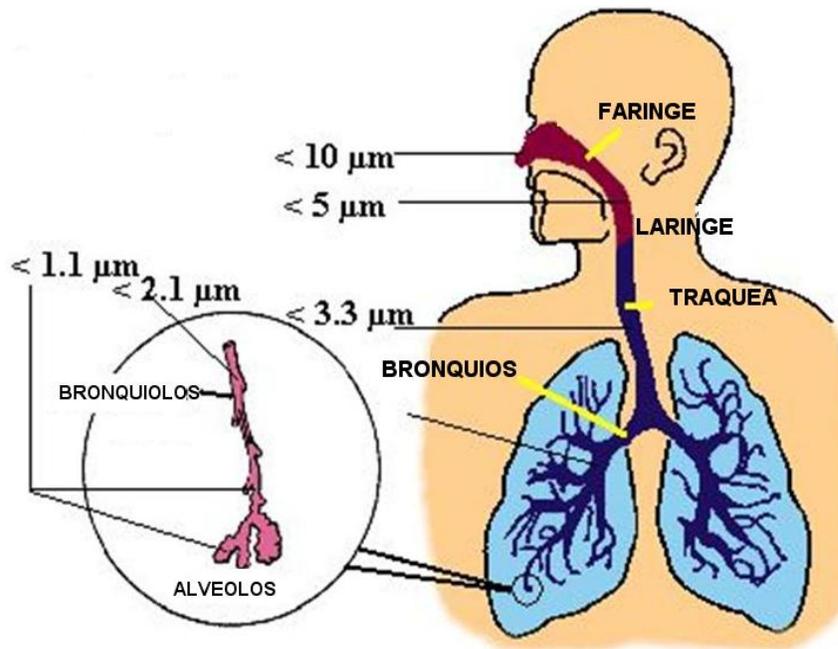


Figura 2-3 Penetración de partículas de distinto tamaño en el sistema respiratorio

Las partículas que entran y permanecen en los pulmones pueden ocasionar diversos efectos adversos para la salud de las personas, entre ellos:

- Interferencia con los mecanismos de limpieza del tracto respiratorio, impidiendo o retrasando la eliminación de partículas nocivas.
- Irritabilidad de áreas sensibles de los pulmones
- Generación de procesos cancerígenos por efectos de partículas altamente tóxicas, ante la exposición permanente. (Stocker, 1981)

Estudios experimentales desarrollados a comienzos de los 90s por Gil (1991) y epidemiológicos realizados por Belmar (1990), Oyanguren (1992) asociaron la contaminación atmosférica de

Santiago a diversas alteraciones de la salud de las personas. Pero concluyeron que es muy difícil aislar los diferentes contaminantes de la atmósfera y medir sus efectos en salud.

Dockery (1993) determinó que por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 las admisiones hospitalarias por causas respiratorias aumentan en 0.8%, las atenciones de urgencia en 1.0% y las consultas de urgencia por ataques asmáticos aumentan en 3.4%.

Estudios de exposiciones agudas a MP10 realizados en 29 ciudades de Europa (Katsouyanni *et al*, 2001) y en 20 ciudades de Estados Unidos (Samel *et al*, 2000) han reportado aumentos de mortalidad por exposición a MP10 de 0.62% y 0.46% respectivamente por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estudios similares en ciudades de Asia han reportado efectos de 0.49%. Por lo tanto, una concentración de 150 podría relacionarse fuertemente con un aumento de 5% en la mortalidad diaria (WHO, 2005).

Hasta la publicación del año 2000, la Organización Mundial de la Salud (OMS) no recomendaba valores guías para exposiciones de MP10 tanto para corto como largo plazo, pero alertaba que cualquier concentración de partículas produce efectos en la salud de las personas en el largo plazo (WHO, 2000). Sin embargo, la publicación de 2005, ante la evidencia y consistencia de estudios de salud pública y efectos en la población urbana expuesta a concentraciones de material particulado estableció valores guías por sobre los cuales se han observado significativos efectos en la salud de las personas.

La mayoría de los estudios epidemiológicos utilizan como indicador el MP10 dado que el monitoreo de calidad de aire principalmente está basado en mediciones de MP10, pero existen diferencias entre el particulado fino y grueso del MP10, lo cual justifica establecer un indicador basado en MP2.5 dado que éstas partículas serían más dañinas para la salud. La OMS, estableció el valor 0.5 para la relación MP2.5/MP10 basado en un gran número de estudios realizados en áreas urbanas que encontraron valores para esta relación entre 0.5 y 0.8.

Considerando las realidades de los países y la necesidad de establecer metas graduales la OMS ha recomendado niveles intermedios para promedios diarios y anuales de MP10 y MP2.5 asociándoles porcentajes de aumento en las tasas de mortalidad. Estos niveles se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 2-4 Valores guías y niveles recomendados por OMS para promedios anuales de MP10 y MP2.5

| Promedio Anual recomendado | MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | MP2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Observaciones |
|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| OMS Nivel 1 | 70 | 35 | A estos niveles se asocia un 15% de aumento en la mortalidad comparado con el valor guía OMS |
| OMS Nivel 2 | 50 | 25 | A estos niveles se asocia un 9% de aumento en la mortalidad comparado con el valor guía OMS |
| OMS Nivel 3 | 30 | 15 | A estos niveles se asocia entre un 3% de aumento en la mortalidad comparado con el valor guía OMS |
| Valor guía OMS | 20 | 10 | Valores mínimos registrados donde la mortalidad por cáncer al pulmón y enfermedades Cardiopulmonares no presentan un aumento (con un 95% de confiabilidad). |

Fuente (WHO, 2005)

Tabla 2-5 Valores guías y niveles recomendados por OMS para promedios de 24 horas de MP10 y MP2.5

| Promedio Anual recomendado | MP10 | MP2.5 | Observaciones |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| OMS Nivel 1 | 150 | 75 | A estos niveles se asocia un 5% de aumento en la mortalidad diaria comparado con el valor guía OMS |
| OMS Nivel 2 | 100 | 50 | A estos niveles se asocia un 2.5% de aumento en la mortalidad diaria comparado con el valor guía OMS |
| OMS Nivel 3 | 75 | 37.5 | A estos niveles se asocia entre un 1.2% de aumento en la mortalidad diaria comparado con el valor guía OMS |
| Valor guía OMS | 50 | 25 | Valores mínimos registrados donde la mortalidad diaria por enfermedades Cardiopulmonares y cáncer al pulmón no presentan un aumento (con un 95% de confiabilidad), en base al promedio anual. |

Fuente (WHO, 2005)

Estudios realizados en Santiago de Chile, coherentes con investigaciones realizadas en diferentes países, identifican una asociación significativa y consistente entre contaminación MP10 y mortalidad prematura (Ostro *et al*, 1996; Cifuentes *et al*, 2000); además, identifican una contribución de la contaminación del aire al aumento de enfermedades respiratorias en niños (Ostro *et al*, 1998; Cifuentes *et al*, 2000).

2.2 Contaminación por material particulado en Santiago

2.2.1 Niveles de material particulado medidos en Santiago.

Las primeras mediciones sistemáticas para conocer los niveles de contaminación atmosférica de Santiago se realizaron en 1964 mediante metodologías sencillas y de bajo costo las cuales permitieron medir índice de acidez (método del agua oxigenada), índice de suciedad, polvo sedimentable e índice de corrosión. Las estaciones de monitoreo fueron ubicadas en el centro de la ciudad con el objetivo principal de conocer la exposición de las personas en área urbana.

En 1976 se instaló una "red de Vigilancia de Calidad del Aire", como parte del estudio "Programa de Contaminación Atmosférica en la Región Metropolitana" financiado por la Corporación de Fomento. Proyecto desarrollado entre 1976 y 1978 por INTEC, Servicio Nacional de Salud (SNS) y Municipalidades del Gran Santiago. Los principales objetivos del estudio fueron: determinar los tipos y niveles de contaminantes atmosféricos en Santiago; identificar las fuentes emisoras de contaminación; estudiar la zonificación industrial, basándose en las características de difusión de los contaminantes y generar información, que permita tomar las medidas de control. La red, estaba constituida por una estación monitora continua en el centro y estaciones de muestreo semiautomáticas ubicadas en anillos concéntricos al centro de la ciudad. La estación del centro midió en forma continua Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) e Hidrocarburos Totales (HCT). Las estaciones semiautomáticas midieron, paralelamente, en forma discontinua SO₂, CO, Óxido Nítrico (NO), Dióxido de Nitrógeno(NO₂), Hidrocarburos (HC), Ozono(O₃), Partículas Totales en Suspensión (PTS) y Polvo Sedimentable.

En el año 1978 la Resolución 1215 del Ministerio de Salud estableció una norma primaria para partículas en suspensión (menores a 45 μm) fijando un valor de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para concentraciones de 24h y 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para promedio anual. Las mediciones realizadas

evidenciaron la ocurrencia de altas concentraciones durante el período de otoño-invierno (Abril a Septiembre), por sobre los valores normados

En 1987 se instala en la Región Metropolitana la primera Red de Monitoreo Automática de Contaminantes Atmosféricos denominada red MACAM (ASRM, 2005) financiada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). La red estaba compuesta por 4 estaciones ubicadas en la zona céntrica de la capital (Av. La Paz, Plaza Gotuzzo, Providencia y Parque O´higgins) y una quinta estación de tipo móvil, que fue emplazada en la comuna de Las Condes. La medición de material particulado menor a 10 μm (MP10) es realizada con muestreadores gravimétricos los cuales captan el MP10 en filtros instalados y retirados a las 10 de la mañana.

En el año 1988, la Resolución 369 del Ministerio de Salud estableció el Índice de Calidad de Aire por Partículas (ICAP) en función de las concentraciones de 24h de MP10. Se fija un ICAP=0 para 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, ICAP=100 para 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y un ICAP=500 para 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ variando linealmente entre los tramos, el valor 500 correspondería al valor límite por sobre el cual existiría riesgo para la población al exponerse a estas concentraciones. De acuerdo a los valores de ICAP se establecieron categorías (ver Tabla 2-6) que califican los niveles de concentración de MP10 a que estuvieron expuestas las personas.

Tabla 2-6 Categorías de ICAP y su calificación de efectos en Salud

| ICAP | Calificación |
|-----------|--------------|
| 0-100 | Bueno |
| 101 - 200 | Regular |
| 201 - 300 | Malo |
| 301 - 400 | Crítico |
| 401 - 500 | Peligroso |

Fuente: Resolución 369/1988 de MINSAL

Durante el período otoño-invierno las características topoclimáticas de la cuenca de Santiago presentan en general, condiciones desfavorables para la dispersión de contaminantes, lo que se ve potenciado por su topografía. Debido al predominio de las condiciones anticiclónicas en la región, el forzamiento del flujo de aire por los sistemas meteorológicos de gran escala es débil y la ventilación de la cuenca se produce principalmente por un sistema de brisas generadas localmente por el calentamiento radiativo de la superficie. Luego, en estos meses, el flujo de aire dentro de la cuenca es mucho más débil que en verano, debido a la menor disponibilidad de radiación solar (Ulriksen, 1993). Por este motivo, durante los meses de otoño-invierno la mayoría de los días supera el índice 100, llegando incluso a 500 en aquellos días de mala ventilación en la cuenca denominados días de episodios. Rutllant y Garreaud (1995) clasificaron los episodios en Tipo A y Tipo BPF. El episodio Tipo A corresponde a un desarrollo de un área de bajas presiones desde la cordillera de los Andes hacia el océano, que origina una vaguada costera o una baja costera, acompañada de viento de componente del Este en la tropósfera inferior y disminución de la altura de la capa de inversión térmica de subsidencia. El episodio Tipo BPF en cambio, corresponde a una condición prefrontal, con cielos cubiertos y ventilación débil en la cuenca de Santiago. Cuando se alternan los episodios de tipo A y BPF con períodos intermedios del orden de 24 horas se habla de episodios múltiples o mixtos. La Figura 2-4 muestra la evolución del número de excedencias para ICAP 100, ICAP 300 e ICAP 500 entre los años 1989 y 2004 en las estaciones históricas de la red MACAM.

En 1991, el DS 185 del Ministerio de Minería establece la norma primaria para concentraciones diarias de MP10 en 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, valor máximo permitido. Este valor, que coincide con el ICAP 100, fue ampliamente superado en las estaciones de monitoreo de la Red MACAM durante los

años siguientes, situación presentada en la Figura 2-4 que ilustra los resultados de mediciones con muestreadores dicótomos en la red histórica entre 1989 y 2004.

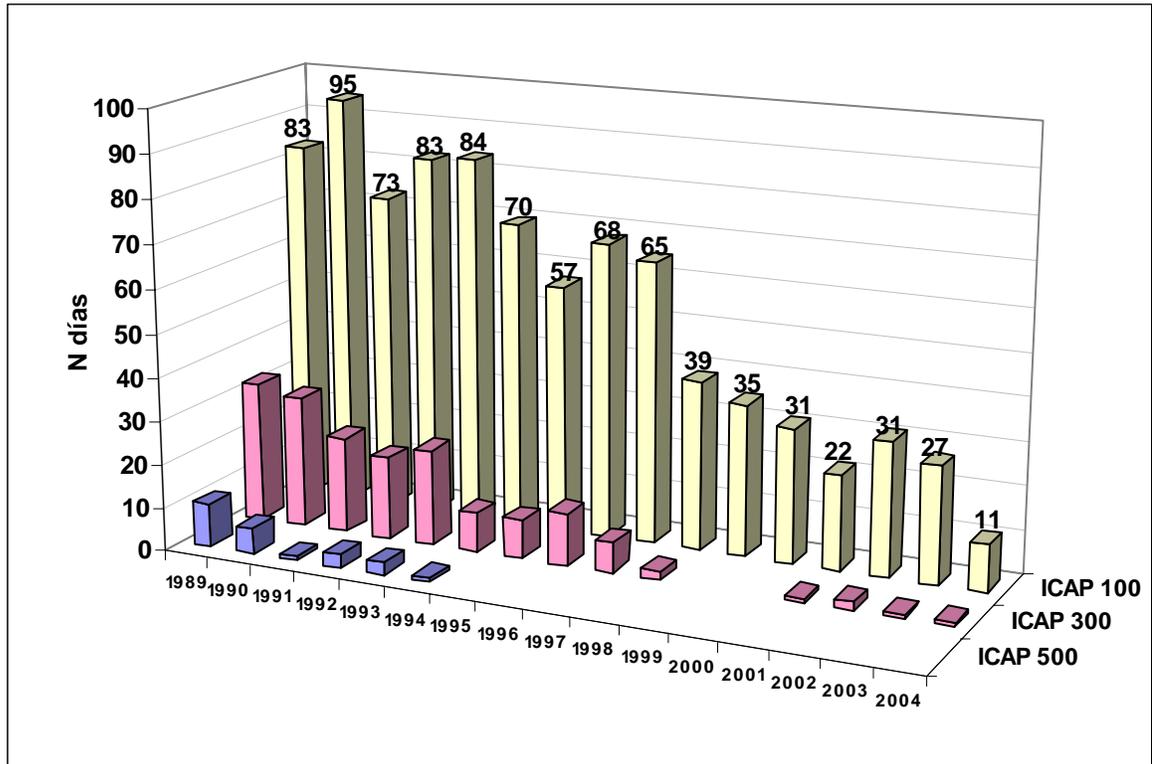


Figura 2-4 Evolución de la cantidad de días sobre ICAP 100, 300 y 500 en las estaciones históricas de la red MACAM (mediciones con dicótomos) entre años 1989 y 2004.

La gran cantidad de días por sobre la norma de MP10 (83 días en 1992, 84 días en 1993, 70 días en 1994, etc.) sumado a los altos niveles de Ozono, Monóxido de Carbono y Dióxido de Nitrógeno obligó a la autoridad ambiental declarar en el año 1996 a la Región Metropolitana como Zona Saturada por MP10, PTS, O₃ y CO y latente por NO₂ (DS 131 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia). En el año 1998 el DS 16 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece un Plan de Prevención y Descontaminación para la Región Metropolitana (PPDA) que fija metas de emisión de contaminantes como también acciones de corto, mediano y largo plazo con el objetivo principal de cumplimiento de todas las normas de calidad de aire a partir del año 2012.

En Abril de 1997 se inauguró la red ampliada de monitoreo de Santiago llamada MACAM2 compuesta por 8 estaciones, la cual fue financiada en un 80% por la cooperación del gobierno de Japón y un 20% por el Ministerio de Salud. Se mantuvo la ubicación de las estaciones de Av. La Paz, Providencia, Las Condes y Parque O'Higgins, ampliando la cobertura con estaciones en Pudahuel, El Bosque, La Florida y Cerrillos. Todas las estaciones fueron implementadas con monitores continuos para medición de monóxido CO, SO₂, NO₂, O₃ e hidrocarburos totales (metánicos y no metánicos como el benceno, tolueno). Para la medición de MP10 se instalaron monitores continuos TEOM que entregan concentraciones con resoluciones horarias, lo cual permitió conocer el comportamiento del MP10 durante el día.

El D.S. 59 de 1998 estableció en la norma primaria que el percentil 98 de las concentraciones diarias de MP10 durante un año calendario (equivale a 7 días) no debe superar 150 µg/m³N. Posteriormente, en el año 2000 este decreto es complementado con el D.S.45 de

MINSEGPRES que fija en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el valor máximo permitido para promedios anuales de tres años consecutivos. Además, con la introducción de los monitores TEOM para medición de MP10 para el cálculo del ICAP se consideró la mayor concentración móvil de 24h de MP10 registrada durante el día en alguna de las estaciones de la red MACAM2.

La implementación de las medidas de reducción de emisiones contenidas en el PPDA han logrado disminuir la ocurrencia de días con altas concentraciones, especialmente días con concentraciones sobre ICAP 500 e ICAP 300. En la red histórica no se registran días sobre ICAP 500 desde el año 1994 (ver Figura 2-4), mientras que en la red ampliada o MACAM2 no hay superación de ICAP 500 desde el año 1999 (ver Figura 2-5).

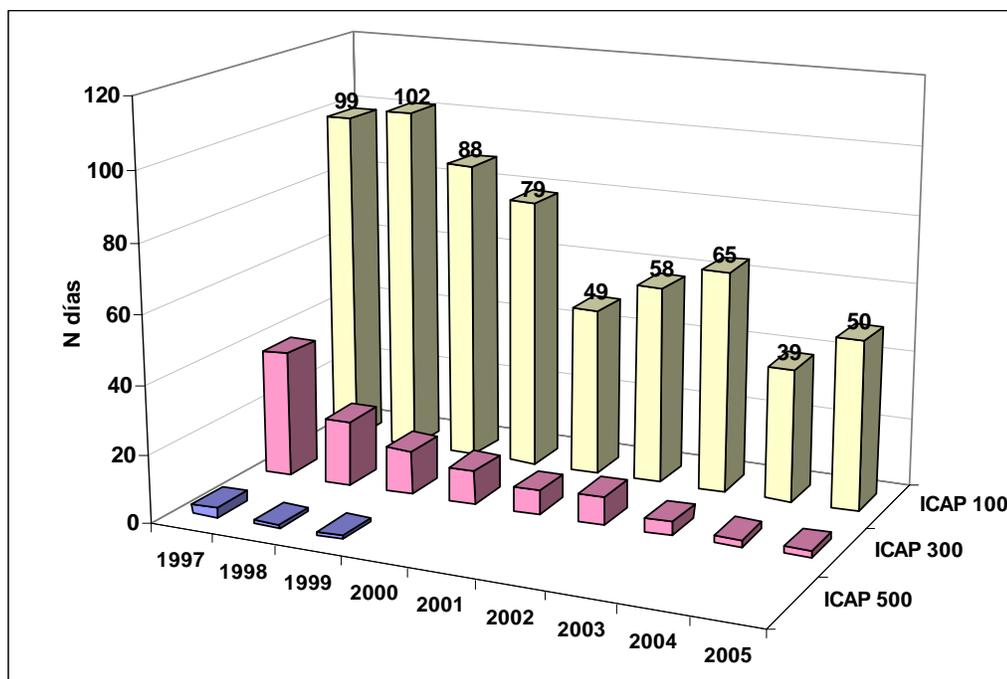


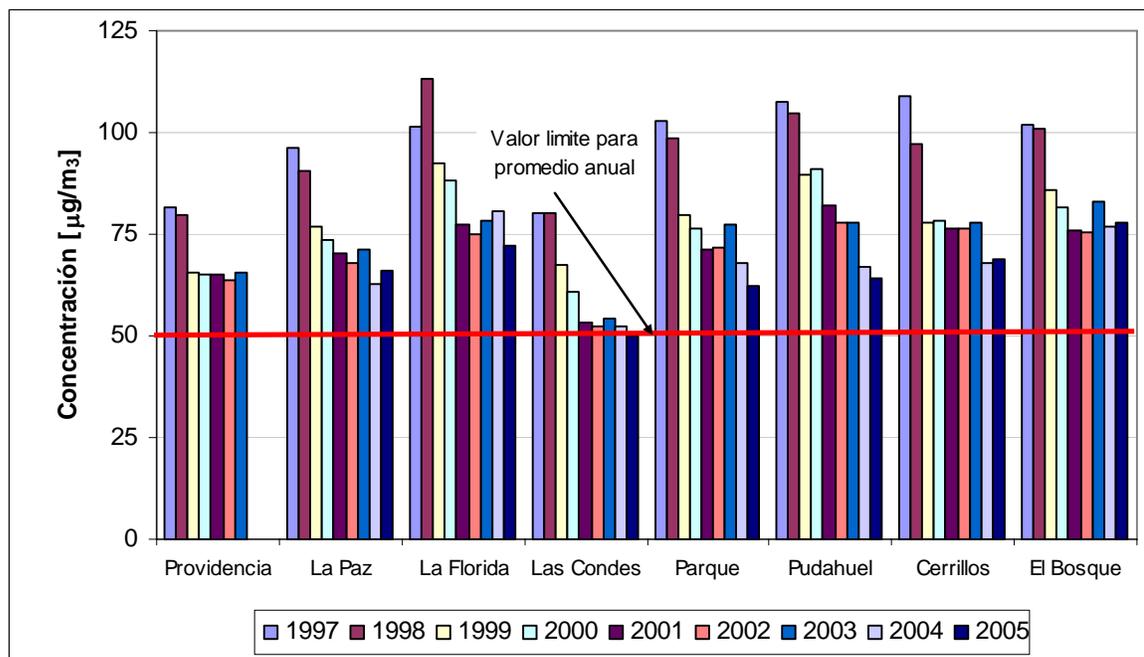
Figura 2-5 Evolución de la cantidad de días sobre ICAP 100, 300 y 500 en las estaciones de la red MACAM2 (mediciones con equipos TEOM) entre años 1997 y 2005

La ampliación de la cobertura de la red de monitoreo en 1997 incluyendo sectores con mayor contaminación por MP10 significó un aumento de días sobre los niveles de ICAP respecto a los valores presentados para la red histórica. Durante días de episodio, la estación Pudahuel presenta los niveles más altos en alrededor de un 70% de los casos (episodios Tipo A), durante los casos restantes (episodios Tipo BPF) los niveles más altos se presentan generalmente en El Bosque, Cerrillos y La Florida (CENMA, 2005). Otro factor que influyó en el aumento de los niveles ICAP desde 1997 fue la metodología para el cálculo de ICAP que considera el mayor promedio móvil de 24h del día, lo cual en algunas situaciones de altas concentraciones durante la noche se traduce en 2 días con altos niveles, situación que no ocurre en la red histórica donde se realiza un muestreo por un período fijo de 24 horas.

Los promedios anuales en las estaciones de la red MACAM2 presentados en la Figura 2-6 tienen un fuerte descenso en el año 1999, producto principalmente de la incorporación de gas natural en el sector industrial reemplazando al petróleo diesel y leña. Durante los últimos años, los promedios anuales se han estabilizado, con pequeñas diferencias asociadas a la variabilidad meteorológica interanual en la cuenca de Santiago (CENMA, 2005).

A pesar de los avances en la disminución de concentraciones de MP10, la norma primaria para concentraciones diarias continúa siendo excedida en Santiago. Además, el promedio de los últimos 3 años supera ampliamente el valor fijado en la norma anual (en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) en la mayoría de las estaciones (ver Figura 2-6).

La Figura 2-6 muestra además, que la contaminación por MP10 no es homogénea en Santiago. La estación Las Condes presenta las concentraciones anuales más bajas, en cambio las mayores concentraciones se presentan en Pudahuel, El Bosque y La Florida.



* en 1997 las mediciones comenzaron en Abril

Figura 2-6 Promedios anuales de MP10 desde 1997 a 2005, mediciones con monitores TEOM

Las medidas del PPDA se han concentrado en controlar las emisiones del sector industrial, produciendo un mayor impacto en la disminución de la fracción fina del MP, la cual corresponde en gran medida a productos de combustión incompleta. Esta situación se aprecia en la Figura 2-7 con una disminución sostenida del promedio de la fracción fina desde 1988 al año 1994, luego hay un cambio en la pendiente siendo más estrecha la disminución cada año.

En cambio, la fracción gruesa que corresponde principalmente a emisiones de polvo desde calles y polvo natural se ha mantenido durante el transcurso de los años, registrando incluso un aumento entre 1993 y 1994 asociado al impacto de la construcción de la Ruta 5.

La disminución del MP10 está asociada fuertemente a la disminución de la fracción fina o MP2.5, lo cual tiene un mayor beneficio en Salud (ya que esta fracción es 100% respirable).

Las concentraciones de MP10 y MP2.5 tienen un marcado ciclo anual. Durante meses de primavera-verano con temperaturas cálidas y ventilación en la cuenca de Santiago los promedios mensuales de MP10 y MP2.5 son notoriamente más bajos que los registrados en meses de otoño-invierno, con días fríos y escasa ventilación.

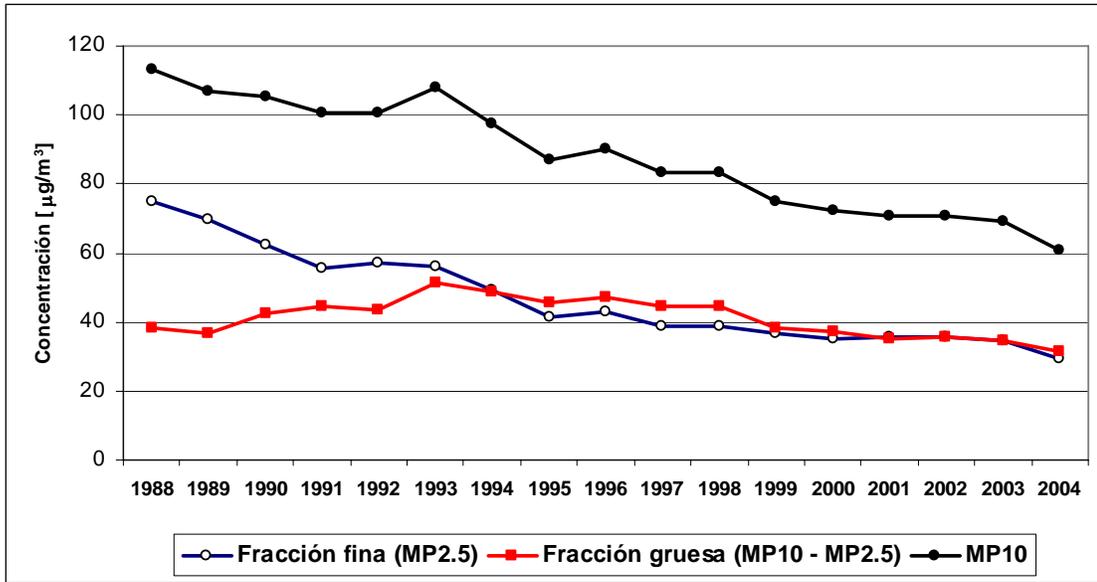


Figura 2-7 Tendencia de promedios anuales de MP10 y sus fracciones fina y gruesa. Estaciones históricas red MACAM, mediciones con dicótomo, 1988 a 2004.

La Figura 2-8 presenta la evolución de los promedios mensuales de MP10 y MP2.5 en la red histórica desde 1988 hasta 2004. Se aprecia una disminución de los valores mensuales máximos con una mayor pendiente entre 1988 y 2000. En el año 2001 se produce un quiebre en la tendencia a la disminución, registrándose un aumento de los promedios máximos. En general, los meses con máximos promedios mensuales se alcanzan entre Junio y Julio.

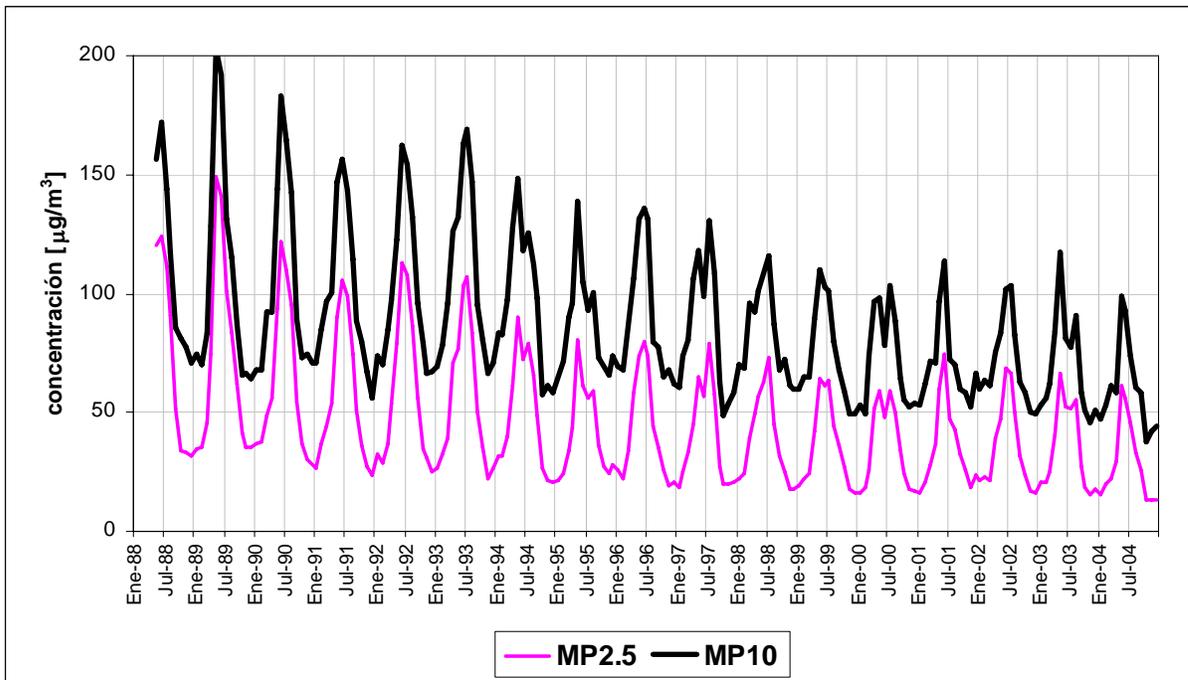


Figura 2-8 Promedios mensuales de MP10 y MP2.5, Est. Históricas Red MACAM, Mediciones con dicótomos, 1988 a 2004

Las estaciones de la red histórica registraron en el año 1997 promedios mensuales máximos cercanos a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP10 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP2.5. En cambio, en el año 2004 el promedio mensual máximo fue cercano a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP10 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ para MP2.5 evidenciando una reducción cercana a 50% para MP10 y a 80% para MP2.5

Los monitores continuos TEOM de MP10 (TEOM, 1998) utilizados en la red MACAM2 están basados en el principio de Microbalanza de oscilación de sensor en voladizo con cabezal PM-10. El uso de esta metodología permitió conocer el comportamiento horario del MP10 y verificar la ocurrencia de un marcado ciclo diario, con fuertes diferencias estacionales.

Durante meses de otoño-invierno, hay un aumento de concentraciones durante la mañana junto con el inicio de la actividad de la ciudad, en la tarde a las horas de mayor ventilación en la cuenca las concentraciones disminuyen para volver a aumentar hacia el final de la tarde alcanzando valores máximos hacia el final del día. En meses de primavera-verano, los valores disminuyen fuertemente respecto a meses de otoño-invierno, con mínimos en la madrugada y máximos en la mañana, durante la tarde en algunas estaciones hay aumento de valores asociado a levantamiento de polvo natural por aumento de la velocidad del viento a las horas de mayor temperatura. Las figuras siguientes presentan ciclos diarios promedios de MP10 en las 8 estaciones de la red MACAM2 para períodos de alta contaminación (otoño-invierno) y baja contaminación (primavera-verano). Se comparan los años 1997, 2000 y 2004.

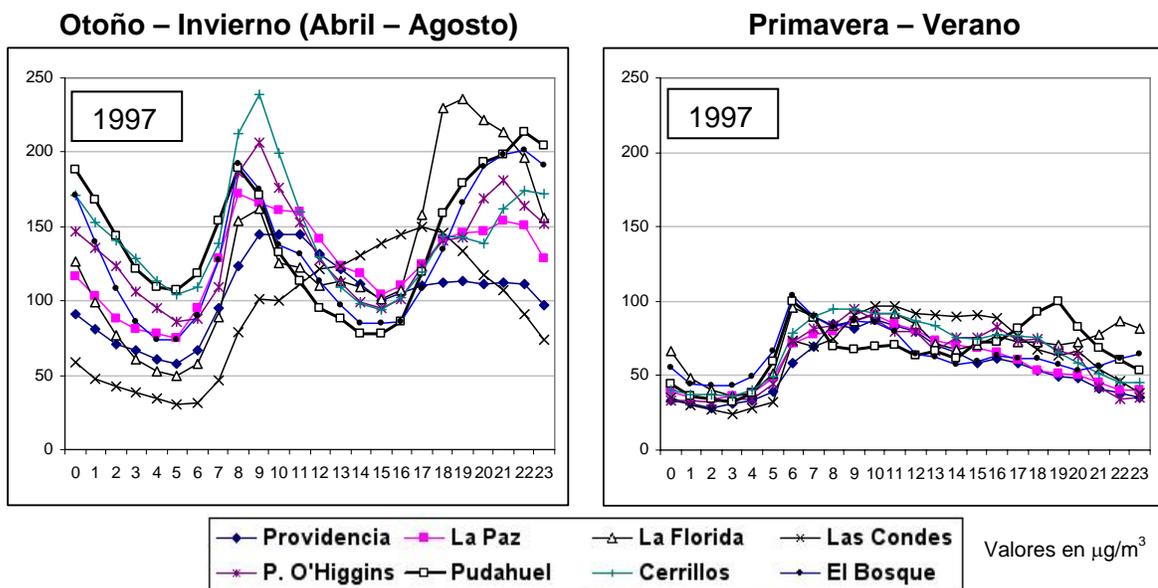


Figura 2-9 Ciclos mensuales promedios de MP10 estaciones red MACAM2 año 1997

Los ciclos diarios promedios muestran una marcada disminución de los valores máximos en el período de altas concentraciones entre 1997 y 2004. En 1997 las concentraciones promedios máximas fueron cercanas a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en las estaciones La Florida, Pudahuel y El Bosque (ver Figura 2-9). En el año 2000 los promedios máximos son cercanos a 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en La Florida y Pudahuel y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en El Bosque (ver Figura 2-10). En el año 2004 los promedios máximos son cercanos a 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en La Florida, 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en el Bosque y 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en Pudahuel (ver Figura 2-11).

Durante los meses de altas concentraciones las estaciones Providencia y Las Condes tienen ciclos diferentes al resto de las estaciones, con concentraciones promedio inferiores. Providencia no presenta un máximo nocturno, sólo el máximo matinal y Las Condes registra un aumento de las concentraciones durante la tarde a las horas en que los valores disminuyen en el resto de las estaciones.

Para meses de primavera-verano no se aprecian diferencias significativas en los ciclos promedio mensuales entre las estaciones. Sin embargo las concentraciones han disminuido entre 1997 y 2004. Llama la atención que durante 2004 no se produce un aumento de valores durante la noche en la estación Pudahuel, situación que se produjo en los años anteriores, lo cual puede ser atribuido, en parte, al comportamiento atípico de las condiciones meteorológicas para ese año (CENMA, 2004).

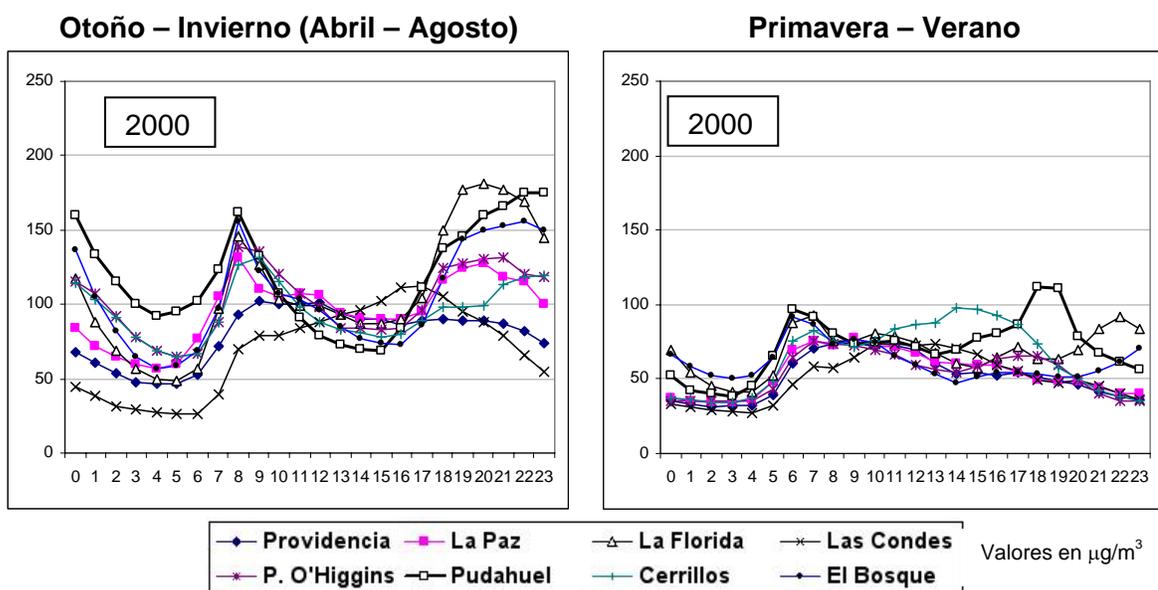


Figura 2-10 Ciclos mensuales promedios de MP10 estaciones red MACAM2 año 2000

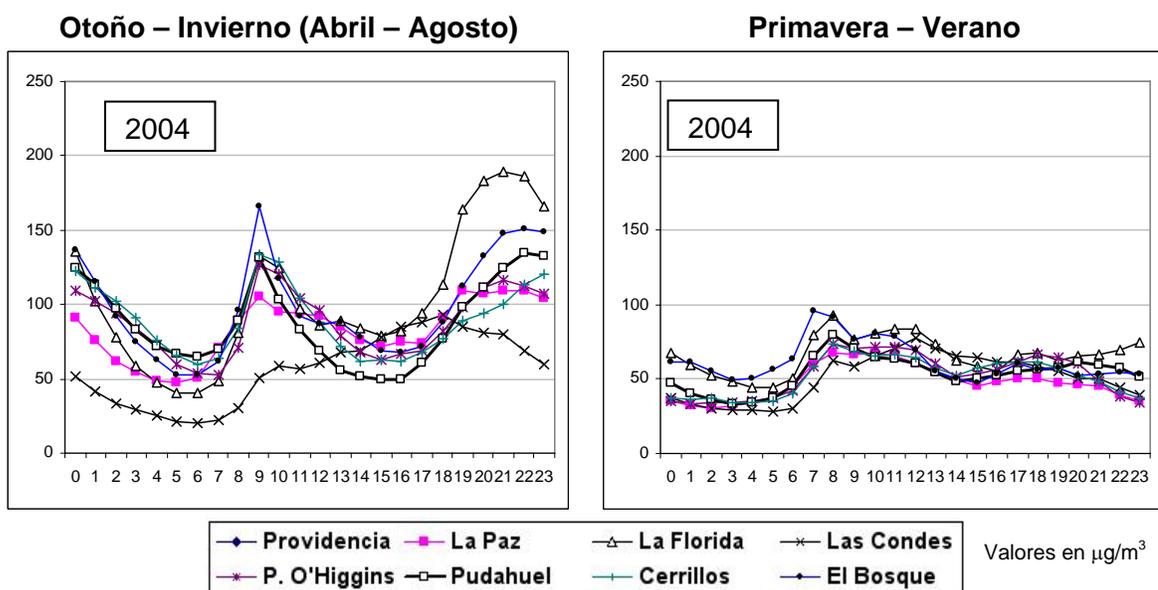


Figura 2-11 Ciclos mensuales promedios de MP10 estaciones red MACAM2 año 2004

La disminución en las concentraciones de MP10 durante los últimos años en la estación Pudahuel podría atribuirse también a la canalización de medidas de control de emisiones en la Comuna, en cambio en el entorno de las estaciones La Florida y El Bosque durante los años 2004 y 2005 se han desarrollado importantes obras viales (construcción de autopistas y extensión de línea del Metro) que podrían tener un impacto en el aumento de emisiones, lo cual se refleja en un aumento de concentraciones de MP10.

2.2.2 Fuentes emisoras de material particulado.

Santiago cuenta con tres inventarios de emisiones realizados en proyectos específicos. El primero fue construido por INTEC-Chile en 1977, el segundo por IASA (Instituto de Análisis de Sistemas Aplicados para el Desarrollo) y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile en 1980; y el tercero por Cade-Idepe en 1988 para la Intendencia de Santiago.

Los inventarios más recientes consideran estimaciones de emisiones a partir de factores de emisión obtenidos en la literatura internacional (principalmente en el AP-42 de USEPA), cuyos resultados son utilizados en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (CONAMA, 1997) y su actualización en el año 2004 (CONAMA, 2004).

La tabla siguiente resume los valores del inventario de MP10 de Cade-Idepe en 1988 y las estimaciones de emisiones de MP10 para 1997 y 2000 consideradas en el PPDA. El inventario oficial de MP10 no ha sido actualizado manteniéndose vigente el elaborado en el año 2000.

Tabla 2-7 Emisiones de MP10, años 1988, 1997 y 2000

| Actividad asociada | Tipo de fuente | 1988 [ton/año] | 1997 [ton/año] | 2000 [ton/año] |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Sector Industrial | Procesos | 4510 | 1467 | 304 |
| | Combustión | 3650 | 1709 | 739 |
| | Subtotal | 8160 | 3176 | 1043 |
| Residencial y Fuentes de área | Combustión residencial | 1660 | 1359 | 328 |
| | Fuentes de área | 440 | 1532 | 534 |
| | Subtotal | 2100 | 2891 | 862 |
| Fuentes móviles | Vehículos livianos | 1531 | 605 | 408 |
| | Buses | | 1173 | 1208 |
| | Camiones | | 953 | 810 |
| | Móviles fuera de ruta | | | 42 |
| | Subtotal | 1531 | 2731 | 2468 |
| Emisiones de polvo antropogénico | Calles pavimentadas | | 28524 | 33600 |
| | Calles sin pavimentar | | 4462 | 4290 |
| | Construcción y demolición | | | 2370 |
| | Actividades agrícolas | | | 70 |
| | Subtotal | 35079 | 32986 | 40330 |
| TOTAL | | 46870 | 41784 | 44703 |

Fuente: Elaboración propia a partir de inventarios oficiales de Cade-Idepe y CONAMA

Entre 1997 y 2000 hay un fuerte descenso en las emisiones del sector industrial y residencial principalmente producto del cambio de combustible (uso de gas natural). A pesar del fuerte aumento del parque automotriz (aproximadamente 10% anual) hay un descenso de las emisiones desde fuentes móviles asociado al uso de convertidores catalíticos y buses de menores emisiones. En cambio hay un aumento del polvo natural asociado principalmente a la resuspensión desde calles pavimentadas por el aumento del parque automotriz.

Otro factor a considerar para explicar las diferencias en los inventarios de emisiones tiene relación con un mejoramiento en las ecuaciones de determinación de emisiones mediante la aplicación de factores de emisión actualizados con estudios recientes de caracterización de fuentes emisoras (recopilados de referencias internacionales, principalmente AP-42)

2.2.3 Caracterización física y química.

El análisis de la composición físico-química del material particulado de Santiago permite estimar su toxicidad, determinar las posibles fuentes emisoras y enfocar las medidas de control. Al respecto, la mayoría de los trabajos fueron realizados en los años 80 por investigadores de las Universidades de Chile y de Santiago (Préndez *et al*, 1984; Préndez, 1993b; Trier, 1984; Trier y Silva, 1987; Rojas *et al*, 1990).

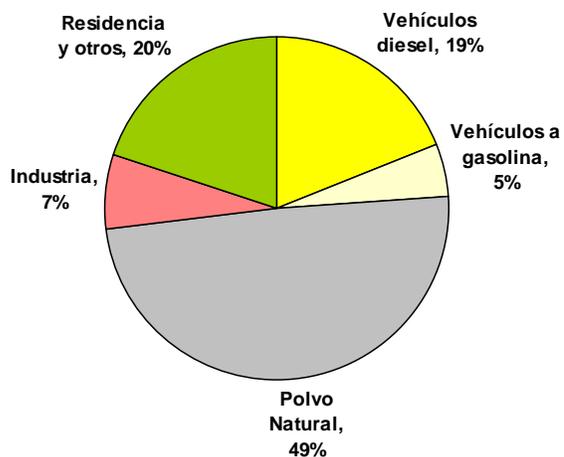
Silo y Lissi (1982) correlacionaron concentraciones de azufre con visibilidad en Santiago, Préndez (1984) midió concentraciones elementales en muestras tomadas con Hi-vol (muestreador de alto volumen), Trier (1984) utilizó un dicótomo para medir concentraciones de MP10, fracciones finas y gruesas. Trier y Silva (1984) presentaron tendencias estacionales de contaminación del aire y usando análisis de componentes principales para identificar fuentes contaminantes en Santiago. Rojas (1990) aplicó técnica de análisis de factores principales a concentraciones de material particulado, medidas al interior de la Universidad de Santiago para identificar fuentes contaminantes.

La mayoría de los estudios mencionados corresponden a mediciones puntuales o de corta duración (pocos valores); esto, sumado a los cambios en los combustibles y mejoramiento de las medidas de control de emisiones en las fuentes emisoras de partículas limita la interpretación y utilización de esos resultados.

El principal trabajo para determinar el aporte de las fuentes emisoras a los niveles de concentración de material particulado de Santiago fue el Estudio de Caracterizaciones Físicas y Químicas de Partículas en Suspensión en la Región Metropolitana realizado por la Universidad de Chile en el año 1985. Los resultados de este estudio se presentan en la Figura 2-12 comparados con el aporte de las fuentes en el total de emisiones de MP10 según el estudio "Universo de fuentes emisoras contaminantes atmosféricos e inventario real de emisiones para Santiago de 1989".

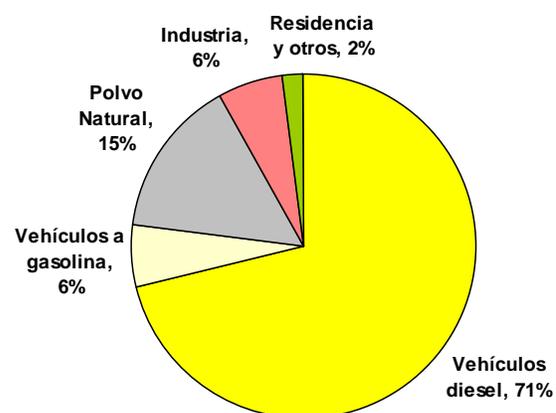
De acuerdo a los resultados presentados en la Figura 2-12, en 1985 se determinó que los Vehículos diesel aportan un 71% a las concentraciones ambientales de MP10, a pesar de sólo representar un 19% de las emisiones de MP10. En cambio, Polvo Natural, la principal fuente emisora de MP10 con un 49% de las toneladas emitidas sólo aporta un 15% a las concentraciones de MP10.

Participación de fuentes emisoras de MP10



Fuente: (U. de CHILE, 1985)

Aporte de fuentes emisoras en Niveles de MP10



Fuente: (CADE-IDEPE, 1989)

Figura 2-12 Comparación de participación de fuentes emisoras de MP10 en el total de emisiones de MP10 y en los niveles de MP10 registrados

Entre 1996 y 1999, CONAMA RM realizó intensas campañas de caracterización físico-química durante el período de otoño-invierno (Artaxo, 1996; Artaxo, 1998; Artaxo, 1999, Artaxo et al, 1999), siendo estos estudios la información más completa y actualizada que se encuentra disponible para Santiago, los cuales incorporan identificación de las fuentes emisoras con mayor participación en las concentraciones observadas. La estimación del aporte de fuentes contaminantes es realizada mediante la aplicación de técnica análisis de componentes principales a las muestras obtenidas en diferentes puntos de Santiago.

Los resultados de estas campañas se comparan con los obtenidos durante la aplicación de modelo receptor CMB7 en el presente Trabajo de Título.

Capítulo 3. Trabajo experimental

3.1 Campañas de medición de material particulado

El programa de muestro incluyó mediciones en lugares que identifican el entorno como residencial, urbano y rural para la aplicación del modelo receptor y mediciones exploratorias para caracterizar los niveles de concentración de material particulado en lugares no cubiertos por la Red MACAM.

Los objetivos de estas campañas de medición fueron:

- Realizar muestreos exploratorios de concentraciones de material particulado para conocer las concentraciones en lugares no cubiertos por la red de vigilancia de calidad de aire de Santiago.
- Recolectar muestras de MP10 fracciones fina y gruesa en diferentes lugares de Santiago para especiación química y aplicación de un modelo receptor.
- Recolectar muestras de polvo en calles pavimentadas para caracterización química y construir un perfil de polvo de calles para Santiago.

3.1.1 Mediciones para aplicación de modelo receptor CMB

Se realizaron dos campañas de mediciones, una en invierno y otra en verano. La primera se realizó los días 1 y 11 de Septiembre de 1993. Los lugares de medición para caracterizar el entorno urbano correspondieron a las estaciones A, B, C, D y M de la Red MACAM. La segunda campaña se realizó entre los días 30 de Diciembre de 1993 y 6 de Enero de 1994, midiendo en estaciones de la Red MACAM y en estaciones auxiliares para caracterizar, además, condiciones de Background o niveles bases en los lugares de entrada (Talagante) y salida (La dehesa) del flujo de contaminantes en Santiago. En esta campaña se incorporó la toma de muestras de polvo de calles en algunas de las principales avenidas de Santiago.

Para la recolección de muestras ambientales en filtros se utilizó un equipo Dicótomo Anderssen, método EPA de referencia, que permite tomar recolectar las fracciones fina y gruesa del material particulado menor a 10 micrones. Este equipo consiste básicamente en un cabezal toma muestra onni-direccional, un impactador virtual, 2 porta filtros (para filtros de 37 mm), una bomba de aspiración y una unidad de control de flujos. El flujo de operación es de 16.7 l/min, valor que permite el ingreso de las partículas menores de 10 μm al cabezal. Posteriormente, en el impactador se produce la separación de la muestra de aire en dos fracciones: fina (partículas menores que 2.5 μm) y gruesa (partículas entre 2.5 y 10 μm). La muestra pasa a través de los filtros depositando las partículas en ellos, posteriormente mediante un análisis gravimétrico en laboratorio se determina la masa acumulada en cada una de las fracciones. La concentración de cada una de las fracciones, para el periodo de medición, se determina en función de la masa (inicial y final), el tiempo de muestreo y los flujos (inicial y final). La Figura 3-1 muestra una fotografía de un equipo Dicótomo, similar al utilizado durante el programa de mediciones.

Se utilizó filtros de membranas de teflón y cuarzo de 37 mm de diámetro de poro grueso y fino. Los filtros fueron suministrados, previamente pesados (determinación masa inicial), en el Desert Research Institute (DRI) en Reno, Nevada una de las instituciones de mayor prestigio en el campo de la caracterización físico-química de partículas. Los filtros de teflón se utilizaron posteriormente en análisis para determinación de metales y los filtros de cuarzo para determinación de especies iónicas, éstos análisis químicos fueron realizados en el DRI.

El período de muestreo fue 24 horas, con inicio de mediciones a las 10 AM. En las labores de operación y cambio de filtros participó personal de la Red MACAM.

Durante la primera campaña se recolectó un total de 20 muestras en filtros de membrana de teflón, 10 correspondiente a la fracción fina y 10 a la gruesa.

Durante la segunda campaña realizada en los días 30 de Diciembre de 1993, 3, 4, 5 y 6 de Enero de 1994 se recolectó 32 muestras en filtros de membrana de teflón (16 finas y 16 gruesas) y 26 muestras en filtros de membrana de cuarzo (13 finas y 13 gruesas). Las muestras fueron tomadas en las estaciones A, B, C, D y M de la Red MACAM y en dos estaciones auxiliares ubicadas en lugares de baja emisión (La Dehesa y Talagante). La ubicación de los lugares de muestreo se presenta en la Tabla 3-1, además la ubicación de éstos se ilustra en la Figura 3-2.

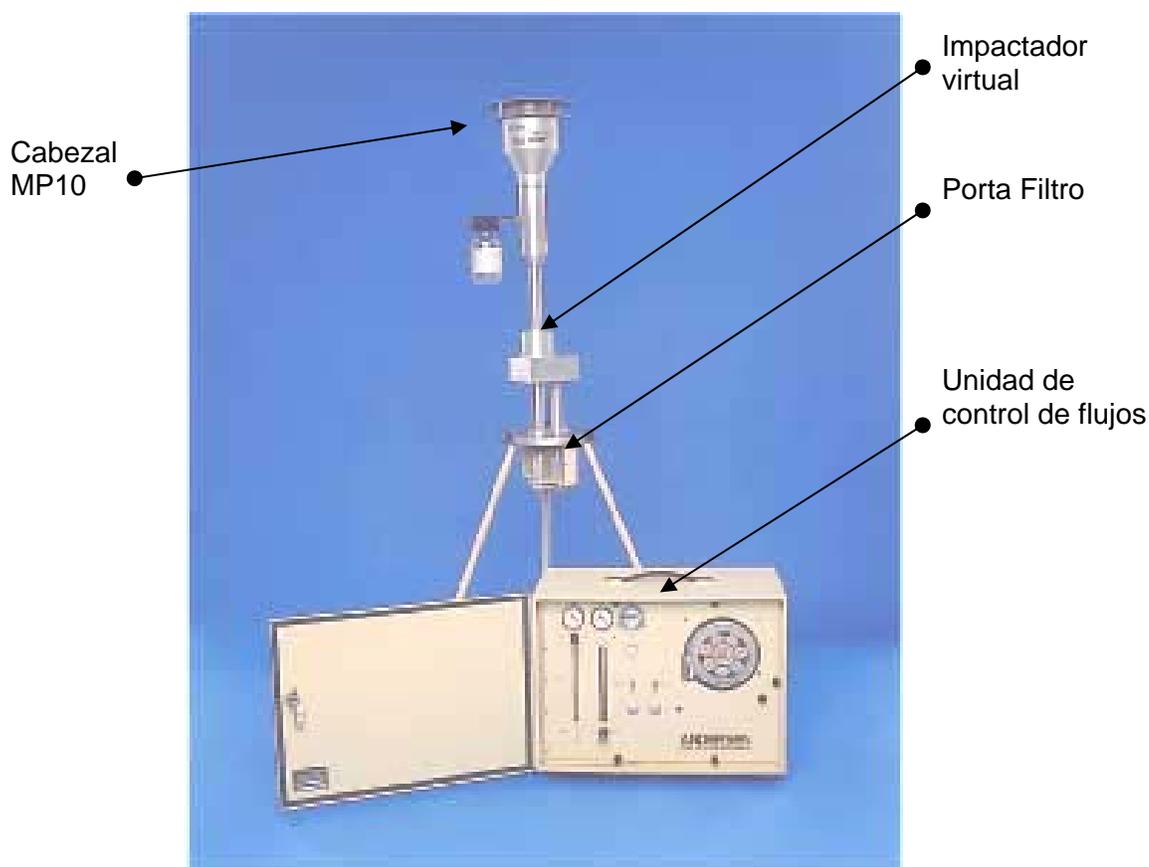


Figura 3-1 Equipo Dicótomo

La segunda campaña fue complementada con la toma de muestras de polvo de calles, operación realizada por personal del Centro de Investigación INTEC, en 4 avenidas principales de Santiago (Santa María, San Diego, Av. La Paz y Blanco Encalada).

Tabla 3-1 Lugares de muestreo campañas con muestreadores dicótomos:

| Lugar | Ubicación (dirección) |
|-----------|---|
| MACAM A | Plaza Gotuzzo, entre Moneda y Bombero Salas |
| MACAM B | Providencia 200, altura Seminario |
| MACAM C | Avenida La Paz 1003, Hospital Psiquiátrico |
| MACAM D | Parque O'Higgins, Plaza Ercilla con Tupper |
| MACAM M | Estadio Las Condes, Av. Las Condes 11755 |
| La Dehesa | Terrenos inmobiliaria Nueva Suiza, Av. La Dehesa |
| Talagante | Escuela Agrícola de Talagante, El Oliveto s/n (cerca de Camino a Lonquén) |

Fuente: Elaboración propia

La ubicación de estos lugares en la cuenca de Santiago se ilustra en la figura siguiente:

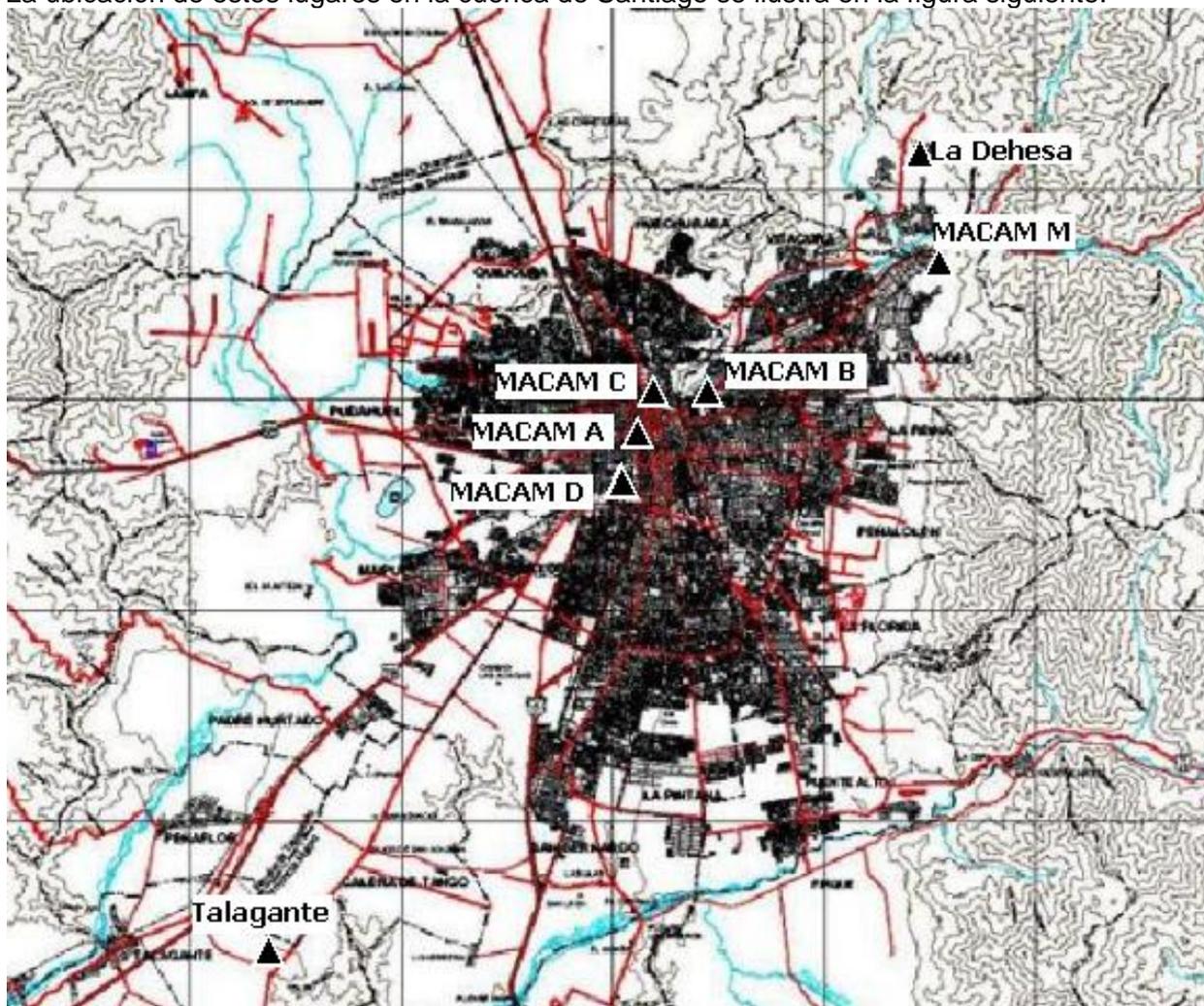


Figura 3-2 Ubicación lugares de muestreo de MP10 y MP2.5 con equipos dicótomos

La Tabla 3-2 resume la fecha y el tipo de filtro (teflón o cuarzo) utilizado en cada lugar de medición durante las dos campañas de recolección de muestras ambientales.

Tabla 3-2 Mediciones de material particulado MP10, fracciones fina y gruesa

| Estación | Campaña I | | Campaña II | | | | |
|-----------|-----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
| | 01/09/93 | 11/09/93 | 30/12/93 | 03/01/94 | 04/01/94 | 05/01/94 | 06/01/94 |
| MACAM A | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Quarzo |
| MACAM B | Teflón | Teflón | Quarzo | Quarzo | Quarzo | Quarzo | Teflón |
| MACAM C | Teflón | Teflón | | | | | |
| MACAM D | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Quarzo |
| MACAM M | Teflón | Teflón | Quarzo | Quarzo | Quarzo | Quarzo | Quarzo |
| La Dehesa | | | Teflón | Teflón | Teflón | | Quarzo |
| Talagante | | | Teflón | Teflón | Teflón | Teflón | Quarzo |

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Análisis de las muestras

Las muestras ambientales obtenidas con muestreadores dicotómicos en filtros y las muestras de polvo de calles fueron enviadas para la determinación de metales y especies iónicas al Desert Research Institute (DRI), laboratorio que previamente había determinado la masa inicial de los filtros. Las técnicas analíticas utilizadas para especiación química fueron las siguientes:

Para muestras en filtros de teflón:

- Gravimetría (determinación de masa final) para conocer la concentración de material particulado.
- Fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar las concentraciones elementos químicos.

Para muestras en filtros de cuarzo:

- Cromatografía iónica (IC) para determinar algunas especies iónicas solubles en agua.

Para muestras de polvo de suelos:

- Resuspensión de las muestras, en una cámara especialmente diseñada para estos fines, que permitió capturar la fracción respirable (menor a 10 μ m) en filtros, los cuales posteriormente fueron analizados mediante fluorescencia de rayos X para determinar las concentraciones elementos químicos.

3.1.3 Mediciones exploratorias de material particulado MP10

Los muestreos exploratorios de MP10 se realizaron entre Agosto de 1993 y Abril de 1994. Estos muestreos fueron parte de un proyecto de investigación financiado por la cooperación del gobierno de Holanda.

Para la toma de muestras ambientales se utilizaron 2 equipos de alto volumen Wedding, método EPA referencia, que permite capturar material particulado menor a 10 micrones en filtros. Este equipo, consiste básicamente en un cabezal toma muestra onmi-direccional, un porta filtros, una bomba de aspiración y una unidad de control de flujos con un sistema de orificio crítico para mantener un flujo constante. El flujo de aire que ingresa al cabezal es del orden de 1000 l/min, posteriormente en el cabezal las partículas mayores a 10 μ m son retenidas mediante un separador de tipo ciclónico permitiendo que partículas menores a 10 μ m se depositen en el filtro previamente pesado. En laboratorio se determina la masa final mediante el uso de balanzas analíticas de precisión (análisis gravimétrico). La concentración para el periodo de medición se determina en función de la masa inicial, masa final y el tiempo de muestreo (se asume flujo constante). La Figura 3-3 muestra una fotografía de un muestreador Wedding de

MP10 instalado en la Escuela Agrícola de Talagante, se incluye además corte detalle del equipo.

Se usaron filtros de tamaño 8 x 11 pulgadas, fabricados en fibra de cuarzo. La duración de los muestreos fue 24 horas, iniciándose cada muestreo a las 10 AM. El pesaje inicial y final de los filtros se realizó en laboratorios de INTEC.

Los lugares de medición presentados en la Tabla 3-3 fueron definidos durante el proyecto incluyendo zonas rurales o semi-urbanas para caracterizar el aire de entrada a Santiago (Talagante y Calera de Tango) y zonas en el sector nor-oriente y nor-poniente de Santiago (La Dehesa, Lo Pinto) para caracterizar el aire de salida de Santiago. Además, se realizaron mediciones en zonas potenciales de alta contaminación por material particulado no cubiertas por la red MACAM (La Florida). La ubicación de los lugares donde se realizaron las mediciones es presentada en la Figura 3-4.

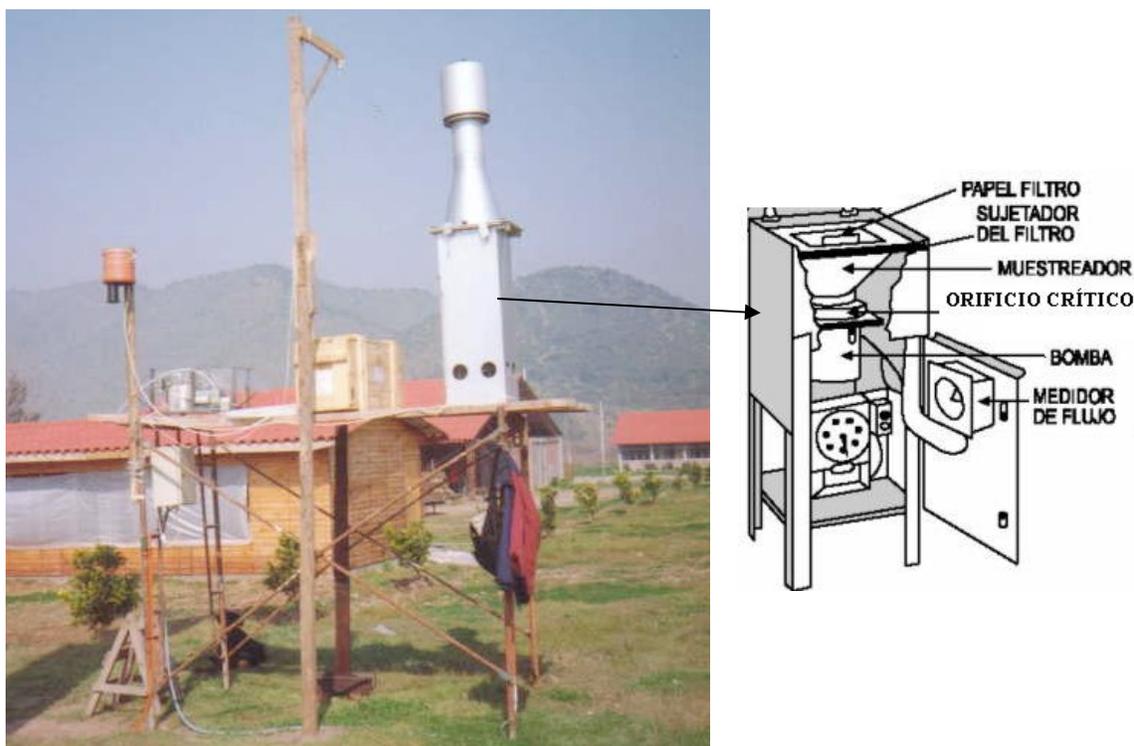


Figura 3-3 Muestreador Wedding de MP10 instalado en Escuela Agrícola de Talagante

Tabla 3-3 Resumen de mediciones de MP10 con equipo de alto volumen

| Estación | Ubicación - Comuna | Período de medición | |
|------------------|---|---------------------|-----------|
| | | desde | hasta |
| Escuela Agrícola | Escuela Agrícola, Camino Oliveto con Camino a Lonquén, Talagante | 19-ago-93 | 30-sep-93 |
| Ed. Computación | Techo de Edif. Computación, FCFM, U. de Chile, Blanco Encalada con Club Hípico. Santiago Centro | 19-ago-93 | 30-sep-93 |
| Parque O'Higgins | Costado surponiente de Elipse del Parque O'Higgins. Santiago Centro | 24-nov-93 | 6-dic-93 |
| La Florida | Balneario Municipal de La Florida, Alonso de Ercilla 6600, La Florida | 11-nov-93 | 18-ene-94 |

| Estación | Ubicación - Comuna | Período de medición | |
|-----------------|---|---------------------|-----------|
| | | desde | hasta |
| La Dehesa | Terrenos de Inmobiliaria Nueva Suiza, Av. La Dehesa, La Dehesa | 20-ene-94 | 13-abr-94 |
| Lo Pinto | Campo de entrenamiento de Bomberos, Camino Lo Pinto s/n, Colina | 24-ene-94 | 15-mar-94 |
| Calera de Tango | Empresa FríoMaipo, Av. Calera de Tango s/n Paradero 18, Calera de Tango | 25-mar-94 | 11-abr-94 |

Fuente: Elaboración propia

La figura siguiente ilustra la ubicación de los distintos lugares donde se realizaron mediciones con muestreador de alto volumen en la cuenca de Santiago:

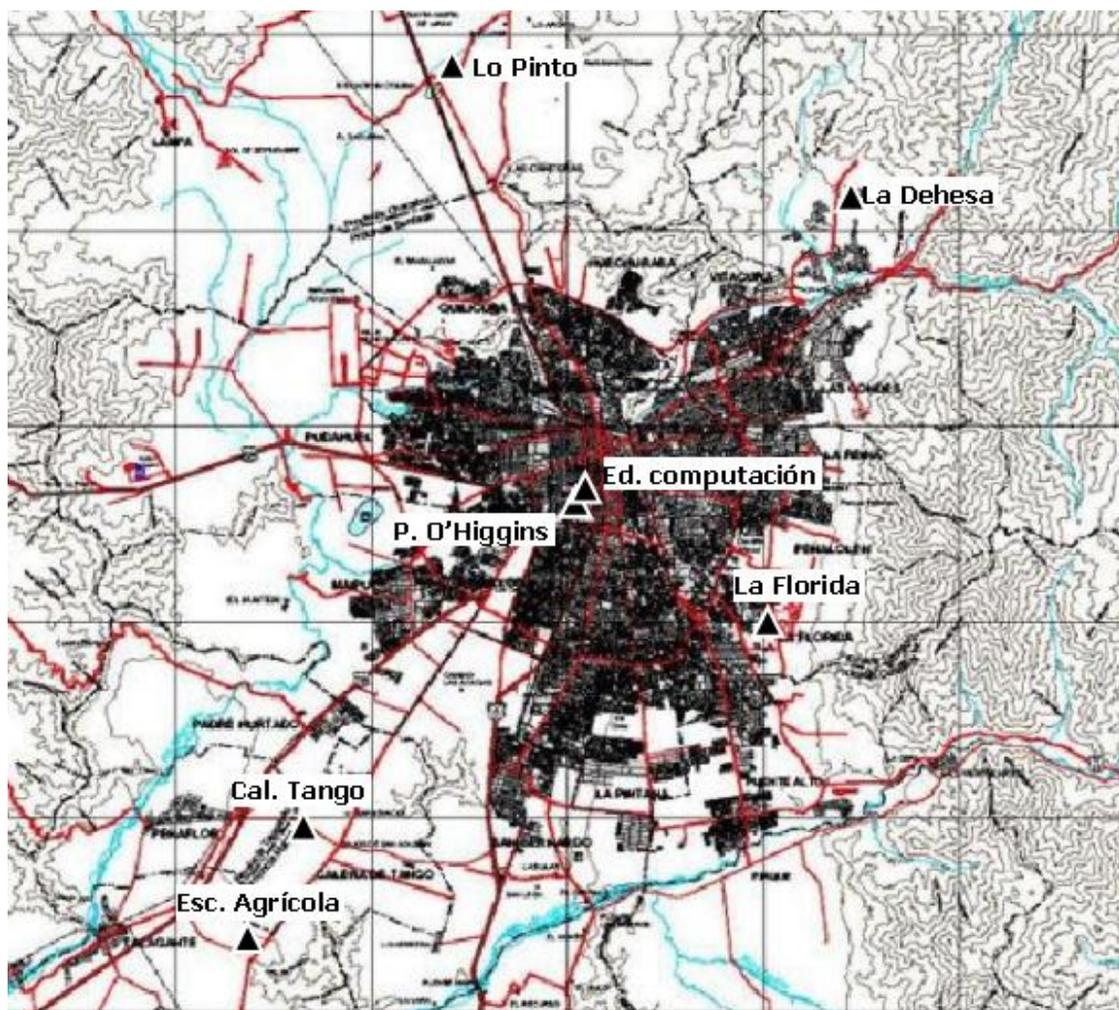


Figura 3-4 Ubicación lugares de medición de MP10 con muestreadores de alto volumen Wedding

3.2 Resultados de análisis químicos y gravimétricos

3.2.1 Resultados mediciones para aplicación de modelo receptor CMB

Los valores de concentración, fracciones fina y gruesa, medidas con el equipo dicótomo se resumen en la Figura 3-5. En anexo se presentan tablas con el detalle de las concentraciones de fracciones fina y gruesa de MP10 registradas en cada muestreo, incluyendo las concentraciones para los elementos químicos determinados mediante los análisis XRF.

Las concentraciones están calculadas de acuerdo a condiciones locales de temperatura y presión (flujo volumétrico), es decir no están corregidas o referidas a las condiciones estándares (25°C y 1 Atm).

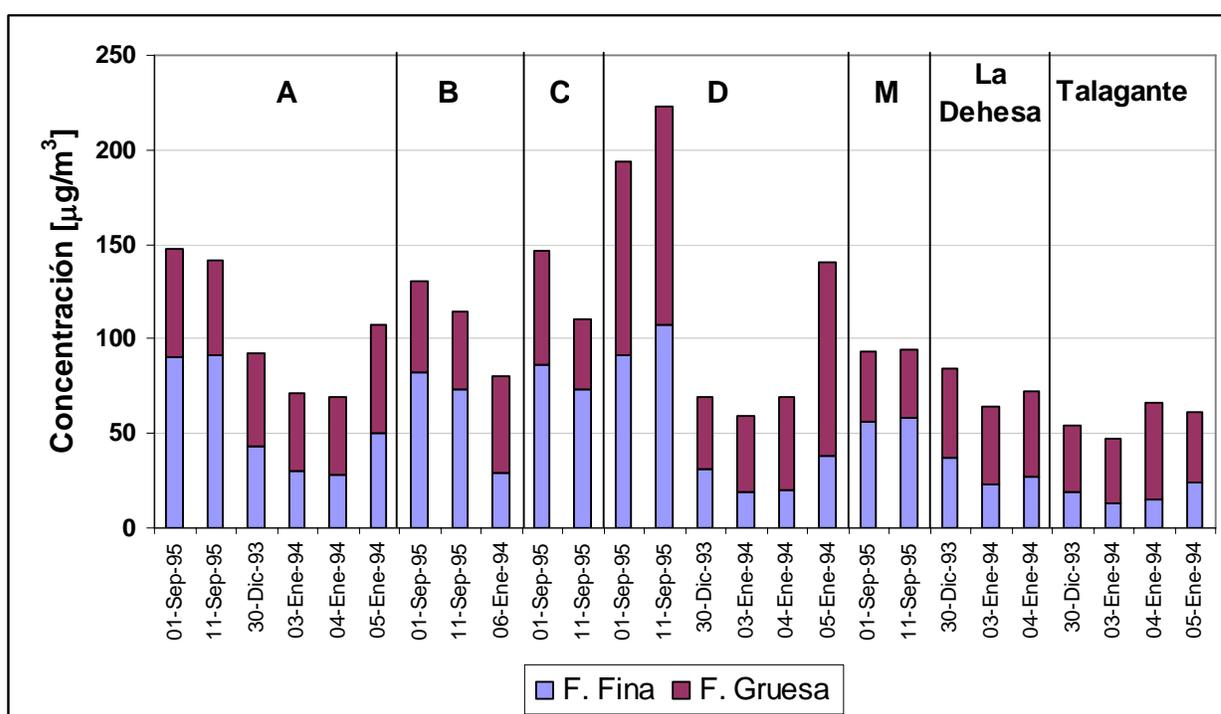


Figura 3-5 Concentraciones de MP10, fracciones fina y gruesa, medidas con dicótomo en estaciones Red MACAM, La Dehesa y Talagante

En la Figura 3-5 se aprecia claramente diferencias estacionales, con valores más altos en Septiembre (fines de invierno) y menores en Diciembre-Enero (verano). La estación que presenta valores más altos es la estación **D** ubicada en el Parque O'Higgins, zona céntrica de Santiago.

Un factor de análisis importante es la relación fracción fina/gruesa, a mayor fracción fina significa que hay un mayor peso de las fuentes de procesos de combustión en los niveles de concentración de MP10, en cambio una fracción gruesa implica una mayor participación del polvo natural. Durante el mes de Septiembre la fracción fina es mayor que la fracción gruesa, situación que cambia en el período de verano con una fracción gruesa mayor. Por otro lado, en los sectores alejados del centro de la ciudad, La Dehesa y Talagante, la fracción gruesa es mayor que la fina en Septiembre y en verano.

Mediante Cromatografía Iónica se determinó 6 especies iónicas en filtros de cuarzo: Cl, NO₃, SO₄, NH₄, Na, K. Sin embargo, los resultados no incluyeron las concentraciones de las fracciones fina y gruesa, por lo cual estas muestras no fueron consideradas en la aplicación de CMB7. La tabla siguiente presenta un resumen estadístico de las concentraciones de especies iónicas solamente para reportar los resultados los cuales podrían ser utilizados para otros estudios.

Tabla 3-4 Resumen análisis químicos por Cromatografía Iónica, mediciones 30 de Diciembre de 1993 al 6 de Enero de 1994 (valores en µg/m³)

| Iones | Fracción Gruesa | | | | Fracción Fina | | | |
|-----------------|-----------------|-------------|--------|--------|---------------|-------------|--------|--------|
| | Media | ± Desv. Std | Mínimo | Máximo | Media | ± Desv. Std | Mínimo | Máximo |
| CL | 0.9995 | ± 0.4835 | 0.4137 | 1.9969 | 0.1969 | ± 0.1960 | 0.0328 | 0.6620 |
| NO ₃ | 1.7049 | ± 0.5256 | 0.9413 | 2.5824 | 1.2629 | ± 0.4664 | 0.3561 | 1.9267 |
| SO ₄ | 0.9198 | ± 0.1977 | 0.5925 | 1.1909 | 5.1072 | ± 1.7271 | 3.0057 | 7.8947 |
| NH ₄ | 0.0539 | ± 0.0287 | 0.0000 | 0.1195 | 1.6644 | ± 0.6836 | 0.8367 | 2.8918 |
| NA | 0.7645 | ± 0.2268 | 0.4930 | 1.2951 | 0.4534 | ± 0.0878 | 0.3168 | 0.6089 |
| K | 0.1214 | ± 0.0153 | 0.0921 | 0.1416 | 0.6951 | ± 0.2811 | 0.2431 | 1.1925 |

Fuente: Elaboración propia

La técnica XRF montada en el laboratorio de DRI permitió identificar hasta 38 elementos químicos en filtros de teflón: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, La, Au, Hg, Tl, Pb y U. El detalle de las concentraciones de los elementos químicos y especies iónicas obtenidas para cada muestreo se incluye en tablas en el Anexo "Resultados análisis químicos mediciones con dicótomo".

Las tablas siguientes presentan un resumen estadístico de las concentraciones de los elementos químicos determinados por XRF en las muestras recolectadas con dicótomos para los 2 períodos de mediciones, 1 y 11 de Septiembre de 1993 y 30 de Diciembre de 1993 a 6 de Enero de 1994, este período incluyó mediciones en La Dehesa y Talagante.

**Tabla 3-5 Resumen análisis químicos por XRF, mediciones 1 y 11 de Septiembre de 1993
(valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

| Elementos | Fracción Gruesa | | | | Fracción Fina | | | |
|------------|-----------------|-----------------|--------|----------|---------------|-----------------|---------|----------|
| | Promedio | \pm Desv. Std | Mínimo | Máximo | Media | \pm Desv. Std | Mínimo | Máximo |
| Na | 0.1126 | \pm 0.0718 | 0.0526 | 0.2668 | 0.0831 | \pm 0.0430 | 0.0129 | 0.1400 |
| Mg | 0.1591 | \pm 0.0789 | 0.0723 | 0.3311 | 0.0422 | \pm 0.0293 | 0.0203 | 0.0849 |
| Al | 2.9551 | \pm 1.5110 | 1.3625 | 6.2130 | 0.1883 | \pm 0.0918 | 0.0645 | 0.3414 |
| Si | 8.6744 | \pm 4.5806 | 4.1223 | 18.5109 | 0.6456 | \pm 0.2423 | 0.4254 | 1.1698 |
| P | 0.0081 | \pm 0.0076 | 0.0011 | 0.0245 | nd | | | |
| S | 0.4702 | \pm 0.2093 | 0.2655 | 0.9415 | 3.7795 | \pm 0.6318 | 2.8047 | 4.5764 |
| Cl | 0.1776 | \pm 0.0878 | 0.0138 | 0.3051 | 0.2951 | \pm 0.2320 | 0.0245 | 0.7974 |
| K | 0.6181 | \pm 0.3137 | 0.2718 | 1.3015 | 0.4563 | \pm 0.1122 | 0.2942 | 0.6364 |
| Ca | 3.1730 | \pm 2.1980 | 0.9035 | 7.1692 | 0.2645 | \pm 0.1761 | 0.1032 | 0.5763 |
| Ti | 0.2008 | \pm 0.0992 | 0.0890 | 0.4046 | 0.0278 | \pm 0.0116 | 0.0129 | 0.0452 |
| V | 0.0150 | \pm 0.0055 | 0.0060 | 0.0227 | 0.0350 | \pm 0.0136 | 0.0126 | 0.0597 |
| Cr | 0.0060 | \pm 0.0028 | 0.0012 | 0.0099 | 0.0056 | \pm 0.0019 | 0.0026 | 0.0083 |
| Mn | 0.0538 | \pm 0.0286 | 0.0236 | 0.1128 | 0.0228 | \pm 0.0120 | 0.0110 | 0.0462 |
| Fe | 2.1558 | \pm 1.1068 | 0.8401 | 4.4632 | 0.4168 | \pm 0.1755 | 0.2057 | 0.6843 |
| Co | nd | | | | nd | | | |
| Ni | 0.0042 | \pm 0.0020 | 0.0007 | 0.0068 | 0.0155 | \pm 0.0064 | 0.0057 | 0.0262 |
| Cu | 0.0565 | \pm 0.0238 | 0.0132 | 0.0937 | 0.0597 | \pm 0.0237 | 0.0238 | 0.1046 |
| Zn | 0.0868 | \pm 0.0378 | 0.0188 | 0.1450 | 0.2229 | \pm 0.0812 | 0.1121 | 0.3734 |
| Ga | 0.0000 | \pm | | | nd | | | |
| As | 0.0074 | \pm 0.0040 | 0.0017 | 0.0137 | 0.0911 | \pm 0.0252 | 0.0512 | 0.1226 |
| Se | nd | | | | nd | | | |
| Br | 0.0691 | \pm 0.0391 | 0.0183 | 0.1423 | 0.3537 | \pm 0.1950 | 0.1029 | 0.7426 |
| Rb | 0.0024 | \pm 0.0016 | 0.0009 | 0.0058 | 0.0012 | \pm 0.0008 | 0.0003 | 0.0032 |
| Sr | 0.0151 | \pm 0.0088 | 0.0053 | 0.0330 | 0.0000 | \pm | | |
| Y | 0.0010 | \pm 0.0006 | 0.0002 | 0.0020 | 0.0009 | \pm 0.0003 | 0.0005 | 0.0014 |
| Zr | 0.0073 | \pm 0.0038 | 0.0024 | 0.0145 | 0.0007 | \pm 0.0004 | 0.0002 | 0.0014 |
| Mo | 0.0064 | \pm 0.0032 | 0.0028 | 0.0139 | 0.0018 | \pm 0.0013 | 0.0002 | 0.0040 |
| Pd | 0.0024 | \pm 0.0022 | 0.0010 | 0.0068 | 0.0039 | \pm 0.0017 | 0.0017 | 0.0061 |
| Ag | 0.0024 | \pm 0.0017 | 0.0009 | 0.0052 | 0.0029 | \pm 0.0018 | 0.0005 | 0.0052 |
| Cd | 0.0040 | \pm 0.0029 | 0.0010 | 0.0082 | 0.0040 | \pm 0.0034 | 0.0001 | 0.0102 |
| In | 0.0001 | \pm | 0.0001 | 0.0001 | 0.0008 | \pm 0.0003 | 0.0006 | 0.0011 |
| Sn | 0.0034 | \pm 0.0018 | 0.0007 | 0.0063 | 0.0049 | \pm 0.0023 | 0.0013 | 0.0083 |
| Sb | 0.0030 | \pm 0.0021 | 0.0006 | 0.0059 | 0.0035 | \pm 0.0011 | 0.0023 | 0.0048 |
| Ba | 0.0479 | \pm 0.0270 | 0.0156 | 0.1040 | 0.0038 | \pm 0.0016 | 0.0021 | 0.0053 |
| La | 0.0076 | \pm 0.0085 | 0.0015 | 0.0241 | 0.0097 | \pm 0.0066 | 0.0029 | 0.0171 |
| Au | nd | | | | nd | | | |
| Hg | 0.0040 | \pm 0.0048 | 0.0006 | 0.0074 | | | | |
| Tl | nd | | | | nd | | | |
| Pb | 0.2143 | \pm 0.1186 | 0.0428 | 0.4141 | 1.2122 | \pm 0.4636 | 0.5119 | 2.1612 |
| U | 0.0002 | \pm | 0.0002 | 0.0002 | 0.0000 | \pm | | |
| Masa total | 58.5495 | \pm 28.0235 | 4 | 115.3118 | 80.9441 | \pm 16.0053 | 55.7940 | 107.8344 |

nd: no detectado durante el análisis químico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6 Resumen análisis químicos por XRF, mediciones 30 de Diciembre de 1993 al 6 de Enero de 1994 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Elementos | Fracción Gruesa | | | | Fracción Fina | | | |
|------------|-----------------|-------------|---------|---------|---------------|-------------|--------|---------|
| | Promedio | ± Desv. Std | Mínimo | Máximo | Promedio | ± Desv. Std | Mínimo | Máximo |
| Na | 0.3869 | ± 0.1040 | 0.2811 | 0.7291 | 0.2331 | ± 0.0949 | 0.0337 | 0.4299 |
| Mg | 0.1888 | ± 0.0472 | 0.1145 | 0.3399 | 0.0314 | ± 0.0177 | 0.0023 | 0.0596 |
| Al | 3.1655 | ± 0.9793 | 2.0935 | 6.4337 | 0.1458 | ± 0.0760 | 0.0580 | 0.3833 |
| Si | 8.5169 | ± 2.9059 | 5.6358 | 18.3792 | 0.4860 | ± 0.2603 | 0.1573 | 1.1966 |
| P | 0.0222 | ± 0.0148 | 0.0000 | 0.0546 | 0.0001 | ± 0.0002 | 0.0000 | 0.0008 |
| S | 0.3432 | ± 0.1363 | 0.2326 | 0.8301 | 1.7768 | ± 0.5914 | 0.9785 | 2.9989 |
| Cl | 1.3942 | ± 0.8359 | 0.3501 | 3.5376 | 0.2547 | ± 0.2675 | 0.0000 | 0.7343 |
| K | 0.7100 | ± 0.2430 | 0.5143 | 1.5528 | 0.7636 | ± 0.4076 | 0.2122 | 1.6237 |
| Ca | 1.9129 | ± 0.8787 | 1.0775 | 4.8486 | 0.1206 | ± 0.0662 | 0.0353 | 0.3129 |
| Ti | 0.1757 | ± 0.0739 | 0.1025 | 0.4269 | 0.0128 | ± 0.0076 | 0.0008 | 0.0327 |
| V | 0.0073 | ± 0.0041 | 0.0000 | 0.0170 | 0.0098 | ± 0.0071 | 0.0000 | 0.0211 |
| Cr | 0.0038 | ± 0.0023 | 0.0000 | 0.0080 | 0.0023 | ± 0.0020 | 0.0001 | 0.0068 |
| Mn | 0.0536 | ± 0.0204 | 0.0355 | 0.1221 | 0.0108 | ± 0.0065 | 0.0018 | 0.0211 |
| Fe | 1.9004 | ± 0.7890 | 1.1421 | 4.5393 | 0.2182 | ± 0.1238 | 0.0483 | 0.4897 |
| Co | nd | | | | 0.0003 | ± 0.0003 | 0.0000 | 0.0007 |
| Ni | 0.0033 | ± 0.0036 | 0.0000 | 0.0115 | 0.0074 | ± 0.0063 | 0.0007 | 0.0210 |
| Cu | 0.0271 | ± 0.0128 | 0.0114 | 0.0643 | 0.0154 | ± 0.0103 | 0.0022 | 0.0367 |
| Zn | 0.0458 | ± 0.0261 | 0.0092 | 0.1042 | 0.1226 | ± 0.1164 | 0.0042 | 0.4233 |
| Ga | 0.0000 | ± 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | nd | | | |
| As | 0.0021 | ± 0.0015 | 0.0004 | 0.0048 | 0.0086 | ± 0.0080 | 0.0019 | 0.0262 |
| Se | 0.0000 | ± 0.0001 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0007 | ± 0.0006 | 0.0000 | 0.0015 |
| Br | 0.0154 | ± 0.0112 | 0.0030 | 0.0435 | 0.0457 | ± 0.0402 | 0.0053 | 0.1484 |
| Rb | 0.0030 | ± 0.0012 | 0.0019 | 0.0069 | 0.0012 | ± 0.0007 | 0.0003 | 0.0027 |
| Sr | 0.0142 | ± 0.0065 | 0.0093 | 0.0371 | 0.0009 | ± 0.0005 | 0.0005 | 0.0023 |
| Y | 0.0011 | ± 0.0004 | 0.0008 | 0.0025 | 0.0002 | ± 0.0002 | 0.0000 | 0.0006 |
| Zr | 0.0055 | ± 0.0025 | 0.0027 | 0.0135 | 0.0005 | ± 0.0003 | 0.0001 | 0.0014 |
| Mo | 0.0105 | ± 0.0081 | 0.0003 | 0.0274 | 0.0021 | ± 0.0017 | 0.0000 | 0.0060 |
| Pd | 0.0001 | ± 0.0003 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0002 | ± 0.0004 | 0.0000 | 0.0012 |
| Ag | 0.0003 | ± 0.0006 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0002 | ± 0.0004 | 0.0000 | 0.0012 |
| Cd | 0.0029 | ± 0.0015 | 0.0008 | 0.0053 | 0.0018 | ± 0.0014 | 0.0000 | 0.0051 |
| In | 0.0009 | ± 0.0014 | 0.0000 | 0.0038 | 0.0011 | ± 0.0010 | 0.0000 | 0.0036 |
| Sn | 0.0014 | ± 0.0016 | 0.0000 | 0.0039 | 0.0025 | ± 0.0026 | 0.0000 | 0.0070 |
| Sb | 0.0024 | ± 0.0025 | 0.0000 | 0.0065 | 0.0032 | ± 0.0027 | 0.0000 | 0.0083 |
| Ba | 0.0386 | ± 0.0246 | 0.0000 | 0.0898 | 0.0101 | ± 0.0105 | 0.0000 | 0.0345 |
| La | 0.0030 | ± 0.0061 | 0.0000 | 0.0228 | 0.0021 | ± 0.0033 | 0.0000 | 0.0101 |
| Au | nd | | | | nd | | | |
| Hg | 0.0000 | ± 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | ± 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| Tl | 0.0000 | ± 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | ± 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| Pb | 0.0540 | ± 0.0372 | 0.0063 | 0.1380 | 0.2041 | ± 0.1573 | 0.0158 | 0.5370 |
| U | 0.0002 | ± 0.0003 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | ± 0.0001 | 0.0000 | 0.0005 |
| Masa Total | 47.70868 | ± 15.83951 | 34.7338 | 102.024 | 28.00608 | ± 10.43599 | 12.780 | 50.6932 |

nd: no detectado durante el análisis químico

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Resultados mediciones exploratorias de MP10

La concentración de MP10 se determina en función de la diferencia de masa depositada en los filtros (final – inicial) y del volumen de aire aspirado por el equipo durante cada muestreo. Las concentraciones están referidas a las condiciones del lugar, para comparar con las normas de calidad de aire los valores deben ser referidos a condiciones normales de temperatura y presión (25°C y 1 Atm), lo que equivale a multiplicar por aproximadamente 1.1 todas las concentraciones que se presentan en las tablas y gráficos siguientes.

La tabla siguiente resume las concentraciones registradas para cada uno de los lugares durante el período de medición.

Tabla 3-7 Resumen de mediciones de MP10 con equipo de alto volumen

| Lugar de medición | Número muestreos | Concentraciones | | | |
|-------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Mínimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Desv. Std $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Ed. Computación | 35 | 30.4 | 337.0 | 115.9 | 67.2 |
| Esc. Agrícola | 28 | 7.2 | 145.8 | 50.2 | 32.5 |
| P. O'Higgins | 14 | 28.6 | 70.3 | 55.7 | 12.5 |
| La Florida | 14 | 51.3 | 138.3 | 83.1 | 21.1 |
| La Dehesa | 28 | 38.1 | 89.2 | 61.3 | 12.9 |
| Lo Pinto | 20 | 37.9 | 88.1 | 62.7 | 11.1 |
| C. de Tango | 7 | 45.7 | 127.8 | 81.6 | 28.1 |

Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones más altas (promedio y máximos) se registran en Edificio de Computación de la Escuela de Ingeniería y las menores en la Escuela Agrícola de Talagante.

La tabla siguiente compara los promedios mensuales de MP10 en los distintos lugares de medición con promedios mensuales de MP10 de las estaciones de la Red MACAM:

Tabla 3-8 Promedios mensuales de MP10, mediciones con equipo alto volumen

| Lugar de medición | 1993 | | | | | 1994 | | | |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ago $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | sep $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | oct $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | nov $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | dic $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | ene $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | feb $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | mar $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | abr $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Ed. Computación | 141.1 | 104.4 | | | | | | | |
| Esc. Agrícola | 57.2 | 44.1 | | | | | | | |
| P. O'Higgins | | | | 51.0 | 54.0 | 59.0 | | | |
| La Florida | | | | | 82.2 | 84.8 | | | |
| La Dehesa | | | | | | 64.0 | 54.5 | 67.0 | 62.0 |
| Lo Pinto | | | | | | 70.6 | 61.0 | 63.0 | |
| C. de Tango | | | | | | | | 84.0 | 80.0 |
| MACAM A | 146.4 | 92.6 | 77.1 | 70.9 | 84.3 | 101.8 | 83.7 | 93.5 | 100.3 |
| MACAM B | 138.8 | 79.5 | 78.1 | 68.9 | 69.0 | 83.4 | 90.1 | 104.2 | 97.8 |
| MACAM C | 134.2 | 94.4 | 83.5 | 76.4 | 79.0 | 73.8 | 75.5 | 94.2 | 95.5 |
| MACAM D | 200.1 | 129.6 | 86.9 | 64.8 | 72.1 | 97.4 | 86.9 | 101.8 | 113.8 |
| MACAM M | 107.9 | 71.5 | 67.7 | 54.4 | 64.3 | 69.9 | 72.2 | 89.3 | 84.2 |

Fuente: Elaboración propia

Los gráficos siguientes presentan los valores registrados en los lugares de medición:

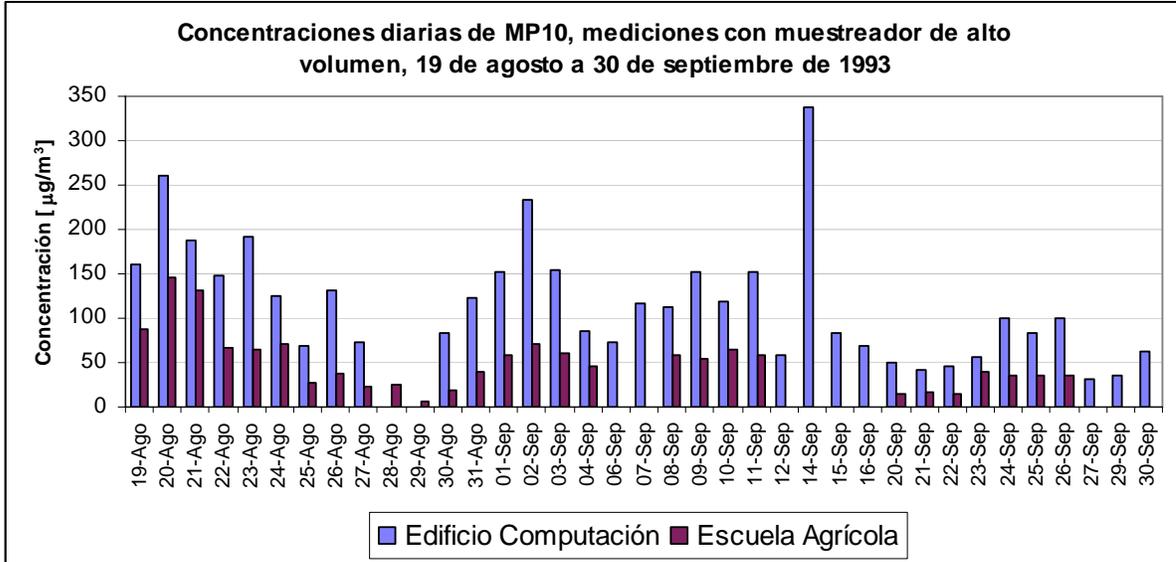


Figura 3-6 Mediciones de MP10 con muestreador de alto volumen en Edificio de Computación y Escuela Agrícola, Agosto y Septiembre de 1993

En la Figura 3-6 se aprecia claramente que las concentraciones de MP10 registradas en el edificio de computación, lugar ubicado en la zona centro de Santiago son mayores que las concentraciones en la escuela Agrícola (lugar rural ubicado a la entrada SW de Santiago en relación a la dirección de vientos predominantes) incluso el valor de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fijado en la norma es superado durante 6 días. Durante el período de mediciones el promedio de MP10 en el edificio de computación es $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en cambio en la Escuela Agrícola el promedio es $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se aprecia además, que después del 14 de Septiembre las concentraciones disminuyen fuertemente, lo cual coincide con la transición invierno-primavera y aumento de la ventilación en la cuenca de Santiago. Una primera aproximación es considerar que la diferencia entre las concentraciones sería producto de las emisiones de MP10 generadas al interior de la ciudad.

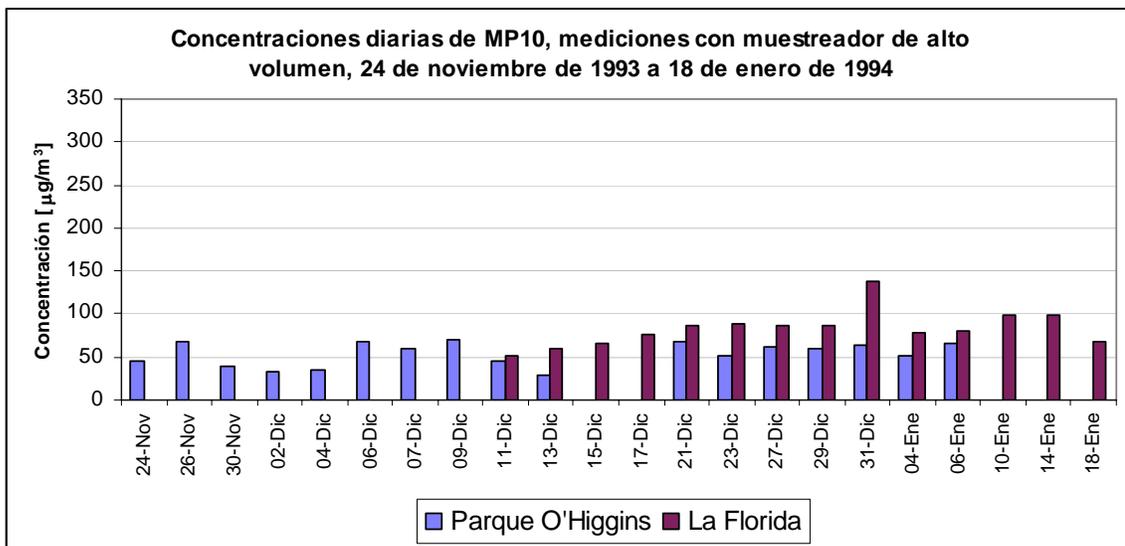


Figura 3-7 Mediciones de MP10 con muestreador de alto volumen en Parque O'Higgins y Balneario Municipal de La Florida

La Figura 3-7 presenta una comparación de concentraciones de MP10 entre Parque O'Higgins y La Florida para meses de verano. Las concentraciones de MP10 en el Balneario de La Florida son mayores que en Parque O'Higgins (costado SW de la elipse) durante días con mediciones en paralelo, esta situación es consistente con el promedio de concentraciones para el período de mediciones de $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en La Florida y $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Parque O'Higgins.

La Figura 3-8 presenta 2 períodos de mediciones en paralelo. Entre el 20 de Enero y el 15 de Marzo de 1994 se realizan mediciones en La Dehesa (zona semi-urbana de salida de los vientos que circulan por Santiago hacia el sector cordillerano) y Lo Pinto (zona rural de salida de los vientos hacia el sector N). Durante la mayoría de los días las concentraciones de MP10 son levemente mayores en Lo Pinto con una concentración promedio de $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio en La Dehesa el promedio es $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

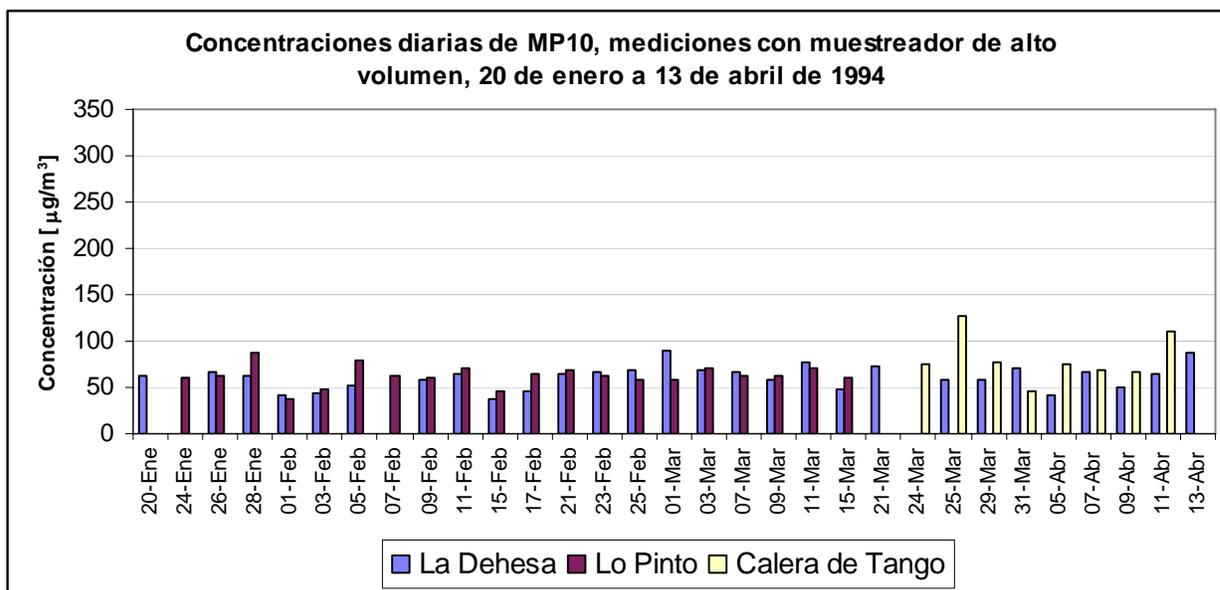


Figura 3-8 Mediciones de MP10 con muestreador de alto volumen en La Dehesa, Lo Pinto y Calera de Tango

Entre el 24 de Marzo y 13 de Abril se realizaron mediciones en La Dehesa y Calera de Tango (sector rural en la entrada de vientos a Santiago). Las mediciones son mayores en el sector de Calera de Tango con promedio de $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio en La Dehesa para este período el promedio es $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante este segundo período, las estaciones de la red MACAM registraron en algunas ocasiones concentraciones sobre 150, lo cual demuestra que la zona urbana es la que registra mayores concentraciones de MP10, las cuales tienden a permanecer en el interior de la cuenca.

Capítulo 4. Estimación del aporte de distintas fuentes mediante aplicación de modelo CMB7

4.1 Descripción del modelo de balance químico de masas CMB7

El modelo de calidad del aire de balance químico de masa (CMB) es un tipo de modelo receptor que usa las características químicas y físicas de muestras de contaminantes ambientales para estimar la contribución de distintos tipos de fuentes emisoras en la concentración de los contaminantes medidos.

CMB7 es la séptima versión de un software basado en CMB, ampliamente utilizado para material particulado en suspensión, aplicado hasta 4 tamaños diferentes de partículas. También es aplicable a especies gaseosas. Este software fue desarrollado en conjunto por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) y el Desert Research Institute (DRI).

CMB7 no es un modelo estadístico, sino que consiste en un set de ecuaciones lineales simultáneas, las cuales correlacionan perfiles de fuentes emisoras y análisis químicos (para un cierto número de especies o elementos) de muestras tomadas en lugares, y utiliza estimación de mínimos cuadrados para resolverlas.

Las ecuaciones planteadas son del tipo:

$$C_i = F_{i1}S_1 + F_{i2}S_2 + \dots + F_{ij}S_j$$

con $i=1, \dots, I$ $j=1, \dots, J$

Donde:

- C_i = Concentraciones medidas en un sitio receptor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- F_{ij} = Fracción de especies i emitidas desde la fuente j
- S_j = Estimación de contribución de la fuente j [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- I = Número de especies químicas
- J = Número de tipos de fuentes

Estas ecuaciones tienen más de una posible solución ya que el número de especies químicas medidas, generalmente exceden el número de tipos de fuentes

El software CMB7 requiere como datos de entrada:

- Información de perfiles de elementos químicos en fuentes contaminantes.
- Concentraciones de especies medidas en el lugar a analizar.

Entrega como resultado:

- La contribución de cada tipo de fuente en cada especie, expresado como un reporte o en gráficos.

Una descripción más detallada se entrega en el Anexo 1.

4.2 Aplicación de CMB7

Los análisis químicos determinaron la presencia de 38 elementos. Sin embargo, la concentración de muchos de ellos es cercana al límite de detección, o el error asociado a la técnica de análisis es superior al valor encontrado. Por este motivo, solamente se incluyeron 20 elementos químicos en las corridas del modelo: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Br y Pb.

A partir de las concentraciones relativas (por unidad de masa) de muestras de polvo de calles y para los elementos químicos mencionados anteriormente se construyó un perfil promedio característico para polvo de calles de Santiago, el cual se presenta en la figura siguiente.

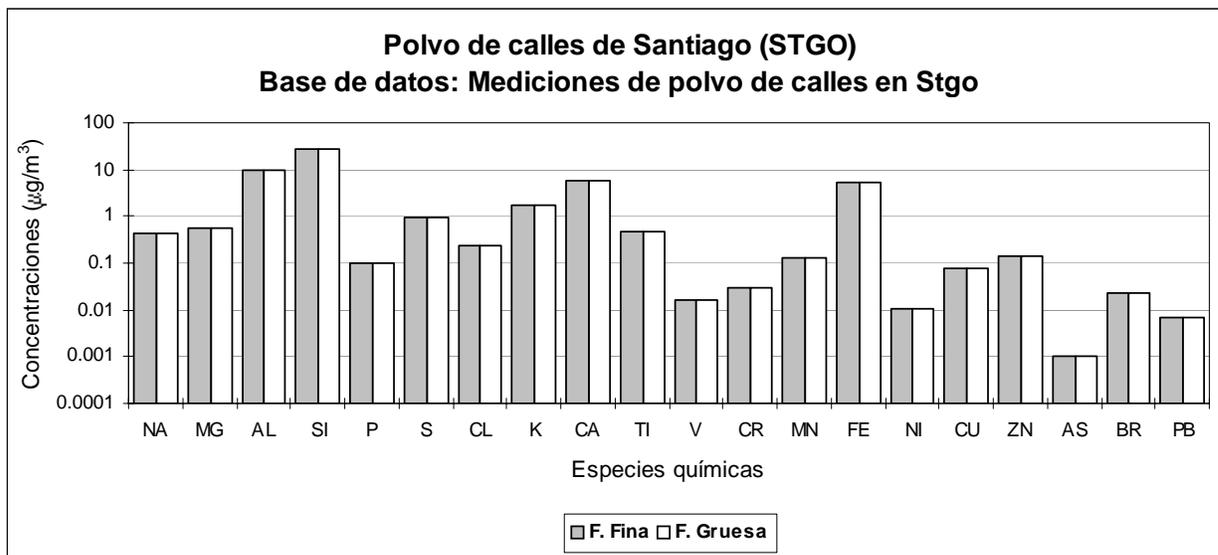


Figura 4-1 Perfil de especies químicas para Polvo de calles de Santiago

Los perfiles de fuentes seleccionados desde las Bases de Datos **P_PROFIL.DBF** y **SAMPLE.DBF** de US EPA se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-1 Listado de perfiles seleccionados desde base de datos **SAMPLE.BDF**

| Identificación | Denominación | Tipo de Fuente |
|----------------|--------------|------------------------------------|
| 2 | CDUST | * Polvo Continental |
| 3 | UDUST | Polvo Urbano |
| 4 | AUTPB | * Automóviles a Gasolina con Plomo |
| 5 | VBRN1 | * Quema de Vegetación 1 |
| 7 | VBRN2 | * Quema de Vegetación 2 |
| 9 | SULFT | Sulfato de Fábrica de Papel |
| 10 | HOGFU | Caldera Combustión de Residuos |
| 12 | STEEL | * Horno de Acero |
| 13 | FERMN | Hornos de Ferromagnesio |
| 17 | SO4 | * Sulfato (especie individual) |

* Perfiles que presentaron mejor ajuste durante aplicación de CMB7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-2 Listado de perfiles seleccionados desde base de datos P_PROFIL.BDF

| Identificación | Denominación | Tipo de Fuente |
|----------------|--------------|---|
| 11213 | EXTCOMB | Combustión Externa de Carbón |
| 13501 | RESOILCO | * Combustión de Petróleo Residual |
| 20501 | ZINC | * Horno Oxidos de Zinc |
| 25408 | FERTILIZ | Producción de Fertilizantes |
| 25410 | AMSULPRO | * Sulfato de Amonio (especie individual) |
| 27102 | GLASS | * Horno Fundición de Vidrio |
| 27204 | PORTLAND | * Polvo de Cemento Portland |
| 27205 | CEMBALL | * Polvo de Molinos de Cementos |
| 29101 | ALUMPRO | Producción de Aluminio |
| 29502 | SECOPPER | * Pirometalurgia de Cobre Secundario |
| 31101 | LDUTYVL | * Vehículos Livianos a gasolina con Plomo 1 |
| 31106 | LDUTYL | Vehículos Livianos a gasolina con Plomo 2 |
| 31201 | LDUTYVUL | Vehículos Livianos a gasolina sin Plomo |
| 32202 | HDUTYDI | * Vehículos Pesados Diesel 1 |
| 32207 | HDUTYD | Vehículos Pesados Diesel 2 |
| 33011 | HIGHWAY | * Emisiones de Vehículos en carreteras |
| 34005 | MOTOROIL | Aceite de Motores |
| 31137 | PRDUST | * Polvo Calles Pavimentadas |
| 31220 | UPRDUST | Polvos Calles sin Pavimentar |
| 41351 | SOILDUST | Polvo de Suelos |
| 42303 | REWOODCO | Combustión de Leña en Residencias |
| 42322 | FBURNA | * Quema de Vegetación – Anual |
| 42323 | FBURNP | * Quema de Vegetación – Perennes |
| 42324 | FBURNF | Quema de Vegetación – Festuca |
| 42303 | REWOODST | Estufas a Leña Residenciales |
| 43101 | MARIN | * Aerosol Marino |
| 43309 | ECRUST | Polvo Corteza Terrestre |
| 90001 | SOLWASTE | Desechos Sólidos |
| 90015 | PULPAPER | Industrias de Celulosa y Papel |

* Perfiles que presentaron mejor ajuste durante aplicación de CMB7 Fuente: Elaboración Propia

Durante la aplicación de CMB7 a cada una de las muestras ambientales, fracciones fina y gruesas del MP10, sólo algunos perfiles fueron presentando un buen ajuste, estos perfiles se indican con un * en la tabla anterior.

Se realizaron corridas considerando exclusivamente perfiles de las bases de US EPA y corridas en las cuales se mantuvo fijo el perfil de polvo de calles de Santiago, denominado como **STGO**.

CMB7 cuenta con algunos indicadores que permiten ir verificando la calidad de los ajustes y elegir los perfiles más adecuados. Entre estos indicadores destacan:

- STDERR (error standard): Indicador de la precisión o incerteza de estimación de la contribución para cada fuente. Este valor debe ser mucho menor que la contribución de la fuente.
- TSTAT (t-statistic): Corresponde a la razón entre la contribución de la fuente estimada y el error standard. Es deseable que este valor sea menor que 2.0
- R-SQUARE (R^2): Estadístico que determina la varianza en las concentraciones de las especies ambientales explicadas por las concentraciones calculadas de especies. Es deseable que este valor sea entre 0.8 y 1.0.

- CHI-SQUARE: Estadístico similar a R-SQUARE, excepto que esta también considera las incertezas de las concentraciones calculadas de las especies. Un valor alto de CHI-SQUARE significa que el modelo no ha explicado bien las concentraciones de las especies. Es deseable un valor entre 0.0 y 4.0
- PERCENT MASS: Estadístico que indica el porcentaje de la masa ambiental (corresponde a la suma de las contribuciones de las fuentes). Valor deseable 100% ± 20%.
- RATIO C/M: Razón entre lo calculado y lo medido, por cada especie. Valor deseable entre 0.5 y 2.0.
- RATIO R//U: Razón entre la diferencia Calculado-medido dividido por la diferencia de las incertezas. Valor deseable entre -2.0 y 2.0.

Para facilitar la interpretación de los resultados los perfiles con mejor ajuste (marcados con * en Tabla 4-1) se agruparon en las categorías presentadas en la siguiente Tabla:

Tabla 4-3 Categorías de fuentes emisoras de material particulado

| Categoría | Perfiles |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Vehículos Pesados Diesel | HDUTYDI |
| Veh. Livianos a gasolina con Plomo | LDUTYVL, HIGHWAY |
| Quema de Vegetación | FBURNA, FBURNP, VBRN1, VBRN2 |
| Sulfato | AMSULPRO, SO4 |
| Polvo Calles Pavimentadas | PRDUST, CEMBALL, PORTLAND |
| Polvo de suelo | CDUST, SOILDUST, UPRDUST |
| Polvo de calles de Santiago | STGO |
| Aerosol marino | MARIN |
| Procesos Industriales Varios | GLASS, SECOPPER, RESOILCO, ZINC |

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Resultados de aplicación de CMB7

De acuerdo a las categorías presentadas en la Tabla 4-3 los resultados obtenidos para cada una de las muestras ambientales considerando exclusivamente perfiles de las bases de datos de US EPA se resumen en la Tabla 4-4 y la Tabla 4-5.

La Tabla 4-6 presenta para la fracción gruesa del MP10 el porcentaje de aporte de las distintas fuentes considerando fijo Polvo de Calles de Santiago. Para la fracción Fina y muestras (fracciones fina y gruesa) obtenidas en La Dehesa y Talagante el perfil de Polvo de calles de Santiago correlaciona negativamente por lo cual los resultados no son presentados manteniendo los ajustes considerando solamente perfiles US EPA.

Tabla 4-4 Porcentaje de aporte de fuentes contaminantes, partículas menores que 2.5 µ (fracción fina)

| Muestra (lugar) | Fecha | Conc. muestras | Vehículos Pesados Diesel | Veh. Livianos a gasol. con Plomo | Quema de Vegetación | Sulfato | Polvo Calles Pavimentadas | Polvo de suelo | Procesos Industriales Varios | % masa Sin explicar |
|-----------------|------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|---------|---------------------------|----------------|------------------------------|---------------------|
| | | µg/m ³ | % | % | % | % | % | | % | % |
| A | 01-09-1993 | 89.9 | 34.0 | 4.2 | 8.0 | 15.7 | | | 1.9 | 38.2 |
| A | 11-09-1993 | 91.3 | 34.5 | 4.4 | 34.0 | 10.2 | | | 0.7 | 16.8 |
| A | 30-12-1993 | 43.6 | 46.4 | 2.7 | 24.9 | 13.9 | 4.7 | | 1.4 | 7.4 |
| A | 01-03-1994 | 30.0 | 69.7 | 2.1 | 20.9 | 12.7 | | | 1.2 | -5.4 |
| A | 01-04-1994 | 27.7 | 103.9 | 2.8 | 19.4 | 12.1 | | | 1.7 | -38.2 |
| A | 01-05-1994 | 50.7 | 66.4 | 2.1 | 20.6 | 11.0 | | | 2.2 | 0.0 |
| B | 01-09-1993 | 82.0 | 24.9 | 7.4 | 28.7 | 18.0 | | | 1.7 | 21.0 |
| B | 11-09-1993 | 73.5 | 38.0 | 6.9 | 31.6 | 14.0 | | | 1.0 | 9.5 |
| B | 01-06-1994 | 29.5 | 71.0 | 5.9 | 13.9 | 5.5 | 4.4 | | 1.2 | -0.6 |
| C | 01-09-1993 | 86.1 | 41.2 | 3.4 | 26.5 | 10.1 | | | 7.5 | 18.9 |
| C | 11-09-1993 | 73.3 | 33.6 | 3.3 | 7.1 | 12.7 | | | 0.8 | 43.4 |
| D | 01-09-1993 | 91.4 | 80.3 | 4.8 | 7.9 | 11.1 | | | 1.2 | -4.2 |
| D | 11-09-1993 | 107.8 | 49.3 | 7.9 | 8.9 | 8.0 | | | 0.5 | 25.8 |
| D | 30-12-1993 | 30.7 | 23.0 | 17.4 | 31.1 | 15.4 | 9.8 | | 1.4 | 3.3 |
| D | 01-03-1994 | 19.2 | 23.3 | 12.1 | 33.0 | 16.6 | 11.4 | | 0.9 | 3.7 |
| D | 01-04-1994 | 20.5 | 11.5 | 1.3 | 34.7 | 14.7 | 25.0 | | 2.2 | 12.8 |
| D | 01-05-1994 | 38.3 | 9.9 | 13.3 | 27.5 | 12.0 | 21.6 | | 1.4 | 15.8 |
| M | 01-09-1993 | 55.8 | 74.7 | 5.6 | 4.7 | 21.3 | | | 2.4 | -6.3 |
| M | 11-09-1993 | 58.4 | 40.9 | 2.0 | 34.4 | 14.4 | | | 0.5 | 8.2 |
| La Dehesa | 30-12-1993 | 37.3 | 61.9 | 1.2 | 8.2 | 18.8 | | | 0.7 | 9.9 |
| La Dehesa | 01-03-1994 | 23.0 | 74.6 | 1.6 | 10.3 | 9.4 | | | 4.4 | 4.1 |
| La Dehesa | 01-04-1994 | 25.7 | 71.2 | 1.3 | 10.3 | 12.4 | | | 0.7 | 4.8 |
| Talagante | 30-12-1993 | 18.7 | 48.3 | 0.4 | 19.0 | 29.4 | | 2.7 | 0.4 | 0.2 |
| Talagante | 01-03-1994 | 12.8 | 7.0 | 0.3 | 37.7 | 34.1 | | 4.6 | 1.0 | 16.3 |
| Talagante | 01-04-1994 | 14.9 | 6.3 | 0.3 | 41.5 | 22.2 | | 7.7 | 0.1 | 22.1 |
| Talagante | 01-05-1994 | 23.7 | 6.9 | | 62.5 | 10.6 | | 2.8 | 0.0 | 17.2 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-5 Porcentaje de aporte de fuentes contaminantes, partículas entre 2.5 µ y 10 µ (fracción gruesa)

| Muestra (lugar) | Fecha | Conc. muestras | Polvo Calles Pavimentadas | Polvo de Suelo | Veh. Livianos a gasol. con Plomo | Quemas de vegetación | Aerosol marino | Procesos Industriales Varios | Masa Sin explicar |
|-----------------|------------|-------------------|---------------------------|----------------|----------------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|-------------------|
| | | µg/m ³ | % | % | % | % | % | % | % |
| A | 01-09-1993 | 57.7 | 55.4 | 14.1 | 0.9 | | | 0.4 | 29.1 |
| A | 11-09-1993 | 49.9 | 63.1 | 19.5 | 1.8 | | | 0.4 | 15.3 |
| A | 30-12-1993 | 49.2 | 50.8 | 36.0 | 0.6 | | | 0.3 | 12.4 |
| A | 01-03-1994 | 41.1 | 42.7 | 42.6 | 0.4 | | | 0.2 | 14.0 |
| A | 01-04-1994 | 42.0 | 49.0 | 36.0 | 0.4 | | | 0.2 | 14.4 |
| A | 01-05-1994 | 57.2 | 58.5 | 30.9 | 0.4 | | | 0.2 | 10.0 |
| B | 01-09-1993 | 48.3 | 66.9 | 13.2 | 2.3 | | | 0.9 | 16.7 |
| B | 11-09-1993 | 41.0 | 63.8 | 21.9 | 3.0 | | | 0.8 | 10.5 |
| B | 01-06-1994 | 51.2 | 54.7 | 36.3 | 0.8 | | | 0.2 | 7.9 |
| C | 01-09-1993 | 60.7 | 56.2 | 13.0 | 1.0 | | | 0.4 | 29.5 |
| C | 11-09-1993 | 36.7 | 63.7 | 25.3 | 1.2 | | | 0.5 | 9.3 |
| D | 01-09-1993 | 102.4 | 55.4 | 19.8 | 0.8 | | | 0.3 | 23.8 |
| D | 11-09-1993 | 115.3 | 49.4 | 25.6 | 1.3 | | | 0.3 | 23.4 |
| D | 30-12-1993 | 38.4 | 37.3 | 46.2 | 0.3 | | | 0.2 | 16.0 |
| D | 01-03-1994 | 40.4 | 20.9 | 55.0 | 0.1 | | | 0.1 | 23.9 |
| D | 01-04-1994 | 49.2 | 32.6 | 47.3 | 0.1 | | | 0.0 | 19.9 |
| D | 01-05-1994 | 102.0 | 29.1 | 48.6 | 0.0 | | | 0.0 | 22.2 |
| M | 01-09-1993 | 37.6 | 9.2 | 22.3 | 44.7 | | | 0.4 | 23.4 |
| M | 11-09-1993 | 36.0 | 29.5 | 19.7 | 0.6 | | | 8.9 | 41.4 |
| La Dehesa | 30-12-1993 | 46.7 | 39.7 | 38.4 | 0.4 | | | 0.2 | 21.3 |
| La Dehesa | 01-03-1994 | 41.3 | 33.4 | 43.8 | 0.4 | | | 0.2 | 22.3 |
| La Dehesa | 01-04-1994 | 45.2 | 34.2 | 44.1 | 0.4 | | | 0.2 | 21.1 |
| Talagante | 30-12-1993 | 35.4 | | 77.5 | | | 2.3 | | 20.2 |
| Talagante | 01-03-1994 | 34.7 | 4.5 | 52.0 | | 40.0 | 3.2 | | 0.4 |
| Talagante | 01-04-1994 | 51.8 | | 44.3 | | 40.3 | 2.0 | | 13.5 |
| Talagante | 01-05-1994 | 37.3 | 4.9 | 62.4 | | 30.4 | | | 2.3 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-6 Porcentaje de aporte de fuentes contaminantes, partículas entre 2.5 μ y 10 μ (considerando perfil STGO)

| Muestra (lugar) | Fecha | Conc. muestras | Polvo Calles Santiago | Polvo calles sin pavimentar | Veh. Livianos a gas. con Plomo | Quemas de vegetación | Procesos Industriales Varios | Masa Sin explicar |
|-----------------|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|
| | | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | % | % | % | | % | % |
| A | 01-09-1993 | 57.7 | 41.3 | 23.6 | 0.8 | | 0.3 | 34.0 |
| A | 11-09-1993 | 49.9 | 55.5 | 21.4 | 1.7 | | 0.2 | 21.2 |
| A | 30-12-1993 | 49.2 | 80.5 | | | 20.2 | | -0.8 |
| A | 01-03-1994 | 41.1 | 58.3 | 20.2 | | 30.2 | | -8.8 |
| A | 01-04-1994 | 42.0 | 61.0 | 15.7 | | 22.9 | | 0.5 |
| A | 01-05-1994 | 57.2 | 80.5 | | | 16.9 | | 2.6 |
| B | 01-09-1993 | 48.3 | 37.7 | 39.2 | 2.2 | | 0.8 | 20.2 |
| B | 11-09-1993 | 41.0 | 58.9 | 21.3 | 2.9 | | 0.6 | 16.3 |
| B | 01-06-1994 | 51.2 | 84.9 | | | 16.3 | | -1.2 |
| C | 01-09-1993 | 60.7 | 36.7 | 28.1 | 0.9 | | 0.3 | 34.0 |
| C | 11-09-1993 | 36.7 | 62.2 | 20.9 | 1.1 | | 0.3 | 15.5 |
| D | 01-09-1993 | 102.4 | 50.3 | 19.9 | 0.6 | | 0.2 | 29.0 |
| D | 11-09-1993 | 115.3 | 66.5 | | 1.1 | | 0.1 | 32.2 |
| D | 30-12-1993 | 38.4 | 55.0 | 22.7 | | 18.2 | | 4.0 |
| D | 01-03-1994 | 40.4 | 31.0 | 35.3 | | 28.6 | | 5.1 |
| D | 01-04-1994 | 49.2 | 34.7 | 35.7 | | 12.7 | | 16.9 |
| D | 01-05-1994 | 102.0 | 23.1 | 41.7 | | 10.3 | | 24.9 |
| M | 01-09-1993 | 37.6 | 66.8 | | | | 0.2 | 33.0 |
| M | 11-09-1993 | 36.0 | 45.1 | | 0.5 | | 8.4 | 46.1 |

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Análisis e interpretación de resultados

No se encontró una correlación entre porcentajes de aporte de cada una de las categorías de fuentes emisoras y las concentraciones de las fracciones fina y gruesa. Es decir, ante un aumento o disminución de concentraciones no es posible determinar como variará o se comportará el porcentaje de aporte de las fuentes.

Considerando las fuertes variaciones estacionales para los niveles de material particulado y las diferencias entre los lugares de monitoreo se agruparon muestras para obtener un valor promedio con mayor representatividad de acuerdo a las siguientes denominaciones: Centro (mediciones en estaciones A, C y D), Las Condes (estación M), La Dehesa y Talagante, diferenciando además entre Invierno 1993 y Verano 1994.

Para la fracción fina de las muestras de Centro hay una reducción de un 63% entre el promedio de las concentraciones de Invierno 1993 y Verano 1994 de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De acuerdo a lo presentado en la Figura 4-2 en ambos períodos el principal aporte corresponde a Vehículos pesados Diesel (Buses y camiones) con un 42% en invierno y 47% en Verano. En Invierno hay un 19% de masa sin explicar que puede corresponder a aerosol secundario o material semivolátil el cual no es determinado por el método CMB7. En Verano hay un aporte de 13% de calles pavimentadas y un mayor porcentaje de aporte de quemas vegetativas (25%). Sulfato representa un 12% en Invierno y 13% en Verano.

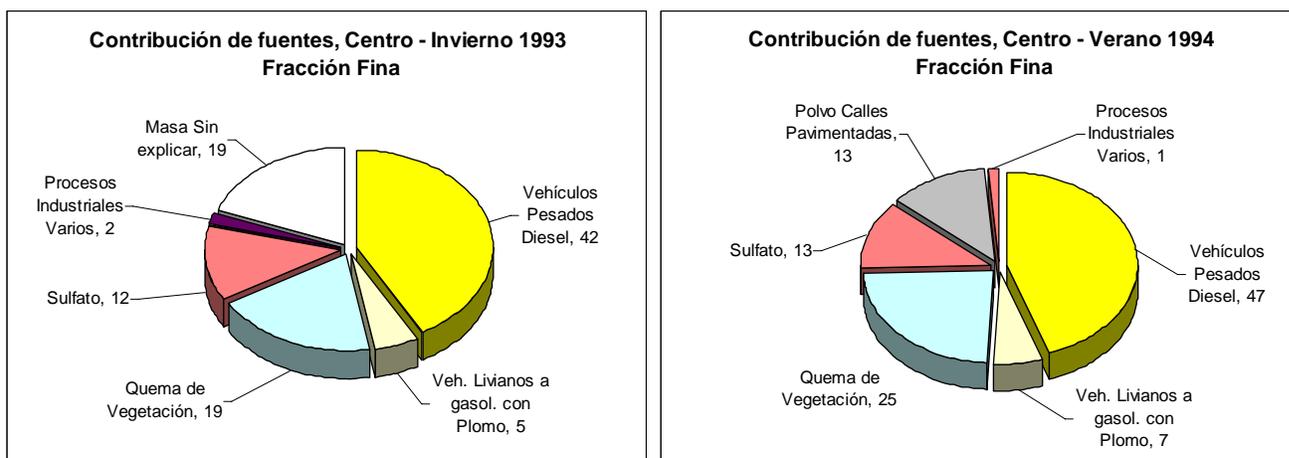


Figura 4-2 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción fina de MP10 medidas en zona centro de Santiago, período Invierno 1993 y Verano 1994

Considerando La Dehesa y Las Condes representativos del sector Oriente de Santiago se compara la fracción fina en Invierno en Las Condes con la obtenida en Verano en La Dehesa resultando la concentración durante Verano un 50% menor a la registrada en Invierno ($57 \mu\text{g}/\text{m}^3$). De acuerdo a lo presentado en la Figura 4-3 en ambos períodos el principal aporte corresponde a Vehículos pesados Diesel con un 58% en invierno y 69% en Verano, considerando que en estos lugares hay menor número de buses y camiones este mayor aporte respecto a Centro podría asociarse con transporte de masas contaminadas desde el Centro principalmente durante la tarde. La estación de La Dehesa está ubicada en un lugar lejano al impacto de calles pavimentadas y con baja circulación de vehículos lo cual explica que no aparezca un aporte de esta fuente a diferencia del sector Centro. Sulfato tiene valor similar a

Centro con 18% en Invierno y 14% en Verano lo cual se asocia en parte a transformación gas SO₂ a partículas y transportado desde zona Centro.

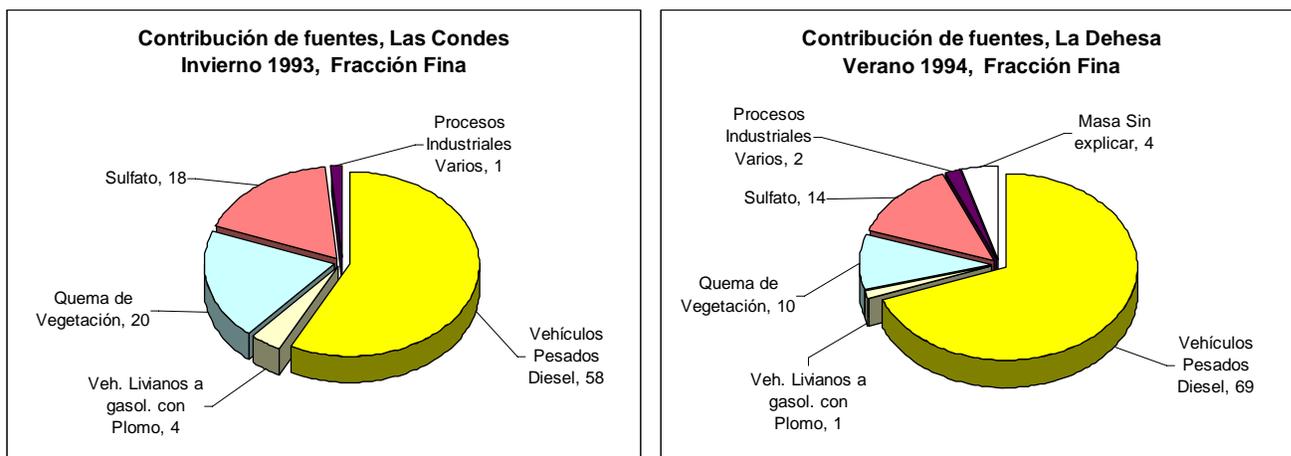


Figura 4-3 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción fina de MP10 medidas en La Dehesa, período Invierno 1993 y Verano 1994

Para Talagante, un sector rural, solamente hay disponible mediciones en Verano, período en el cual se registró un promedio de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un 46% menor al registrado en Centro de Santiago. El principal aporte para la fracción fina corresponde a Quema vegetativa con un 40%, le siguen Sulfato con 24% y Vehículos pesados diesel (probablemente maquinaria agrícola) con 17%. Sulfato podría estar asociado con fertilizantes (ver Figura 4-4).

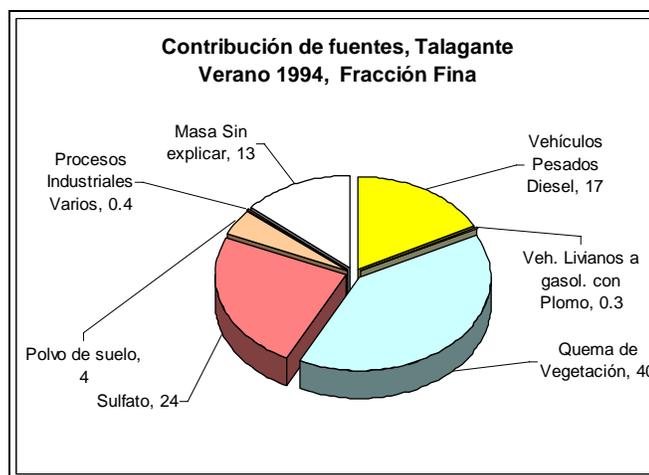


Figura 4-4 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción fina de MP10 medidas en La Dehesa, período Invierno 1993 y Verano 1994

Para las muestras de fracción gruesa de MP10 se realizaron 2 corridas del modelo, la primera sin considerar el perfil de polvo de calles de Santiago (que corresponde a un tipo de polvo de calles pavimentadas) y la segunda considerándolo fijo para cada una de las muestras.

Para Centro, el promedio de la fracción gruesa durante Invierno fue 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio en Verano se registró un promedio de 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al considerar el perfil de Polvo de calles de Santiago para Invierno en la zona Centro que aporta un 51% hay un leve aumento de la masa sin explicar de 20 a 22% y un aporte de Calles sin pavimentar (que corresponde a un tipo de polvo de suelo) de 25%. Al considerar solamente perfiles US EPA hay un aporte de 59% de Polvo de calles pavimentadas, 19% de Polvo de suelo y 2% de Vehículos livianos con plomo (ver Figura 4-5).

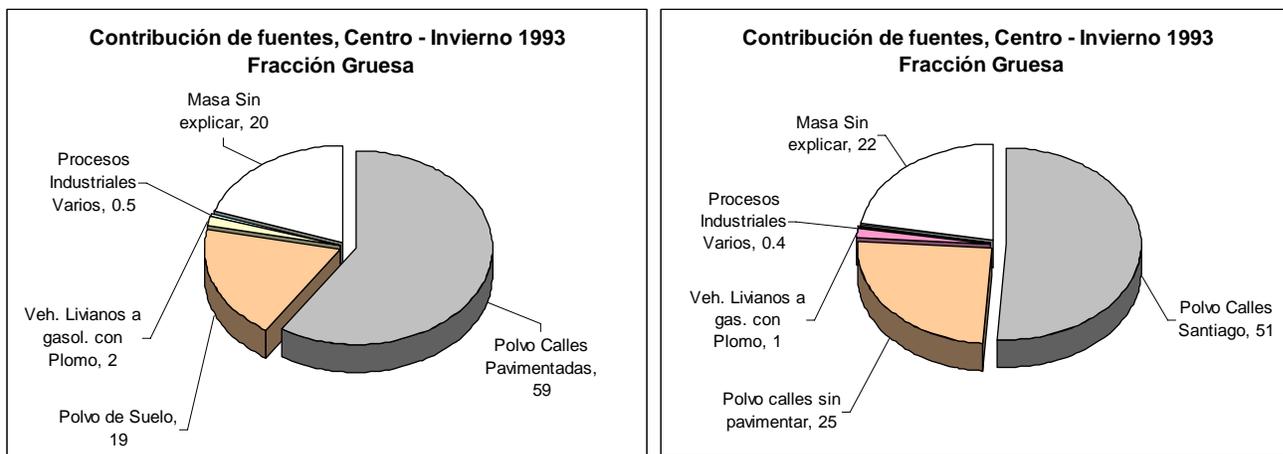


Figura 4-5 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción gruesa de MP10 medidas en zona Centro de Santiago, con y sin fuente de polvo de calles de Santiago, período Invierno 1993

En Verano, de acuerdo a la Figura 4-6, en la fracción gruesa de zona centro hay un aporte de 57% de Polvo de calles de Santiago con 29% de Polvo de suelo, 20% de Quemadas y un 5% de masa sin explicar. En cambio, al considerar sólo perfiles US EPA hay un aporte de 42% de Polvo de Suelo, 41.8% de Polvo de calles pavimentadas y un 16% de masa sin explicar.

Para la fracción gruesa en centro de Santiago considerando perfil Polvo de Calles de Santiago y considerando sólo perfiles US EPA se obtienen aportes similares, especialmente para la suma de aportes de Polvo de calles pavimentadas y Polvo de suelo cercana a 77% en ambos casos para meses de Invierno, menor al valor de 85% que se registra para meses de Verano.

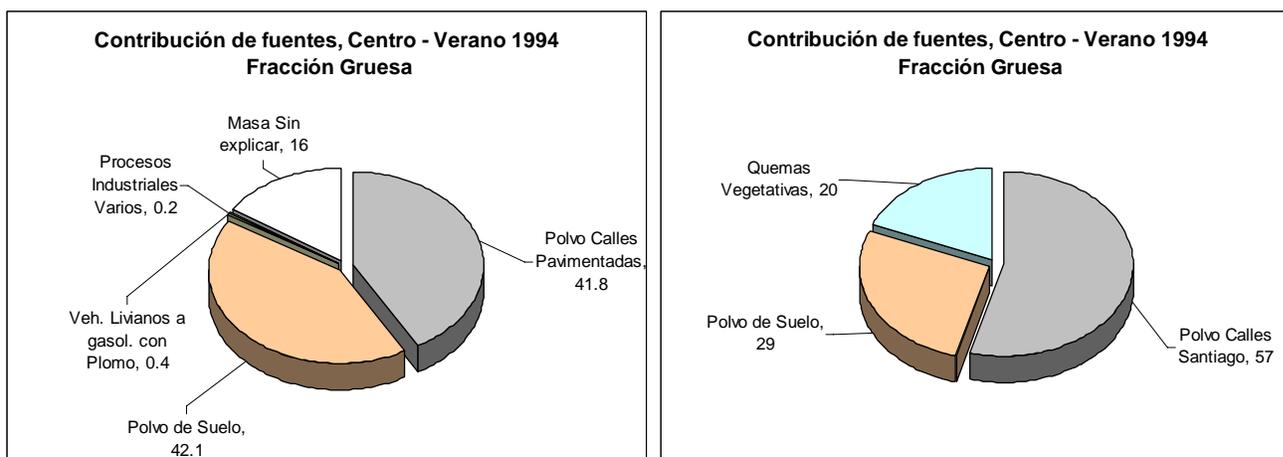


Figura 4-6 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción gruesa de MP10 medidas en zona Centro de Santiago, con y sin fuente de polvo de calles de Santiago, período Verano 1994

Para Las Condes, el promedio de la fracción gruesa durante Invierno fue $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un 43% menor al registrado en la zona Centro. De acuerdo a lo presentado en la Figura 4-7 al considerar el perfil de polvo de calles de Santiago que aporta un 56% hay un aumento en la masa sin explicar de 32% a 39% y el porcentaje de aporte de Vehículos con gasolina con Plomo disminuye bruscamente de 23% a 0.5%, en cambio al considerar sólo perfiles US EPA hay un aporte de 19% de Calles pavimentadas y 21% de polvo de suelo. En base a los porcentajes de aporte y considerando que las calles muestreadas corresponden a calles de la zona centro (Santa María, Av. La Paz, San Diego y Blanco Encalada) es apropiado considerar los resultados de la corrida sin considerar el aporte Polvo de Calles de Santiago el cual presenta interferencia (colinealidad) con polvo de Suelos y Vehículos con plomo.

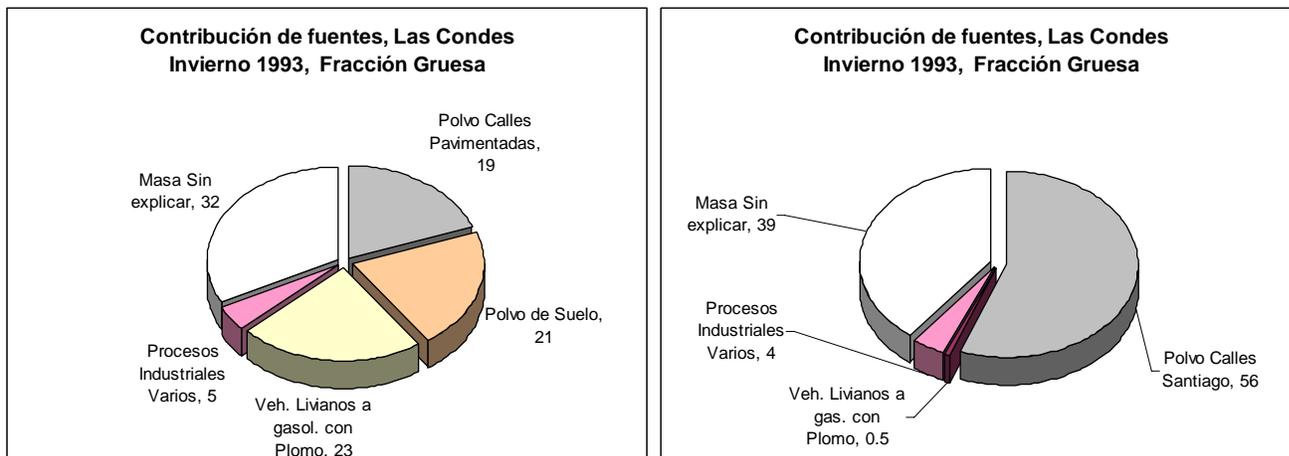


Figura 4-7 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción gruesa de MP10 medidas en Las Condes, con y sin fuente de polvo de calles de Santiago, período Invierno 1993

La fracción gruesa de MP10 tiene un promedio de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en La Dehesa y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Talagante para un período de Verano. En ambos lugares el uso de Perfil de Santiago no es apropiado por presentar colinealidad con otros perfiles y bajo aporte en forma individual.

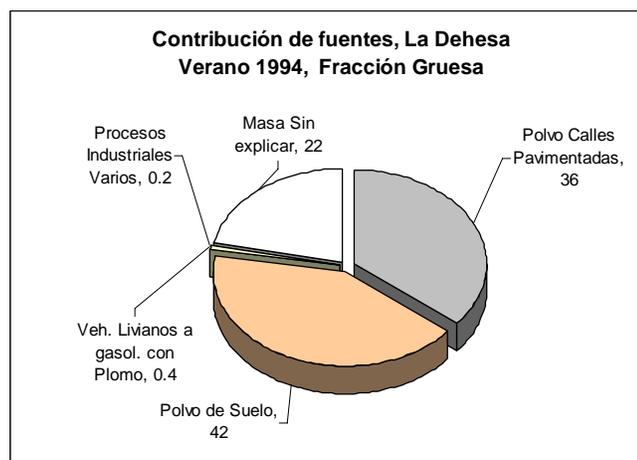


Figura 4-8 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción gruesa de MP10 medidas en zona Centro de Santiago, con y sin fuente de polvo de calles de Santiago, período Verano 1994

De acuerdo a la Figura 4-8 el principal aporte de la fracción gruesa en La Dehesa es Polvo de Suelo con 42% y Polvo de calles pavimentadas con 36% consistente con lo esperado para una zona en el borde urbano con levantamiento de polvo debido al movimiento de tierra durante la construcción de viviendas y transporte de polvo desde las calles del sector de La Dehesa. La masa sin explicar es 22% asociado a la falta de perfiles adecuados para el tipo de lugar.

De acuerdo a la Figura 4-9 para Talagante durante la campaña de Verano resulta justificable un fuerte aporte de Polvo de Suelo (59%), un aporte de Quemas Vegetativas (37%) y un bajo aporte de calles pavimentadas (en la zona solamente hay 2 calles pavimentadas). La cercanía del sector costero explica un aporte de Aerosol marino de 2%.

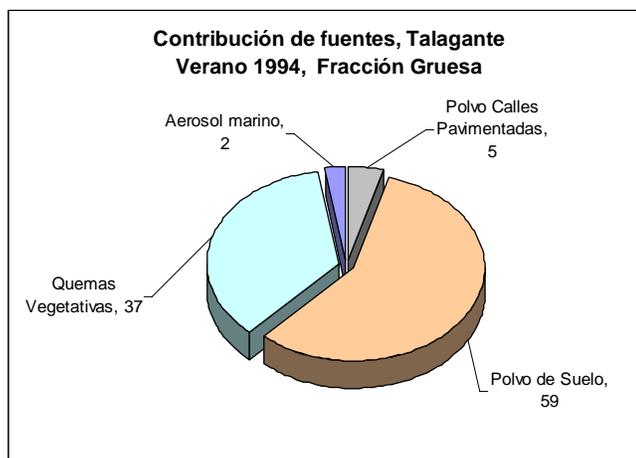


Figura 4-9 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de la fracción gruesa de MP10 medidas en Talagante, período Verano 1994

Los aportes para MP10 se calcularon sumando los aportes relativos de las fuentes a las fracciones fina y gruesa.

De acuerdo a la Figura 4-10 en la zona Centro el principal aporte durante Invierno corresponde a Vehículos diesel con 28% seguido de Polvo de calles pavimentadas (24%), Quema de vegetación (12%), Polvo de suelo (8%), Sulfato (8%) y Vehículos livianos a gasolina con Plomo (4%). En Verano, el principal aporte corresponde a Polvo de calles pavimentadas con 28% seguido de Polvo de Suelo (26%) y Vehículos diesel (19%).

Para Las Condes el principal aporte en las concentraciones de MP10 en invierno es Vehículos diesel (buses y camiones) con un 35% seguido de Polvo de calles pavimentadas con 16% y Quema de vegetación con 12% (ver Figura 4-11).

Para La Dehesa el principal aporte en las concentraciones de MP10 en Verano es Vehículos diesel (buses y camiones) con un 27% seguido de Polvo de Polvo de suelo con 22% y calles pavimentadas con 22% (ver Figura 4-12).

Para Talagante en Verano el principal aporte en las concentraciones de MP10 en invierno es Polvo de suelo con 42% seguido de Quema de vegetación con 32% (ver Figura 4-13).

En Centro, Las Condes, Talagante y La Dehesa hay un porcentaje de masa sin explicar entre 9% y 15% lo cual se puede atribuir a aerosol secundario y la falta de perfiles adecuados para el tipo de lugar.

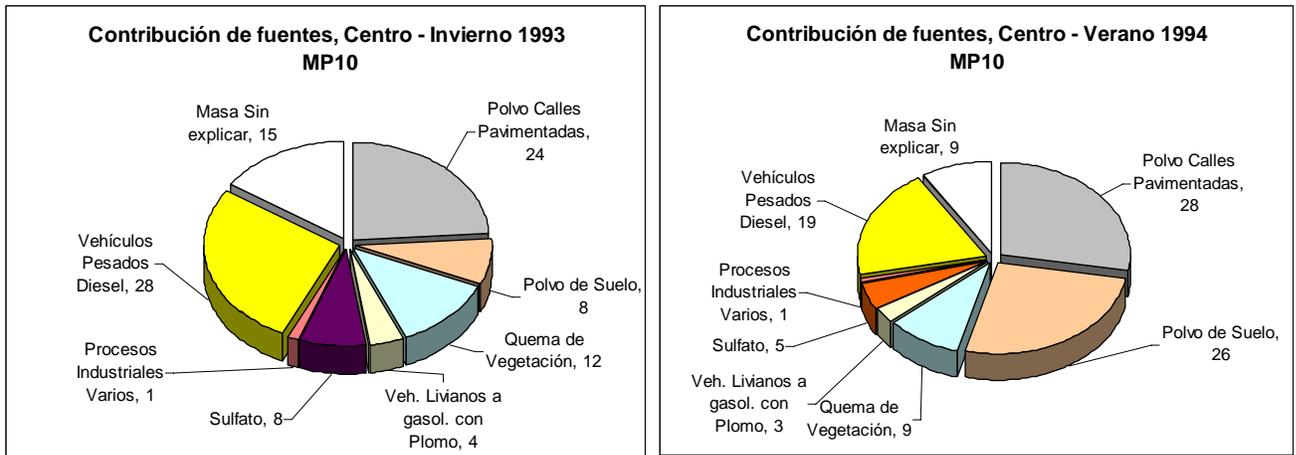


Figura 4-10 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de MP10 medidas en zona Centro de Santiago, período Invierno 1993 y Verano 1994

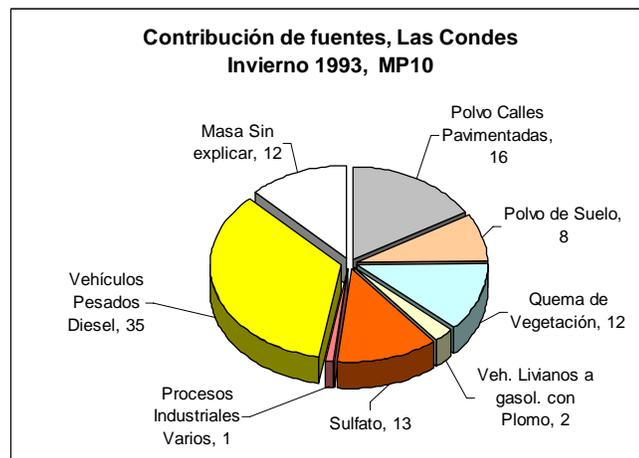


Figura 4-11 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de MP10 medidas en Las Condes, período Invierno 1993

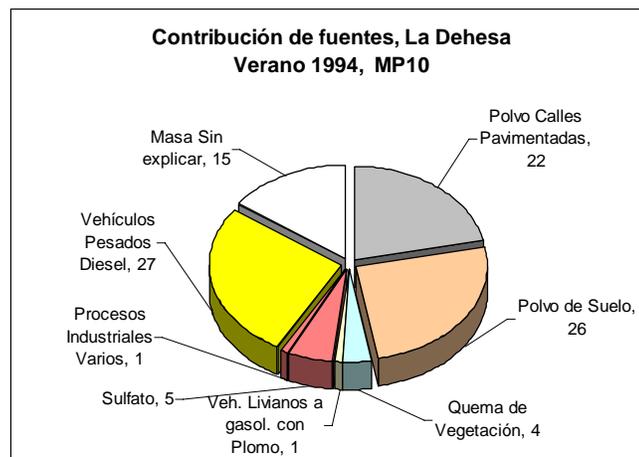


Figura 4-12 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de MP10 medidas en La Dehesa, período Verano 1994

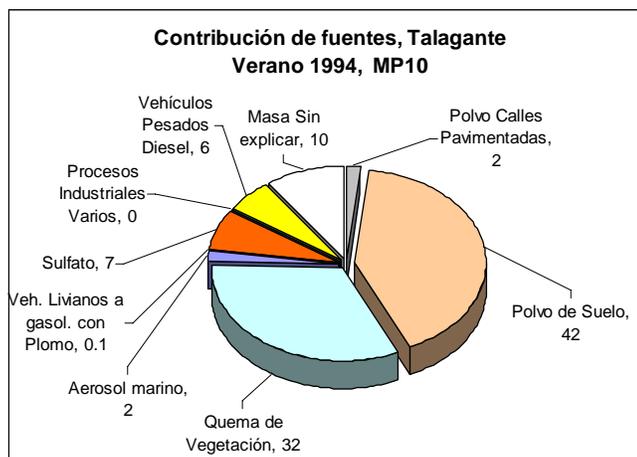


Figura 4-13 Contribución de fuentes de material particulado en las concentraciones de MP10 medidas en Talagante, período Verano 1994

4.5 Comparación de resultados con otras aplicaciones de Modelo Receptor

4.5.1 Comparación con otra aplicación de CMB7 en Santiago

Para Santiago, solamente se recopiló el trabajo realizado por Mancilla (1998) quien aplicó CMB7 al promedio de concentraciones de muestras ambientales obtenidas por Rojas *et al.* (1990) y Artaxo (1996). La aplicación de CMB7 utilizó perfiles especies químicas de fuentes obtenidos de la base SAMPLE.DBF de US EPA ante la ausencia de perfiles para fuentes emisoras de MP en Santiago.

a) Comparación entre resultados de 1987 y 1994 para Centro de Santiago

Las mediciones de Rojas *et al.* (1990) corresponden a fracciones Fina y Gruesa de MP10 realizadas con un muestreador dicótomo en el Planetario de la Universidad de Santiago entre el 15 de Enero y 26 de Febrero de 1987, es decir corresponde a mediciones que podrían caracterizar la zona centro de Santiago en período de Verano. Los aportes de la contribución de las fuentes emisoras para las fracciones Fina, gruesa y MP10 estimados para este lugar son comparados con los obtenidos para la zona centro durante Verano de 1994 (mediciones entre 31 de diciembre de 1993 y 6 de Enero de 1994 en las estaciones A, B y D de la red MACAM) en las figuras siguientes.

Existen fuertes diferencias entre los resultados obtenidos para la aplicación de CMB7 a muestras obtenidas en período de Verano entre 1987 y 1993. Las concentraciones promedios para las fracciones fina y gruesa del MP10 fueron $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1987. En cambio, en 1994 las concentraciones promedios fueron $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Las diferencias pueden atribuirse a los lugares de monitoreo y a los cambios asociados a la implementación de medidas de reducción de emisiones de MP10 entre ellas la licitación de recorridos de microbuses y limitación de emisiones en fuentes fijas. Otra posible causa es la metodología utilizada para aplicar CMB7, Mancilla utilizó para 1987 una muestra promedio de fracciones fina, gruesa y MP10. En cambio, este trabajo utilizó muestras individuales y posteriormente se promediaron los resultados.

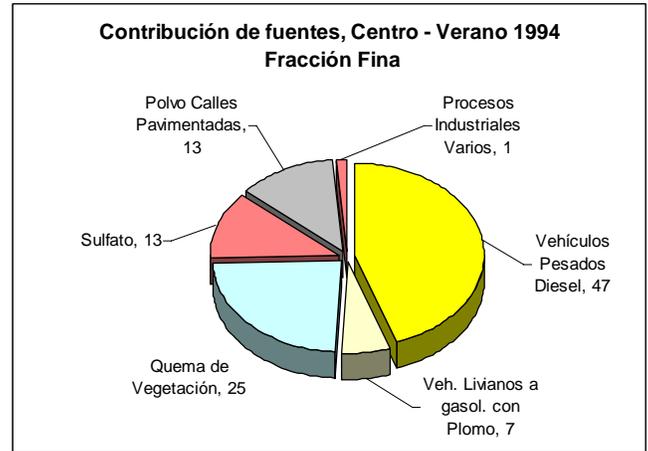
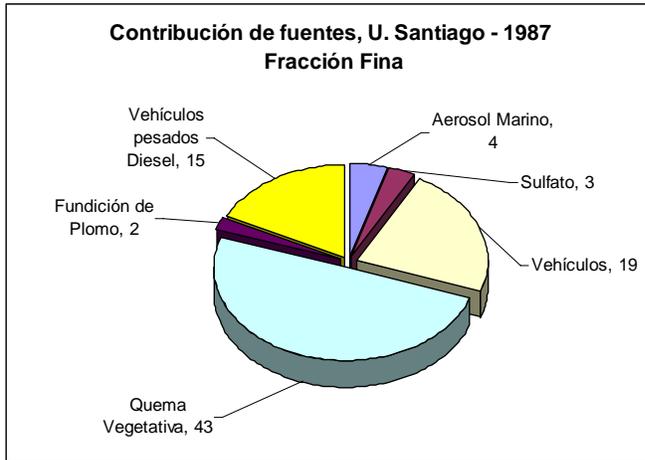


Figura 4-14 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con CMB7 para fracción fina de MP10 en centro de Santiago, período Verano 1987 y Verano 1994

Para la fracción fina, de acuerdo a la Figura 4-14, en el año 1987 el mayor porcentaje de aporte corresponde a Quema vegetativa con 43% que en parte podría corresponder a un mayor uso de leña como combustible en 1987 respecto de 1993. El aporte de vehículos pesados diesel (Buses y camiones) es mayor en 1993 con 47% y en 1987 se obtiene 15%, situación similar para Polvo de calles pavimentadas con 13% en 1993 y sin participación en 1987, lo cual podría explicarse por la cercanía de las estaciones de monitoreo a la zona de mayor densidad de microbuses y los trabajos de remodelación de la carretera Norte-Sur en el tramo centro, en cambio en 1987 el equipo de monitoreo se ubicó sobre un techo.

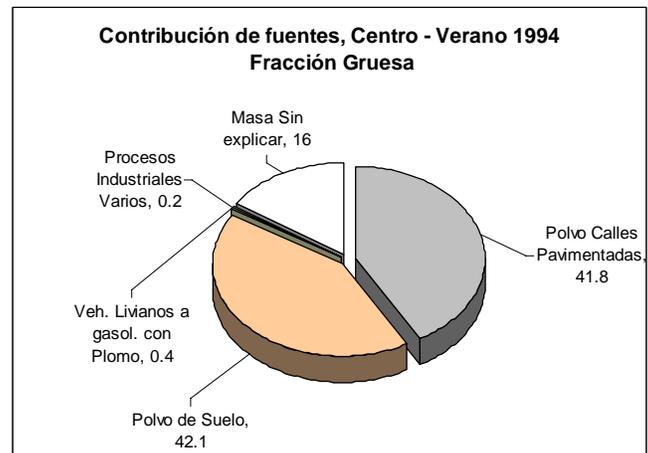
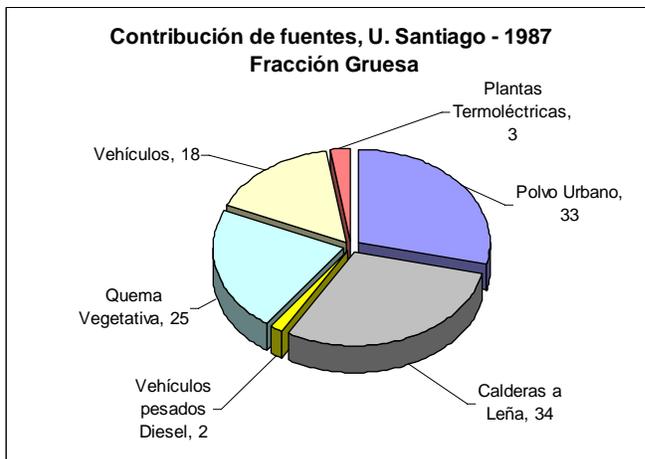


Figura 4-15 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con CMB7 para fracción gruesa de MP10 en centro de Santiago, período Verano 1987 y Verano 1994

Para la fracción gruesa, de acuerdo a la Figura 4-15, hay un aporte de 34% asociado a Calderas a leña y un 33% de Polvo urbano, en cambio para 1994 un 42% corresponde a Polvo de Suelo y un 42% a Polvo de Calles pavimentadas, situación que se puede atribuir a la mayor cantidad de polvo producto de los trabajos en la carretera Norte-Sur durante 1994 y el mayor uso de leña como combustible durante 1987.

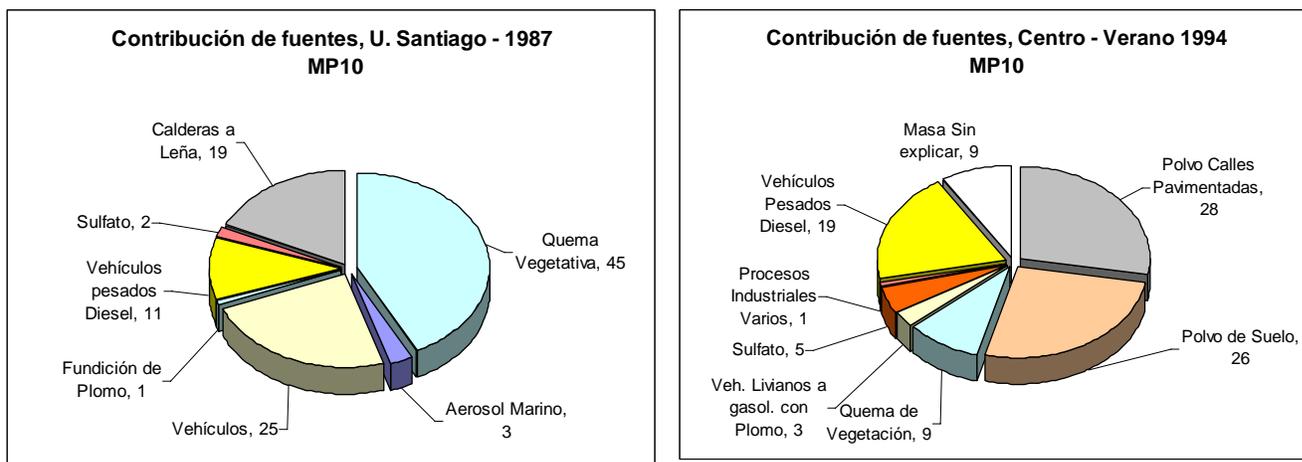


Figura 4-16 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con CMB7 para MP10 medidas en zona centro de Santiago, período Verano 1987 y Verano 1994

Los porcentajes para MP10 corresponden a la suma de los aportes relativos para las fracciones fina y gruesa (ver Figura 4-16). En 1987 el principal aporte corresponde a Quema Vegetativa con un 45% seguido de Vehículos livianos con un 25% y Calderas a leña con 19%, en cambio en 1994 los mayores aportes corresponden a Polvo de calles pavimentadas con 28%, Polvo de suelo con 26% y Vehículos pesados diesel con 19%.

b) Comparación resultados entre 1993 y 1996 en Plaza Gotuzzo

Las mediciones de Artaxo (1996) corresponden a fracciones Fina y Gruesa de MP10 realizadas en la estación Plaza Gotuzzo de la Red MACAM (sector centro de Santiago) con un muestreador gravimétrico denominado SFU (Stacked Filter Unit) entre el 3 de Julio y el 27 de Septiembre de 1996. Los aportes de la contribución de las fuentes emisoras para las fracciones Fina, gruesa y MP10 estimados para Gotuzzo por Mancilla (1998) son comparados con los obtenidos para la zona centro durante el fin del Invierno de 1993 (mediciones de 1 y 11 de septiembre de 1993 en la estación A de la red MACAM) en las figuras siguientes.

Existen fuertes diferencias entre los resultados obtenidos para la aplicación de CMB7 a muestras obtenidas en período de Invierno entre 1993 y 1996, lo cual puede ser producto de las diferencias entre las concentraciones promedios para las fracciones fina y gruesa del MP10 con valores de $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1993. En cambio en 1996 las concentraciones promedios fueron $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, estos últimos valores difieren además de las concentraciones promedios para el resto de las estaciones de la red MACAM durante el período de medición donde la fracción fina presenta una mayor concentración que la gruesa. Otra posible causa es la metodología utilizada para aplicar CMB7, Mancilla utilizó para 1996 una muestra promedio de fracciones fina, gruesa y MP10, en cambio este trabajo utilizó muestras individuales y posteriormente se promediaron los resultados.

Mancilla (1998) obtuvo para la fracción fina un aporte principal de 36% de Calles sin pavimentar, 35% de Quema vegetativa, 11% de Aerosol Marino, 9% de Vehículos con gasolina con plomo y 6% de Vehículos pesados diesel. Resulta extraño el alto porcentaje de aporte de Calles sin pavimentar el cual se asocia a la fracción gruesa y el bajo aporte de vehículos diesel. En cambio, para 1993 el principal aporte corresponde a Vehículos diesel con 34%, 21% de Quema vegetativa, 13% de Sulfato y un 28% de masa sin explicar asociado a Aerosol secundario y la falta de perfiles apropiados para un mejor ajuste (ver Figura 4-17).

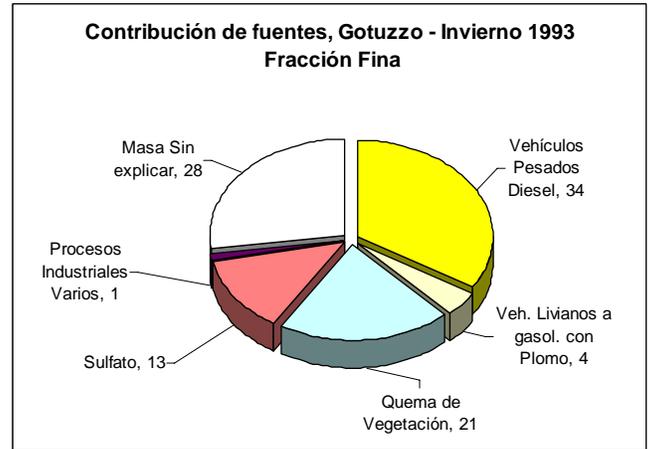


Figura 4-17 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con CMB7 para fracción fina de MP10 en centro de Santiago, período Inviernos 1996 y 1993

Para la fracción gruesa, Mancilla (1998) obtuvo un bajo aporte de 24% de Polvo urbano y un aporte principal de Vehículos con plomo de 45% y 25% de Quema vegetativa. No es coherente un aporte de 7% de Vehículos diesel ya que este perfil se asocia con la fracción fina. En cambio, para 1993 se obtuvo un aporte principal de 59% de Polvo de calles pavimentadas, 17% de Polvo de suelo y un 22% de masa sin explicar asociado a la falta de perfiles apropiados para un mejor ajuste (ver Figura 4-18).

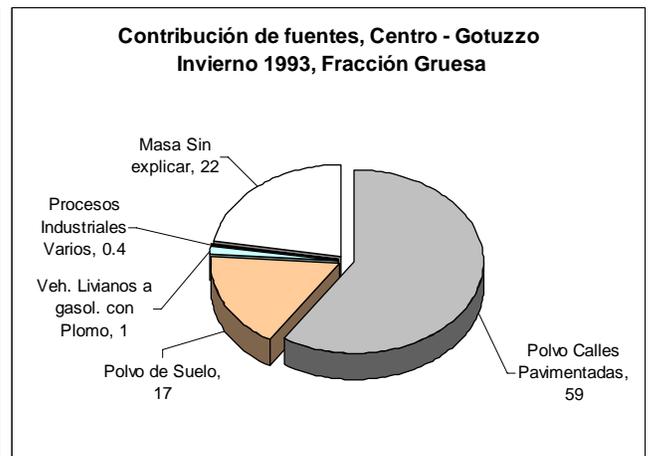
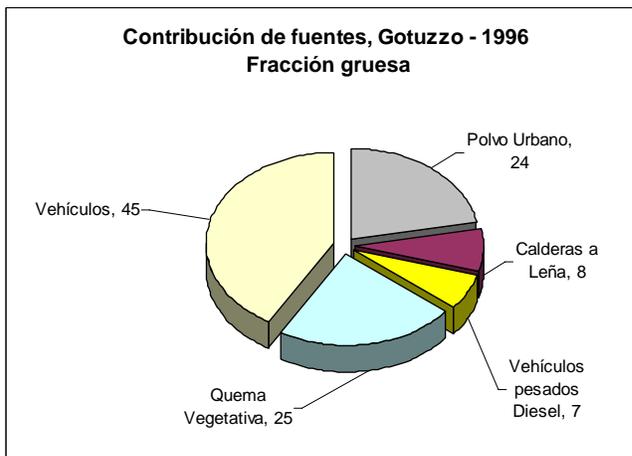


Figura 4-18 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con CMB7 para fracción gruesa de MP10 en centro de Santiago, período Inviernos 1996 y 1993

Los porcentajes para MP10 corresponden a la suma de los aportes relativos para las fracciones fina y gruesa (ver Figura 4-19). En 1996 el principal aporte corresponde a Vehículos livianos con 38% y Quema Vegetativa con un 34% seguido de Aerosol marino con 16%, Calles sin pavimentar con 11% y Vehículos diesel con 9%. En cambio, en 1996 los mayores aportes corresponden a Polvo de calles pavimentadas con 22% y Vehículos diesel con 22%, seguidos de Quema vegetativa con 13%, Sulfato con 8% y Polvo de suelo con 6%, la masa sin explicar corresponde a 25%.

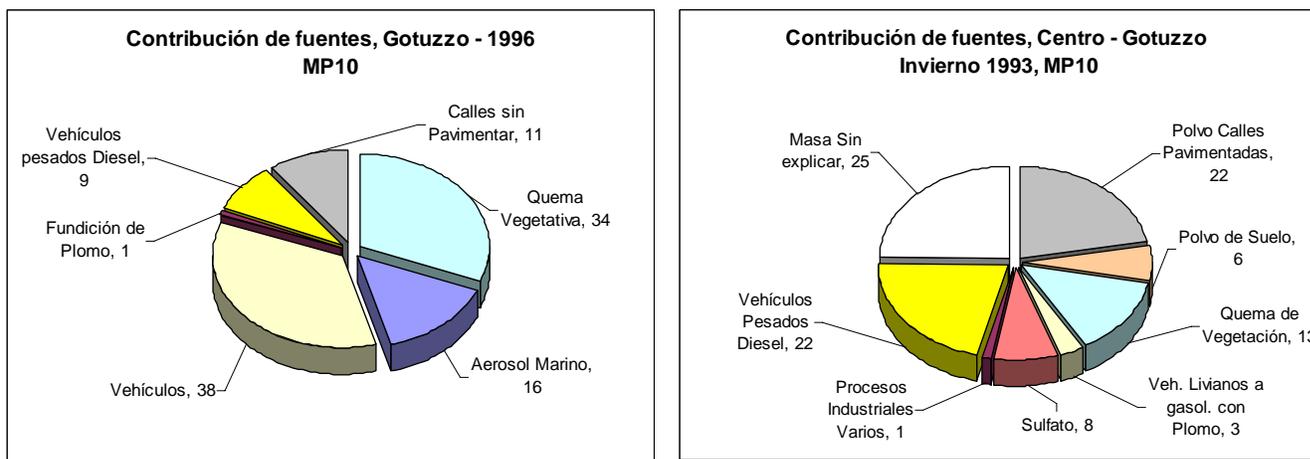


Figura 4-19 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con CMB7 para MP10 en zona centro de Santiago, período Inviernos 1996 y 1993

4.5.2 Comparación con resultados de aplicación de Análisis de Componentes Principales

Análisis de Componentes Principales (ACP) corresponde a un método estadístico de análisis multivariado que permite estimar el aporte de fuentes emisoras a partir de las concentraciones de especies químicas presentes en las muestras ambientales. En términos generales, el resultado corresponde a una serie de factores ortogonales (vectores propios), en los cuales se agrupan las especies químicas. Luego cada factor es asociado a una fuente o sector emisor, cuyo aporte es estimado en función de la varianza explicada por el factor. Para resultados confiables se requiere contar con una gran cantidad de muestras, al menos 50 (Hopke, 1985; Thurston and Spengler, 1985).

Artaxo (1998) aplicó ACP a muestras tomadas en estaciones M (Las Condes), D (Parque O'Higgins) y O (Pudahuel) de la red MACAM y en lugares fuera de Santiago (Talagante y Peldehue) entre el 15 de Julio y 20 de Agosto de 1998. Las muestras fueron recolectadas utilizando un equipo SFU. Los aportes estimados por Artaxo para Las Condes y Parque O'Higgins son comparados con los obtenidos al aplicar CMB7 a muestras recolectadas con dicótomo durante la campaña de los días 1 y 11 de Septiembre de 1993 en las estaciones D y M de la Red MACAM.

Existen diferencias entre los aportes estimados por ACP y CMB7, los cuales en parte pueden atribuirse a las diferencias en las concentraciones registradas tanto para la fracción fina como para la gruesa y a los cambios producidos en las fuentes emisoras. Entre 1993 y 1998 se ha producido un apreciable mejoramiento en los niveles de material particulado producto de la implementación de las medidas de control y reducción de emisiones que consideran reducción de las emisiones de las industrias, cambio de petróleo por gas natural, licitación de recorridos de buses, retiro de buses, restricción vehicular, etc.

Para la fracción Fina en Parque O'Higgins se obtuvo en la campaña de 1993 un promedio de $99.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio Artaxo obtuvo $39.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor menor a $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido con el equipo dicótomo de la red MACAM durante el mismo período.

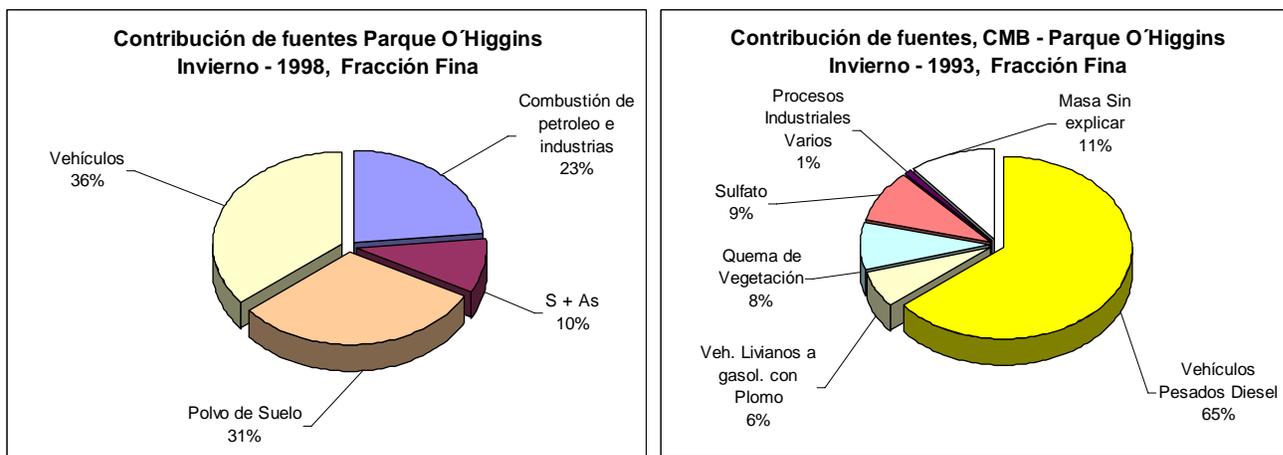


Figura 4-20 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con ACP y CMB para fracción fina de MP10 en centro de Santiago, período Inviernos 1998 y 1993

Artaxo aplicando ACP en 1998 obtuvo un aporte principal de 36% de emisiones vehiculares, 31% de Polvo de suelo, 10% de [S + As] asociado a fundiciones de cobre y 23% de combustión de petróleo más industrias. Aplicando CMB7 en 1993 se obtuvo un aporte principal de 65% de Vehículos diesel, 9% de Sulfato, 8% de Quema vegetativa, 6% de vehículos con Plomo y un 11% de masa sin explicar que podría corresponder a aerosol secundario y la falta de perfiles adecuados para un menor ajuste (ver Figura 4-20). Es necesario aclarar que Artaxo denomina Polvo de Suelos al polvo en general, sin distinguir si proviene de calles pavimentadas, sin pavimentar o polvo natural.

Para la fracción gruesa en Parque O'Higgins se obtuvo una concentración promedio de 109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la campaña de 1993 y 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las mediciones de Artaxo en 1998, valor bastante mayor a 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración promedio para el mismo período registrado en el dicótomo de la red MACAM.

Artaxo estimó aplicando ACP a las muestras de 1998 un aporte principal de 78% asociado a Polvo de suelo e industria, 9% de emisiones vehiculares y 13% de carbono orgánico y elemental (BC). En cambio, aplicando CM7 a las muestras de la campaña de 1993 se obtuvo un aporte principal de 52% de Polvo de calles pavimentadas y 23% de Polvo de suelo con una masa sin explicar de 24% asociada a la falta de perfiles adecuados para un mejor ajuste (ver Figura 4-21).

Para la fracción fina de las Condes se obtuvo una concentración promedio de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la campaña de 1993 y un promedio de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las mediciones de Artaxo en 1998, valor menor a 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido con equipo dicótomo para el mismo período en la estación M.

Artaxo estimó aplicando ACP a las muestras de 1998 de la fracción fina de Las Condes un aporte principal de 54% asociado a transporte de partículas desde el centro de Santiago, 30% de Polvo de suelo, 14% de [S + As] y 2% de combustión de petróleo. En cambio, aplicando CMB7 a las muestras de 1993 se obtuvo un aporte principal de 58% de Vehículos diesel, 20% de Quema vegetativa, 18% de Sulfato y 4% de Vehículos livianos (ver Figura 4-22).

Para la fracción gruesa en Las Condes se obtuvo una concentración promedio de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la campaña de 1993, valor similar al obtenido por Artaxo en 1998 con una concentración promedio de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el mismo período se obtuvo 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el dicótomo de la red MACAM.

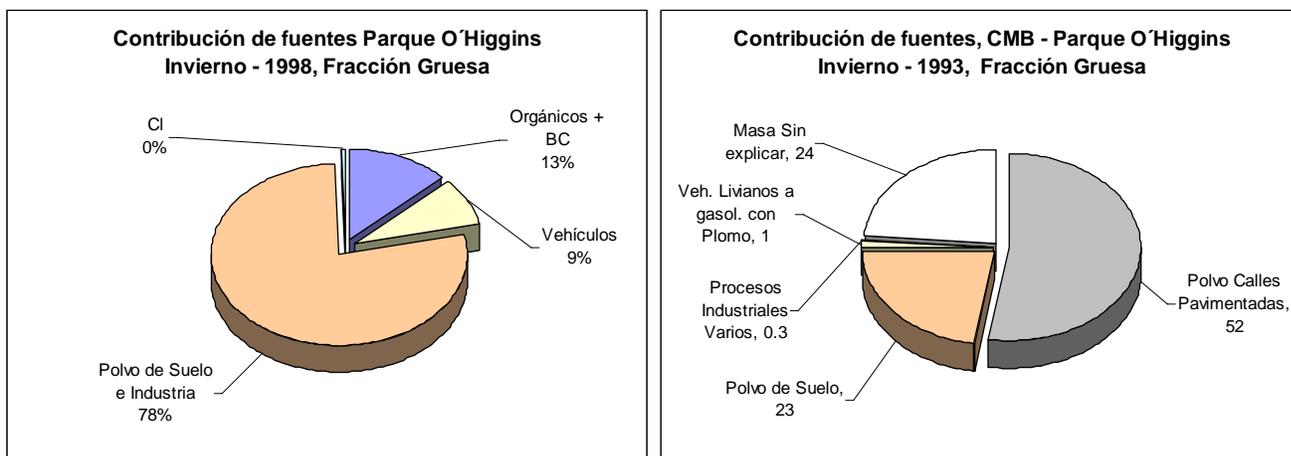


Figura 4-21 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con ACP y CMB para fracción gruesa de MP10 en centro de Santiago, período Inviernos 1998 y 1993

Artaxo aplicando ACP a las muestras de la fracción gruesa en Las Condes estimó un aporte principal de 66% asociado a Polvo de Suelo e industria, 22% de Combustión de petróleo y 12% de [S + Zn]. En cambio, aplicando CMB7 a las muestras de 1993 se obtuvo un aporte principal de 23% de vehículos livianos, 21% de Polvo de Suelo, 19% de Polvo de calles pavimentadas y un 32% de masa sin explicar asociado a la falta de perfiles adecuados para un mejor ajuste (ver Figura 4-23).

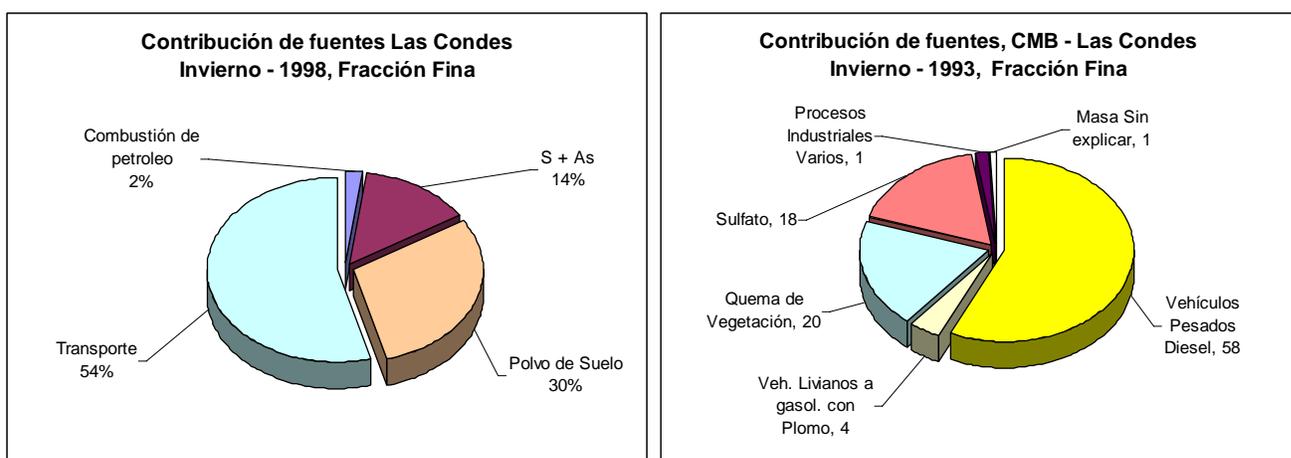


Figura 4-22 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con ACP y CMB para fracción fina de MP10 en Las Condes, período Inviernos 1998 y 1993

Los resultados obtenidos por Artaxo presentan agrupamientos de algunas fuentes lo cual es producto de una limitación del método ACP que en algunas ocasiones no permite un número mayor a 3 o 4 factores principales. El agrupamiento de fuentes dificulta la comparación con CMB7 que estima aportes de fuentes individuales.

Llama la atención el elevado porcentaje de aporte de Polvo de suelo en la fracción fina obtenido por Artaxo cercano a 30% en ambos lugares. En general este aporte es cercano a 10% ya que el polvo de Suelo es característico de la fracción gruesa, podría indicar acumulación de partículas mayores que 2.5 µm en la fracción fina.

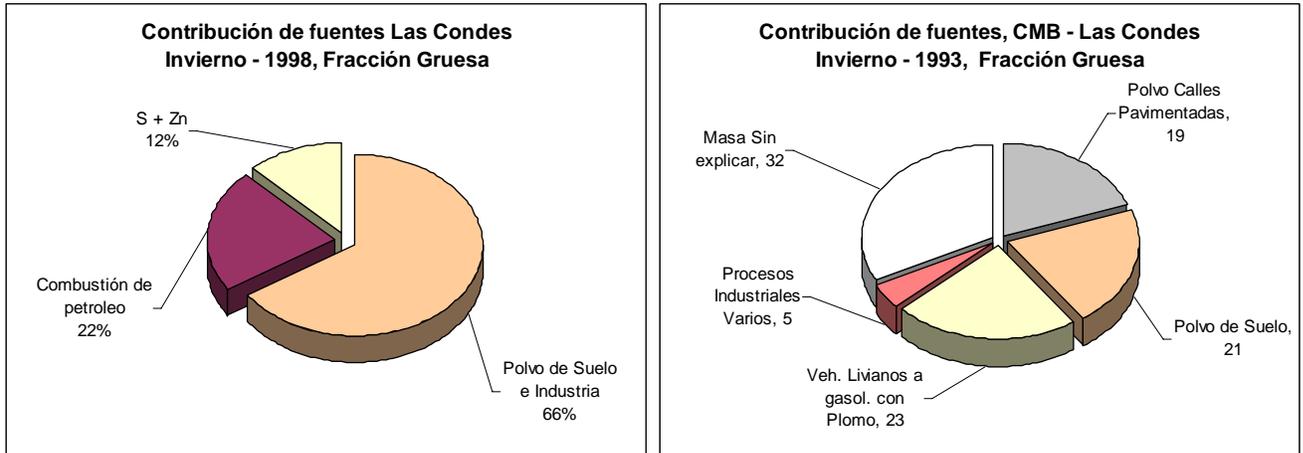


Figura 4-23 Comparación de contribución de fuentes de material particulado estimadas con ACP y CMB para fracción gruesa de MP10 en Las Condes, período Inviernos 1998 y 1993

El elevado porcentaje de aporte de Vehículos Diesel cercano a 60% en la fracción fina de 1993 debería tener un menor impacto hacia 1998 producto del mejoramiento del combustible, de la licitación de recorridos de buses y del retiro de buses antiguos con mayor emisión. En la aplicación de ACP por Artaxo la fuente Vehículos diesel está agrupada en emisiones vehiculares con un aporte de 36% para Parque O'Higgins y en "Tranporte" para Las Condes con un aporte de 54%.

Para la fracción gruesa el aporte principal corresponde a polvo, al agrupar las fuentes en 1993 para Parque O'Higgins se obtiene un aporte de 75% (Polvo de Suelo y Polvo de calles pavimentadas) similar al obtenido por Artaxo en 1998 de 78% para Polvo de Suelo e industria.

Para la fracción gruesa de Las Condes en 1993 la suma de Polvo de suelo y Polvo de calles pavimentadas es 40% menor al obtenido por Artaxo en 1998 con 66% para Polvo de Suelo e Industria. Es probable que parte de la diferencia del año 1993 respecto a 1998 esté incluida en el 32% de Masa sin explicar

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

Los muestreos exploratorios de MP10 con equipos gravimétricos de alto volumen en lugares no cubiertos por las mediciones de la Red MACAM indican que las concentraciones de MP10 durante meses de Invierno en promedio son al menos 2 veces mayores en un lugar ubicado en el centro de la ciudad respecto a un lugar ubicado en las afueras de la ciudad, especialmente en la zona de entrada de los flujos de aire a Santiago. Durante Agosto de 1993, el promedio de concentración de MP10 en el edificio de computación (Centro de Santiago) fue de $141 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Talagante (lugar ubicado a la entrada del flujo de aire a Santiago) fue de $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Septiembre de 1993 las concentraciones disminuyeron a $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, con valores máximos cercanos a $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Parque O'Higgins. Una primera aproximación es considerar que la diferencia entre las concentraciones es producto de las emisiones de MP10 generadas al interior de la ciudad.

Para las mediciones exploratorias durante meses de Verano se obtuvieron las siguientes concentraciones promedios:

- La concentración promedio de MP10 del período Diciembre de 2003 y Enero de 2004 en el Balneario de La Florida fue $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valor mayor a $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido en Parque O'Higgins (al costado SW de la elipse).
- La concentración promedio de MP10 del período 20 de Enero de 1994 al 15 de Marzo de 1994 en La Dehesa (zona semi-urbana de salida de los vientos que circulan por Santiago hacia el sector cordillerano) fue $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ similar al promedio de $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido en Lo Pinto (zona rural en el sector salida de los vientos hacia el sector N).
- La concentración promedio de MP10 del período 24 de Marzo de 1994 al 13 de Abril de 1994 en La Dehesa fue $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inferior al promedio de $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido en Calera de Tango (sector rural en la entrada de vientos a Santiago). Durante este período, las estaciones de la red MACAM registraron en algunas ocasiones concentraciones sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual demuestra que la zona urbana es la que registra mayores concentraciones de MP10, las cuales tienden a permanecer en el interior de la cuenca.

En la campaña de Invierno con equipos gravimétricos dicótomos el 1 y 11 de Septiembre de 1993 se obtuvo para los lugares de toma de muestras en el Centro de Santiago una concentración promedio de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Fina (menor a $2.5 \mu\text{m}$) y $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Gruesa (entre $2.5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$). En Las Condes se obtuvo una concentración promedio de $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Fina y $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Gruesa.

Durante la campaña de Verano con equipos gravimétricos dicótomos (31 de Diciembre de 1993 a 6 de Enero de 1994) se obtuvo en Centro de Santiago un promedio de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Fina y $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Gruesa. Además, se incluyeron mediciones en sectores a la entrada y salida de Santiago respecto a los vientos predominantes. En Talagante la concentración promedio fue $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Fina y $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Gruesa y en La Dehesa se obtuvo una concentración promedio de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Fina y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción Gruesa.

Al estudiar la relación fracción Fina/Gruesa de las mediciones realizadas, se obtiene que en Septiembre de 1993 la fracción Fina es aproximadamente 1.5 veces mayor que la fracción Gruesa, lo cual significa que hay un mayor peso de las fuentes de procesos de combustión en los niveles de concentración de MP10. En cambio, durante los meses de verano, meses en los cuales hay una mejor ventilación que favorece la dispersión de los contaminantes, la fracción Gruesa es mayor que la fracción Fina. Por otro lado, en los sectores alejados del centro de la

ciudad, con menor presencia de fuentes emisoras, como La Dehesa y Talagante, la fracción Gruesa es mayor que la Fina.

Los resultados de la aplicación de CMB7 a cada una de las muestras tomadas durante los días 1 y 11 de Septiembre de 1993 indican que la fracción Fina de MP10 se explica en alrededor de un 80%, principalmente por aportes de vehículos diesel, quema de material orgánico (vegetación), vehículos a gasolina con plomo y formación de sulfato. Para un mejor ajuste del modelo, se incluyen otras fuentes menores que aportan en conjunto menos del 2% de la masa. Para la fracción Gruesa, en general los resultados explican cerca del 90% de la concentración total. Los principales aportes (más del 80% de las concentraciones) corresponden a polvo del suelo y calles pavimentadas, otras fuentes menores, necesarias para un mejor ajuste del modelo, aportan en conjunto menos de un 3%.

Las campañas realizadas en Diciembre y Enero, incorporan 2 lugares adicionales: Talagante y La Dehesa. Para las muestras obtenidas en las estaciones de la red MACAM, se mantiene que la principal fuente en la fracción Fina son las emisiones de Vehículos Diesel con valores que alcanzan hasta un 70% en algunas muestras. Con aportes secundarios están las emisiones asociadas con Quemadas de vegetación, fuentes de Sulfato y en menor medida con emisiones de Polvo de suelo. En Talagante, el comportamiento es distinto, la fuente principal es Quemadas de vegetación con porcentaje entre 40% y 60%. Para la fracción Gruesa, los ajustes explican del orden de 80% de la masa. La fuente principal esta asociada a Polvo de suelos y Polvo de calles pavimentadas que juntos explican cerca del 70% de la masa.

Al introducir el perfil de polvo de calles obtenido para Santiago éste explica cerca del 70% de la masa. Sin embargo, el perfil polvo de calles de Santiago presenta colinearidad con otros perfiles (Polvo de suelo natural, Polvo de cemento, Quemadas vegetativas) que dejan de tener un buen ajuste, lo cual puede deberse a que el perfil de Santiago incorpora los elementos característicos o trazadores de esos perfiles.

Para la fracción Fina del promedio de las muestras de Centro de Santiago el principal aporte corresponde a Vehículos pesados Diesel (Buses y camiones) con un 42% en invierno y 47% en Verano. En Invierno hay un 19% de masa sin explicar que puede corresponder a aerosol secundario o material semivolátil el cual no es determinado por el método CMB7. En Verano hay un aporte de 13% de calles pavimentadas y un mayor porcentaje de aporte de quemadas vegetativas (25%). Sulfato representa un 12% en Invierno y 13% en Verano. Para la fracción Gruesa en promedio durante Invierno hay un aporte de 59% de Polvo de calles pavimentadas, 19% de Polvo de suelo y 2% de Vehículos livianos con plomo. En Verano hay un aporte de 42% de Polvo de Suelo, 41.8% de Polvo de calles pavimentadas y un 16% de masa sin explicar.

Para La Dehesa y Las Condes, lugares representativos del sector Oriente de Santiago, el principal aporte en la fracción Fina corresponde a Vehículos pesados Diesel con un 58% en invierno y 69% en Verano, considerando que en estos lugares hay menor número de buses y camiones este mayor aporte respecto a Centro podría asociarse con transporte de masas contaminadas desde el Centro principalmente durante la tarde. Sulfato tiene valor similar a Centro con 18% en Invierno y 14% en Verano lo cual se asocia en parte a transformación gas SO₂ a partículas y transportado desde zona Centro. Para Las Condes, la fracción Gruesa durante Invierno tiene un aporte de 23% de Vehículos con gasolina con Plomo, 21% de Polvo de suelo, de 19% de Calles pavimentadas y un 32% de masa sin explicar. En la Dehesa, la fracción Gruesa presenta un aporte durante Verano de 42% Polvo de Suelo y Polvo de calles pavimentadas con 36% consistente con lo esperado para una zona en el borde urbano con levantamiento de polvo debido al movimiento de tierra durante la construcción de viviendas y transporte de polvo desde las calles del sector, la masa sin explicar es 22% asociado a la falta de perfiles adecuados para el tipo de lugar.

Para Talagante, un sector rural, el principal aporte para la fracción Fina durante la campaña de Verano es Quema vegetativa con un 40%, Sulfato con 24% y Vehículos pesados diesel (probablemente maquinaria agrícola) con 17%. Sulfato podría estar asociado con fertilizantes. Para la fracción Gruesa hay un fuerte aporte de Polvo de Suelo (59%), un aporte de Quemadas Vegetativas (37%) y un bajo aporte de calles pavimentadas (en la zona sólo hay 2 calles pavimentadas). La cercanía del sector costero explica un aporte de Aerosol marino de 2%.

Los aportes para MP10 se calcularon sumando los aportes relativos de las fuentes a las fracciones Fina y Gruesa. Se obtuvo para cada lugar la siguiente participación:

- En la zona Centro el principal aporte durante Invierno corresponde a Vehículos diesel con 28% seguido de Polvo de calles pavimentadas (24%), Quema de vegetación (12%), Polvo de suelo (8%), Sulfato (8%) y Vehículos livianos a gasolina con Plomo (4%). En Verano, el principal aporte corresponde a Polvo de calles pavimentadas con 28% seguido de Polvo de Suelo (26%) y Vehículos diesel (19%).
- En Las Condes el principal aporte en las concentraciones de MP10 en invierno es Vehículos diesel (buses y camiones) con un 35% seguido de Polvo de calles pavimentadas con 16% y Quema de vegetación con 12%.
- En La Dehesa el principal aporte en las concentraciones de MP10 en Verano es Vehículos diesel (buses y camiones) con un 27% seguido de Polvo de Polvo de suelo con 22% y calles pavimentadas con 22%.
- En Talagante en Verano el principal aporte en las concentraciones de MP10 en invierno es Polvo de suelo con 42% seguido de Quema de vegetación con 32%.

En Centro, Las Condes, Talagante y La Dehesa hay un porcentaje de masa sin explicar entre 9% y 15% lo cual se puede atribuir a aerosol secundario y a la falta de perfiles adecuados para el tipo de lugar.

Los resultados de la estimación de aportes fueron comparados con una aplicación de CMB7 realizada por Mancilla (1998) a muestras promedios del sector Centro de Santiago en un mes de Verano de 1987 y en meses de Invierno de 1996. Adicionalmente, los resultados fueron comparados con una aplicación de Análisis de Componentes Principales (ACP) realizada por Artaxo (1998) quien estimó el aporte de fuentes mediante análisis multivariado de los perfiles de especies químicas de muestras ambientales (no utilizó el perfil de especies químico de las fuentes) obtenidas durante el Invierno de 1998.

En la comparación con otra aplicación de CMB7 hay coincidencia en las fuentes responsable, pero difieren fuertemente en los porcentajes de aporte. Las diferencias entre los resultados puede ser producto de las diferencias entre las concentraciones promedios para las fracciones Fina y Gruesa del MP10 ya que no hay coincidencia entre los meses en que se realizó la toma de muestras. Otra posible explicación es la manera en que fue aplicado CMB7, ya que Mancilla (1998) utilizó una muestra promedio, en cambio este Trabajo de Título promedió los resultados de muestras individuales.

La comparación con la aplicación de ACP presentó diferencias tanto en las fuentes responsables como en los porcentajes de aporte. Una de las razones de esta diferencia es producto del agrupamiento de fuentes que se realiza en la interpretación de los resultados de ACP en aquellos cuando sólo es posible obtener 3 o 4 factores principales. Otra posible causa es la fuerte reducción de los niveles entre 1993 y 1998 producto de las medidas de la implementación del Plan de descontaminación destacando la incorporación de Gas natural como combustible en Industrias, la licitación de recorridos de buses, retiro de buses contaminantes. Además, es necesario destacar que las muestras obtenidas por Artaxo en 1998 tienen una fracción Gruesa mayor que la Fina, lo cual es contrario a lo obtenido con equipos de

referencia en la Red MACAM y un elevado porcentaje de aporte de Polvo de suelo en la fracción Fina cercano a 30%, en general este aporte es cercano a 10% ya que el polvo de Suelo es característico de la fracción Gruesa. Esta situación podría ser producto de un corte inadecuado de las partículas en el muestreador gravimétrico SFU que permite ingreso de partículas mayores a 10 μm lo cual da un mayor peso a las fuentes que aportan en la fracción Gruesa y un aporte de partículas mayores que 2.5 μm en la fracción Fina.

El presente trabajo a pesar de las limitaciones en número de muestras y falta de perfiles de especies químicas de fuentes emisoras de MP en Santiago demostró que es factible aplicar el Modelo CMB obteniendo resultados que permiten una adecuada aproximación para identificar cuales son los principales responsables en los niveles de MP10 para canalizar las medidas especialmente en Invierno en control de Vehículos pesados Diesel (Buses y Camiones) con un aporte cercano a 28% y en emisiones de Polvo de Suelo y de Calles Pavimentadas (principalmente por resuspensión por la circulación de vehículos) que en conjunto aportan 32%.

Los resultados de la aplicación CMB7 y de los otros modelos de para estimar el aporte de las fuentes demuestran que no existe una relación entre el material particulado emitido y las concentraciones ambientales de material particulado. Luego, sectores emisores con baja participación en el inventario de emisiones de MP pueden tener responsabilidad importante en los niveles de MP que respira la población, más aún cuando se debe considerar la proximidad de las fuentes a los centros urbanos o lugares más sensibles.

Se recomienda realizar nuevas campañas de caracterización química las cuales consideren la determinación de Carbono Orgánico y Carbono Elemental. La relación entre estas dos especies permite estimar el impacto de los procesos de combustión en los niveles de MP, especialmente en la fracción Fina.

Durante los últimos años se ha perfeccionado el modelo CMB con nuevas versiones, entre ellas CMB82, que consideran el comportamiento meteorológico, las reacciones entre elementos y permiten estimar aportes de aerosol secundario. Se recomienda aplicar versiones más recientes de CMB en futuras aplicaciones para estimar el aporte de las fuentes.

En la medida que se cuente con perfiles químicos de las principales fuentes emisoras de MP10 es posible implementar un modelo CMB dinámico que permitiría una herramienta con mayor eficacia que la actual medida de parar el funcionamiento de industrias en toda la Región Metropolitana durante días de contingencia ambiental, sino que parando o disminuyendo la producción de aquellas fuentes que realmente tienen una participación importante en los sectores en los cuales se registran los altos niveles de material particulado.

Una mejor caracterización del perfil de elementos químicos de las fuentes emisoras es necesaria, más aun cuando una de las futuras medidas a implementar es "Compensar emisiones de MP". Luego, no debería aplicarse una compensación que considere solamente "toneladas de MP" ya que el aporte (sin considerar su toxicidad) de la fuente en los niveles ambientales dependerá de la composición química y granulométrica del MP.

Finalmente, el cumplimiento de las metas establecidas en las normas diarias y anuales de MP10 requiere identificar con mayor precisión el aporte de las fuentes en los niveles respirados por las personas para una mejor gestión y destino de los recursos, CMB es una herramienta que debe ser considerada y aplicada.

Capítulo 6. Bibliografía

ARTAXO, P. 1996. Final Report Aerosol Characterization Study in Santiago de Chile Wintertime 1996. Estudio para CONAMA RM. 48p.

ARTAXO, P. 1998. Final Report Aerosol Characterization Study in Santiago de Chile Wintertime 1998. Estudio para CONAMA RM. 61p.

ARTAXO, P. 1999. Final Report Aerosol Characterization Study in Santiago de Chile -1999. Santiago, CONAMA RM. 69p.

ARTAXO, P., OYOLA, P y MARTINEZ, R. 1999. Aerosol composition, Size Distribution, and Source Apportionment in Santiago de Chile. Nuclear Instruments and Methods B, 150:409-416.

ASRM, 2005. Historia de la red.

<http://www.asrm.cl/sitio/pag/aire/Indexjs3airesist_monit.asp> [consulta 5 Septiembre 2005]

BELMAR, R. 1991 Estudio epidemiológico sobre efectos de la contaminación atmosférica, Enfoques en atención primaria, primer semestre.

CHOW, J.C., 1995. Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. Journal of the Air and Waste Management Association 45 (5), 320-382.

CENMA, 2004. Pronóstico Meteorológico y de Calidad del Aire para Material Particulado para la Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica Período 2005. Informe Final. Estudio desarrollado para CONAMA RM.

CIFUENTES L., LAVE L., VEGA J. y KOPFER K. 2000. Effect of the fine fraction of particulate matter vs the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. Journal of the Air & Waste Management Association, 50:1287-1298.

CONAMA. 1997. Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana. [en línea]. Santiago, CONAMA RM. <http://www.conama.cl/rm/568/articles-932_PPDA.zip> [consulta: 26 Octubre 2002].

CONAMA 2004. Actaulización Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana. [en línea]. Santiago, CONAMA RM. <http://www.conamarm.cl/articles-34635_docto_5.pdf> [consulta: 15 Diciembre 2005].

DOCKERY DW, POPE CA, XU X, SPENGLER JD, WARE JH, FAY ME, et al. 1993 An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. New Engl J Med ;329:1753 – 1759

FRIEDLANDER, S.K. 1970. The Characterization of Aerosols Distributed with Respect to Size and Chemical Composition – I. *J. Aerosol Sci.* 1:295-307.

FRIEDLANDER, S.K. 1971. The Characterization of Aerosol Distributed with Respect to Size and Chemical Composition – II, *J. Aerosol Sci.* 2:331-340.

Gil L., ADONIS M. y Silva M. 1991. Riesgos para la salud humana por la exposición a contaminantes de alta toxicidad en el aire de Santiago. Ambiente y Desarrollo. 64 – 70.

HINDS, W.C., 1982. *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. Wiley, New York.

HIDY, G. y BROCK, J. 1971. An assessment of the global sources of tropospheric aerosol, En: *PROCEEDINGS OF THE 2nd international clean air congress*, New York 1971.

HOPKE P., GLADNEY E., GORDON G., ZOLLER W. and JONES A. 1976. The use of multivariate analysis to identify sources of selected elements in the Boston urban aerosol. *Atmos. Environ.*, 10, 1015-1025.

HOPKE, P. 1985, *Receptor Modeling in Environmental Chemistry*, John Wiley, New York.

INTENDENCIA DE LA REGIÓN METROPOLITANA, 1989. "Universo de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos e inventario real de emisiones para Santiago.", Realizado por Cade-Idepe.

JAENICKE, R. 1980. Atmospheric aerosols and global climate, *J. Aerosol Sci.* 11: 577-588.

KATSOUYANNI, K. et al, 2001. "Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project", *Epidemiology*, vol. 12, no. 5, pp. 521-531.

KOUTRAKIS P., SAX S., SARNAT J., COUL B., DEMOKRITOU P., OYOLA P., GARCIA J. y GRAMSCH E., 2005. Analysis of MP10, PM2.5, and PM2.5-10 concentrations in Santiago, Chile, from 1989 to 2001. *Air & Waste Management Association*, 55:342-351

MCMURRY P., WOO K., WEBER, R., CHEN D., and PUI, D. 2000. Size distributions of 3 to 10 nm atmospheric particles: implications for nucleation mechanisms. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A* 358: 2625-2642.

OSTRO, B., SANCHEZ, JM., ARANDA, C. y ESKELAND, G. 1996. Air Pollution and Mortality: Result from a Study of Santiago, Chile. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 6:97-114.

OSTRO B., ESKELAND G., FEYZIOGLU T. y SANCHEZ JM. 1998. Air Pollution and Health Effects: A Study of Respiratory Illness Among Children in Santiago, Chile. World Bank: WPS1932. 19p.

OYANGUREN, H. 1972. Bronquitis crónica en un área urbana y una rural de Santiago y su relación con el grado de contaminación atmosférica". *Rev. Med. de Chile*. 100-101, 1972

OMS, 1996. Updating and revision of the air quality guidelines for Europe - Volatile organic compounds, EUR/ICP/EHAZ 94 05/MT12

PETERSON J. T., y JUNGE CE., 1971. *Sources of particulate matter in the atmosphere*, MIT Press, Cambridge, Mass, 1971.

PRENDEZ M., ORTIZ J., CORTES E. y CASSORLA V. 1984. Elemental composition of the airborne particulate matter from Santiago City, Chile, 1976. *J. Air Pollut. Control Ass.* 34, 54-56.

PRENDEZ, M. 1993. Características de los Contaminantes Atmosféricos. En: Sandoval, H. Préndez, M. y Ulriksen, P. (Eds). *Contaminación Atmosférica de Santiago: Estado Actual y*

Soluciones. Santiago, Universidad de Chile y Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana. pp. 109-186.

PROSPERO J. M.; CHARLSON R., MOHNEN V., JAENICKE R., DELANY A.C., MOYERS J., ZOLLER W. y RAHN K. 1983. The atmospheric Aerosol System: A Review. *Review of Geophysics and Space Physics*. 21 (7): 1607 – 1629.

ROJAS C., ARTAXO P. y VAN GRIEKEN R. 1990. Aerosols in Santiago de Chile: A study using receptor modelling with X-ray fluorescence and single particle analysis. *Atmospheric Environment* 24B (2): 227-241.

RUTLLANT J. y GARREAUD R. 1995. Meteorological Air Pollution Potential for Santiago, Chile: Towards an Objective Episode Forecasting. *Environmental Monitoring and Assessment* 34: 223-244.

SAMET, J. M. *et al.* 2000. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States, *Res.Rep.Health Eff.Inst.*, vol. 94, no. Pt 2, pp. 5-70.

SILO C. y LISSI E., 1982. *Proceedings Fifth Clean Air Conference Buenos Aires, Argentina*, pg. 1267-1269.

STOCKER S. y SEAGER S. 1981. *Contaminación Ambiental: Contaminación del aire y del agua*. Barcelona, Edit. Blume. 293p.

TEOM, 1998. *Service Manual Teom® Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor (AB Serial Numbers)*, July 1998 Revision B, R&P Part Number 42-003348

THURSTON, G. and SPENGLER, J. 1985. A quantitative assessment of source contributions to inhalable particulate matter pollution in metropolitan Boston, *Atmos. Environ.*, 19, 9-25,

TRIER, A. 1984. Observations on inhalable atmospheric particulate in Santiago, Chile, *J. Aerosol Science*, 15, 419-421.

TRIER A., y SILVA C. 1987. Inhalable urban atmospheric particulate matter in a semi-arid climate: the case of Santiago de Chile. *Atmospheric Environment*, 21, 419-983.

ULRIKSEN, P. 1993. Factores Meteorológicos de la Contaminación Atmosférica de Santiago. En: Sandoval, H. Préndez, M. y Ulriksen, P. (Eds). *Contaminación Atmosférica de Santiago: Estado Actual y Soluciones*. Santiago, Universidad de Chile y Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana. pp. 37-60.

US EPA, 1987. *Protocol For Applying and Validating the CMB Model*. EPA-450/4-87-010. Research Triangle Park, NC 27711. May 1987.

US EPA, 1990. *Receptor Model Technical Series, Volume III (1989 Revision), CMB7 User's Manual*, EPA-450/4-90-004. Research Triangle Park, NC 27711, January 1990.

US EPA, 2004. *Air Quality Criteria for Particulate Matter*, EPA/600/P-99/002aF. Research Triangle Park, NC, October 2004.

SESMA, 1985. "Estudio de caracterizaciones físicas y químicas de partículas en suspensión en la Región Metropolitana", Realizado por Universidad de Chile para Servicio de Salud del Medio Ambiente de la Región Metropolitana

WHITBY, K. T. 1978. The physical characteristics of sulfur aerosols. Atmos. Environ. 12: 135-159.

WHO, 2000. Air quality guidelines for Europe; second edition Copenhagen, [en línea]. WHO Regional Office for Europe. European series; No 91
<http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4> [consulta 5 Septiembre 2003]

WHO, 2005. Air quality guidelines global update 2005. [en línea]. Report on a working group meeting. Bonn, Germany, 18-20 october 2005.
<www.euro.who.int/Document/E87950.pdf> [consulta 5 Julio 2006]

WOO, K., CHEN, D., PUI D. and MCMURRY, H. 2001. Measurement of Atlanta aerosol size distributions: observations of ultrafine particle events. Aerosol Sci. Technol. 34: 75-87.

ANEXOS

Anexo 1: Teoría del modelo receptor de balance de masas de especies química CMB7

1. Introducción

Los Modelos Receptores utilizan las características físicas y químicas de partículas medidas en fuentes emisoras y receptores para identificar y determinar la contribución de las fuentes en las concentraciones medidas en los receptores. Las características de las partículas deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Estar presentes en diferentes proporciones y en diferentes emisiones de fuentes.
- Esas proporciones permanecen relativamente constantes para cada tipo de fuente.
- Cambios en las proporciones entre fuentes y receptores son insignificantes o bien, pueden ser aproximados.

Los modelos receptores más comunes incluyen:

- Modelo de balance químico (Chemical Mass Balance)
- Análisis de componentes principales (PCA), conocido como análisis de factores (FA)
- Regresión lineal múltiple (MLR).

El modelo de balance químico, CMB, es el modelo receptor fundamental, consiste en una solución de mínimos cuadrados aplicado a un conjunto de ecuaciones lineales que expresan la concentración de una especie química en un receptor como la suma lineal de los productos entre perfiles de especies de las fuentes y la contribución de las fuentes. Las primeras aplicaciones de este modelo corresponden a Hidy and Friedlander (1971), Winchester and Nifong (1971) y Kneip *et al* (1972). Otros trabajos y explicaciones más detalladas de CMB se encuentran en las publicaciones hechas por Watson (1984), Chow (1985), Hopke (1985), Pace (1986) y Watson *et al* (1987a, 1987b).

El perfil de especies de las fuentes, es decir la cantidad fraccionaria en las emisiones de cada tipo de fuente, y la concentración en los receptores con su apropiada estimación de incerteza corresponde a la información de entrada del modelo CMB. Los resultados de la aplicación de este modelo, consisten en la cantidad contribuida por cada tipo de fuente, incluyendo la incerteza de esos valores, a la concentración de cada especie química medida en el receptor.

La primera versión del software, CMB1, orientada al usuario fue programada en 1978 en FORTRAN IV en un minicomputador PRIME 300. Esta versión se utilizó en el estudio de caracterización de aerosoles en Portland para establecer una estrategia de control de material particulado en suspensión (Watson, 1979). Este estudio fue el primero en identificar y cuantificar la combustión de leña residencial como la principal fuente emisora que contribuye a los niveles de MP en áreas urbanas de USA.

CMB7 corresponde a la séptima versión del software CMB, programada en una combinación de lenguaje C y Fortran, utilizado en gestión de contaminación atmosférica para estimar la contribución de fuentes contaminantes en las concentraciones de los receptores ambientales.

2. Ecuaciones

Sea S_j la concentración medida en un receptor durante un período de muestro de longitud de tiempo T proveniente de una fuente j con una tasa de emisión constante E_j , entonces:

$$S_j = D_j \cdot E_j \quad (A-1)$$

$$\text{donde} \quad D_j = \int_0^T d[\bar{u}(t), \sigma(t), \bar{x}_j] dt \quad (A-2)$$

D_j es un factor de dispersión que depende de la velocidad del viento (u), estabilidad atmosférica (σ) y la ubicación de la fuente j con respecto al receptor (x_j). Todos los parámetros de la ecuación (A - 2) varían en el tiempo, luego el factor de dispersión instantáneo, d , corresponde a la integral en el período de tiempo T (Watson, 1979).

Varias formulaciones para el factor d han sido propuestas (Pasquill, 1974; Seinfeld, 1975; Benarie, 1976). Algunas formulaciones consideran reacciones químicas, remociones y efectos de la topografía. Sin embargo, ninguna es completamente adecuada para describir la complicada y aleatoria naturaleza de dispersión en la atmósfera. La ventaja del modelo receptor es que no requiere un acabado conocimiento de D_j .

Para un número J de fuentes, sin interacción entre sus emisiones que cause remoción de masa, entonces la masa total medida en el receptor C será la suma lineal de las contribuciones aportadas por las fuentes individuales j .

$$C = \sum_{j=1}^J D_j \cdot E_j = \sum_{j=1}^J S_j \quad (A-3)$$

del mismo modo, la concentración del componente elemental i , C_i será:

$$C_i = \sum_{j=1}^J F_{ij} \cdot S_j \quad i = 1, \dots, I \quad (A-4)$$

donde F_{ij} corresponde a la fracción de contribución de la fuente S_j compuesta por elemento i .

El número de especies químicas (I) debe ser mayor o igual que el número de fuentes (J) para obtener una solución única.

Las soluciones posibles a las ecuaciones de CMB son:

- Una solución trazadora
- Una solución de una programación lineal
- Una solución a una aplicación simple de mínimos cuadrados ponderados con o sin intersección.
- Una solución con regresión de mínimos cuadrados ponderados con o sin intersección
- Una solución con varianza efectiva de mínimos cuadrados con o sin intersección

La estimación de la incerteza asociada a la contribución de las fuentes es parte integral de varios métodos de solución.

Una solución lineal de mínimos cuadrados es preferible a soluciones trazadoras o de programación lineal ya que, teóricamente entregan las soluciones más similares; pueden utilizar todas las mediciones químicas disponibles y no sólo las llamadas especies trazadoras son capaces de estimar analíticamente las incertezas de las contribuciones de las fuentes.

El software CMB7 aplica la solución de varianza efectiva desarrollada y probada por Watson *et. al.* (1984). Esta solución entrega una estimación realista de la incerteza en la contribución de las fuentes, debido a la incorporación de las incertezas tanto en los perfiles de las fuentes como en los receptores. Además, esta solución da una mayor importancia a aquellas especies químicas que tienen una mejor precisión en las mediciones.

La solución de varianza efectiva es obtenida mediante la minimización de la suma de los cuadrados ponderados de las diferencias entre los valores medidos y los valores calculados C_i y F_{ij} (Britt y Lueque, 1973). El algoritmo de solución es un procedimiento iterativo que calcula un S_j basado en un S_{j-1} anterior, ilustrado en los siguientes pasos:

1. Ajuste inicial, estimación de contribución de las fuentes igual a cero.

$$S_j^{k=0} = 0 \quad j=1,..J \quad (A-5)$$

2. Calcular los componentes de la diagonal de la matriz de varianza efectiva, V_e . Todos los componentes de la diagonal son iguales a cero.

$$V_{eij}^k = \sigma_{Ci}^2 + \sum (S_i^k)^2 \cdot \sigma_{Fij}^2 \quad (A-6)$$

3. Calcular el valor k+1 de S_j

$$S^{k+1} = \left(F^T (V_e^k)^{-1} F \right)^{-1} F^T (V_e^k)^{-1} C \quad (A-7)$$

4. Iterar hasta que la diferencia para S_j , entre iteraciones sucesivas, sea menor que un 1%

$$\left| S_j^{k+1} - S_j^k \right| / S_j^{k+1} > 0.01 \quad \text{ir a paso 2}$$

$$\left| S_j^{k+1} - S_j^k \right| / S_j^{k+1} \leq 0.01 \quad \text{ir a paso 5} \quad (A-8)$$

5. Asignar los valores de la iteración (k+1) a S_j y σ_{Sj} . El resto de los cálculos son determinados a partir de estos valores.

$$\sigma_{Sj} = \left[\left(F^T (V_e^{k+1})^{-1} F \right)^{-1}_{ij} \right]^{1/2} \quad j = 1,..J \quad (A-9)$$

Donde C = $(C_1...C_i)^T$, un vector columna con C_i en la componente i-ésima
 S = $(S_1...S_j)^T$, un vector columna con S_j en la componente j-ésima
 F = Matriz(l x J) de composición de las fuentes, F_{ij}

| | | |
|-------------------|---|--|
| σ_{C_i} | = | Desviación standard de la medición de C_i |
| $\sigma_{F_{ij}}$ | = | Desviación standard de la medición de F_{ij} |
| V_e | = | Matriz diagonal de varianzas efectivas |

Este algoritmo, para la varianza efectiva, es muy general y puede reducirse para la mayoría de las soluciones citadas anteriormente con las siguientes modificaciones:

- Cuando $\sigma_{F_{ij}}$ es fijada en cero, la solución se reduce a una solución de una aproximación de mínimos cuadrados ponderados
- Cuando $\sigma_{F_{ij}}$ es fijada en un valor constante, la solución se reduce a una aproximación por mínimos cuadrados sin ponderación.
- Cuando una columna es añadida a la matriz F_{ij} con valores igual a 1, se debe calcular un término de intersección para ésta.
- Cuando el número de perfiles fuentes es igual al número de especies ($I = J$), y si la especie seleccionada sólo está presente en un exclusivo perfil para la fuente, entonces la solución se reduce a una solución trazadora.

Cuando la matriz

$$\left(F^T (V_0^k)^{-1} F \right) \quad (A-10)$$

es reescrita como

$$\left(F^T (V_0^k)^{-1} F - \Phi I \right) \quad (A-11)$$

con ϕ (parámetro suavizante) igual a un número distinto de cero e I matriz de identidad, la solución pasa a ser una solución de regresión. (Williamsom y Dubose, 1983)

Sólo el método de la varianza efectiva o el método más exacto de Britt y Luecke (1973) es aplicable para resolver las ecuaciones de CMB, ya que las incertezas de la composición de las fuentes son generalmente mucho mayores que las incertezas de las concentraciones ambientales.

3. Supuestos del Modelo CMB7

Los supuestos de este modelo son:

1. La composición de las emisiones desde las fuentes contaminantes es constante durante todo el período de muestreo.
2. Las especies químicas no reaccionan unas con otras.
3. Todas las fuentes, potencialmente contribuyentes, han sido identificadas y tienen sus emisiones caracterizadas.
4. La composición de las fuentes es linealmente independientes.
5. El número de fuentes es menor o igual a número de especies químicas.
6. Las incertezas son aleatorias, no correlacionables y distribuidas normalmente.

4. Efectos de las desviaciones de los supuestos del modelo

Los supuestos mencionados en el punto anterior son bastante restrictivos, pero en la práctica nunca se cumplen en su totalidad. Afortunadamente, el modelo CMB7 puede tolerar algunas desviaciones, las cuales aumentarán el grado de incerteza asociada a la contribución de las fuentes en las estimaciones finales.

El modelo CMB7 ha sido sometido a un gran número de test para determinar la sensibilidad frente a las desviaciones de los supuestos iniciales, destacando estudios realizados por Watson en 1979, Gordon et al., 1981; Henry, 1982; Currie et al., 1984; Watson y Robinson, 1984; Javitz, 1988a, y Watson et al., 1987b.

Con respecto al supuesto 1, la composición de las fuentes, vistas desde el receptor, pueden variar sustancialmente para fuentes del mismo tipo o para una misma fuente durante un intervalo de tiempo. Estas variaciones pueden ser sistemáticas o aleatorias, ocasionadas por tres causas:

- Transformaciones y depositación entre el punto de emisión y el receptor
- Diferencias en el tipo de combustible y procesos de operación entre fuentes similares, o para una misma fuente en el tiempo.
- Incertidumbre o diferencias entre los métodos de determinación de perfiles para las fuentes.

Las conclusiones generales determinadas mediante los estudios de evaluación del modelo fueron:

- El error en la estimación de la contribución de las fuentes debido al sesgo en todos los elementos para el perfil de la fuente es directamente proporcional a la magnitud del sesgo.
- Para los errores aleatorios, la magnitud del error en la contribución de la fuente disminuye tanto como la diferencia entre el número de fuentes y especies aumenta.

Con respecto al supuesto 2, ningún estudio ha sido realizado para evaluar los efectos de las desviaciones en el modelo. Mientras estas desviaciones son asumidas por ser muy pequeñas, la conversión de gases a partículas y reacción entre partículas no son inherentes a procesos lineales.

Este supuesto es especialmente aplicable a los productos finales de las reacciones fotoquímicas y sus aportes en las fuentes de los precursores. La práctica común es suponer que el aporte del material primario no ha cambiado entre la fuente y el receptor.

Un gran desafío para la aplicación del CMB es la identificación de la contribución de fuentes primarias a incluir en el modelo, relacionado con el supuesto 3. Watson en 1979 determinó que:

- Subestimando el número de fuentes se obtienen pequeños efectos en los cálculos de las contribuciones de las fuentes si las especies prominentes contribuidas por fuentes pérdidas son excluidas de la solución.
- Cuando el número fue subestimado, y cuando las especies prominentes de las fuentes omitidas son incluidas en los cálculos de la contribución de las fuentes, la contribución de las fuentes con propiedades en común con las omitidas son sobrestimadas.
- Cuando se obtiene que la suma de la contribución de las fuentes es mucho menor que la masa total medida, significa que falta incluir una o más fuentes.
- La sobrestimación de fuentes disminuye los errores estándares en la estimación de la contribución de las fuentes.

Recientes investigaciones sugieren que el supuesto 3 sea restablecido para especificar que las contribuciones de las fuentes sobre el límite de detección sean incluidas en el CMB.

La independencia lineal entre las fuentes, supuesto 4, ha sido tema de considerable interés desde la publicación de Henry (1982), quién estudia la sensibilidad del modelo frente a la colinealidad de las mediciones. Henry propuso incluir en el modelo una fuente como combinación lineal entre aquellas fuentes que resulten colineales.

Con respecto al supuesto 5, el número de fuentes individuales que contribuyen a la concentración en el receptor es generalmente mucho mayor que el número de especies que pueden ser medidas. Por lo tanto, es necesario agrupar fuentes en tipos de fuentes de similares concentraciones.

No hay disponibilidad de resultados de estudios de verificación o evaluación de las incertezas de las mediciones, supuesto 6. Cada solución por mínimos cuadrados de las ecuaciones de CMB requiere del cumplimiento de este supuesto. Es muy poco lo que se conoce acerca de la distribución de errores para la composición de fuentes y concentraciones ambientales, es más probable que se presente una distribución log-normal por sobre una normal. Las concentraciones ambientales nunca pueden ser negativas, en cambio una distribución normal permite considerar la ocurrencia de valores negativos.

5 Datos de entrada y resultados del modelo

Para la aplicación del modelo se debe seguir la siguiente metodología:

- Identificación de la contribución de los tipos de fuentes (**S_j**).
- Selección de especies químicas a determinar
- Estimación de la fracción de cada especie química contenida en cada tipo de fuente
- Estimación de la incerteza en las concentraciones ambientales y en las composiciones de las fuentes
- Solución de las ecuaciones de balance de masa de especies químicas
- Validación y reconciliación de los resultados

Para determinar los tipos de fuentes probables que tengan influencia en el receptor se debe examinar los inventarios de emisiones. Posteriormente, examinando los perfiles de las fuentes seleccionadas se determinan las especies químicas. Mientras mayor sea el número de especies mejor es la precisión en los resultados del modelo.

Las concentraciones de las muestras ambientales, C_j , y su cantidad fraccional para cada tipo de fuente de emisión, F_{ij} , son los datos de entrada al modelo. Estos valores deben incluir la estimación de sus incertezas, S_{C_j} y $S_{F_{ij}}$.

La solución obtenida luego de aplicar el modelo consiste de:

- La estimación de contribución para cada tipo de fuente, S_{ij} y su error de estimación
- La cantidad contribuida por cada tipo de fuente a cada especie química.

El software CMB7 cuenta con algunos indicadores que permiten evaluar la calidad de los resultados obtenidos. Entre ellos destacan:

- STDERR (error standard): Indicador de la precisión o incerteza de estimación de la contribución para cada fuente. Este valor debe ser mucho menor que la contribución de la fuente.

- TSTAT (t-statistic): Corresponde a la razón entre la contribución de la fuente estimada y el error standard. Es deseable que este valor sea menor que 2.0
- R-SQUARE: Estadístico que determina la varianza en las concentraciones de las especies ambientales explicadas por las concentraciones calculadas de especies. Es deseable que este valor sea entre 0.8 y 1.0.
- CHI-SQUARE: Estadístico similar a R-SQUARE, excepto que esta también considera las incertezas de las concentraciones calculadas de las especies. Un valor alto de CHI-SQUARE significa que el modelo no ha explicado bien las concentraciones de las especies. Es deseable un valor entre 0.0 y 4.0
- PERCENT MASS: Estadístico que indica el porcentaje de la masa ambiental (corresponde a la suma de las contribuciones de las fuentes). Valor deseable $100\% \pm 20\%$.
- RATIO C/M: Razón entre lo calculado y lo medido, por cada especie. Valor deseable entre 0.5 y 2.0.
- RATIO R/U: Razón entre la diferencia Calculado-medido dividido por la diferencia de las incertezas. Valor deseable entre -2.0 y 2.0 .

6. Referencias del Anexo:

BENARIE, M.M. 1976. "Urban Air Pollution Modeling Without Computers". EPA-600/4-76-055, U.S Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

BRITT H.I. y LUECKE R.H. 1973. "The Estimation of Parameters in Nonlinear, Implicit Models." *Technometrics*, 15, 233.

CHOW, J.C. 1985. "Development of a Composite Modeling Approach to Assess Air Pollution Source/Receptor Relationships" Doctor of Science Dissertation, Harvard University, Cambridge, MA.

CURRIE L.A., GERLACH R.W., LEWIS C.W., BALFOUR W.D., DATTNER S.L., DECESAR R.T., GORDON G.E., HEISLER S.L., HOPKE P.K., SHAH J.J., THURSTON G.D., y WILLIAMSON H.J. 1984. "Interlaboratory Comparison of Source Apportionment Procedures: Results for Simulated data Set". *Atmos. Environ.* 18, 1517.

HENRY, R.C. 1982. "Stability Analysis of Receptor Models that Use Least Squares Fitting". Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA.

HIDY, G.M., y FRIENDLANDER S.K. 1971. The nature of the Los Angeles aerosol. In *Proceedings of the Second International Clean Air Congress*, H.M. Englund and W.T. Beery, Eds. Academic Press, New York, pp. 391-404.

HOPKE, P.K. 1985. "Receptor Modeling in Environmental Chemistry. John Williams & Sons, New York, NY.

GORDON, G.E. 1980. "Receptor Models." *Environ. Sci. Technol.*, 14, 792.

JAVITZ, H.S., J.G. WATSON, and N.F. ROBINSON (1988a). "Performance of Chemical Mass Balance with Simulated Local-Scale Aerosol." *Atmos. Environ.*, 22, 2309-2322.

KNEIP T.J., KLEINMAN M.T., y EISENBUD M. 1972. "Relative Contribution of Emission Sources to the total Airborne Particulates in New York City." 3er IUAPPA Clean Air Congress, Washington, DC.

PACE, T.G., 1986. "Receptor Methods for Source Apportionment: Real World Issues and Applications". Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA.

PASQUILL, F. 1974. "Atmospheric Diffusion" (2nd Ed.) Ellis Horwood, England.

SEINFELD, J.H. 1986. *Air Pollution: Physical and Chemical Fundamentals: Second Edition.* McGraw-Hill, New York, NY.

WATSON, J.G. (1979). "Chemical Element Balance Receptor Model Methodology for assessing the Sources of Fine and Total Particulate Matter." Ph. D. Dissertation, Oregon Graduate Center, Beaverton, OR.

WATSON J.G., and ROBINSON N.F. 1984. "A Method to Determine Accuracy and Precision Required of Receptor Model Measurements". Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA.

WATSON, J.G., CHOW J.C., FREEMAN D.L., EGAMI R.T., ROBERTS P. y COUNTESS R. 1987a. "Model and Database Description for California's Level MP10 Assesment Package" Document 8066-002.1F1, Final Report Prepared for the California Air Resources Board, Sacramento, CA, by Desert Research Intitute, Reno, NV.

WATSON J.G.; DEA J.Y., BLUMENTHAL D. S., y LEHRMAN D. E. (1987b). "WOGA Aerosol Data Base Description.", DRI Document 6687.3F2, Final Report, Prepared for the Wester and Gas Asociation, Los Angeles, CA, by Desert Research Intitute, Reno, NV.

WATSON, J.G., N.F. ROBINSON, J.C. CHOW, R.C. HENRY, B.M. KIM, T.G. PACE, E.L. MEYER and Q. NGUYEN (1990a). The USEPA/DRI chemical mass balance receptor model, CMB 7.0. Environ. Software, 5(1): 38-49.

WATSON, J.G., J.C. CHOW, L.C. PRITCHETT, J.E. Houck, S. Burns and R.A. Ragazzi (1990b). Composite source profiles for particulate motor vehicle exhaust source apportionment in Denver, CO. In Transactions, Visibility and Fine Particles, C.V. Mathai, Ed. Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, pp. 422-436.

WATSON, J.G., J.C. CHOW and T.G. PACE (1991). Chemical mass balance. In Receptor Modeling for Air Quality Management, P.K. Hopke, Ed. Elsevier Press, New York, NY, pp. 83-116.

WATSON, J.G. and J.C. CHOW (1992). Data bases for PM10 and PM2.5 chemical compositions and source profiles. In PM10 Standards and Nontraditional Particulate Source Controls, J.C. Chow and D.M. Ono, Eds. Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, pp. 61-91.

WILLIAMSON H.J. y DUBOSE D.A., 1983. "Receptor Model Technical series, Volume III: User's Manual for Chemical Mass Balance Model." EPA-450/4-83-014, U.S Environmental Protection Agency, Reasearch Traingle Parck, NC.

WINCHESTER J.W., y NIFONG G.D., 1971. "Water Pollution in Lake Michigan by Trace Element from Aerosol Fallout" Water Air and Soil Pollut., 1, 50.

Anexo 2: Resultados análisis químicos mediciones de MP10 y MP2.5

Tabla 1 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación A, Fracción Fina de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fecha | 01-09-93 | 11-09-93 | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 05-01-94 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Concentración | 89.9247 | 91.2863 | 43.6101 | 29.9537 | 27.6645 | 50.6932 |
| Elementos | | | | | | |
| Na | 0.0712 | 0.1044 | 0.3191 | 0.4299 | 0.2819 | 0.0337 |
| Mg | 0.0203 | 0 | 0.0596 | 0.0455 | 0.0478 | 0.011 |
| Al | 0.1903 | 0.1469 | 0.1918 | 0.1034 | 0.1208 | 0.1758 |
| Si | 0.6586 | 0.5466 | 0.5302 | 0.3561 | 0.7413 | 0.6067 |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 4.4355 | 3.3263 | 2.7991 | 1.9513 | 1.7051 | 2.4216 |
| Cl | 0.3399 | 0.4565 | 0.3827 | 0.2105 | 0.0958 | 0.7343 |
| K | 0.4835 | 0.5071 | 1.3021 | 0.8983 | 0.6475 | 1.6237 |
| Ca | 0.2331 | 0.1761 | 0.1536 | 0.1157 | 0.1308 | 0.1682 |
| Ti | 0.0298 | 0.0206 | 0.0088 | 0.0125 | 0.0177 | 0.0137 |
| V | 0.0597 | 0.0325 | 0.0206 | 0.014 | 0.0134 | 0.0211 |
| Cr | 0.0083 | 0.0050 | 0.0033 | 0.0023 | 0.0056 | 0.0068 |
| Mn | 0.0274 | 0.0122 | 0.0141 | 0.0093 | 0.0182 | 0.021 |
| Fe | 0.4585 | 0.2629 | 0.3211 | 0.1963 | 0.2704 | 0.3782 |
| Co | 0 | 0 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0004 | 0 |
| Ni | 0.0262 | 0.0122 | 0.0196 | 0.0096 | 0.0097 | 0.021 |
| Cu | 0.0691 | 0.0384 | 0.0367 | 0.0108 | 0.0123 | 0.0237 |
| Zn | 0.2698 | 0.1753 | 0.1334 | 0.1237 | 0.2208 | 0.4233 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0.0908 | 0.1109 | 0.0138 | 0.0029 | 0.0037 | 0.0262 |
| Se | 0 | 0 | 0.0014 | 0.001 | 0.0015 | 0.0015 |
| Br | 0.2620 | 0.3646 | 0.1037 | 0.056 | 0.0686 | 0.0917 |
| Rb | 0.0016 | 0.0007 | 0.0013 | 0.0022 | 0.0011 | 0.0027 |
| Sr | 0 | 0 | 0.0009 | 0.001 | 0.0014 | 0.0011 |
| Y | 0.0009 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 |
| Zr | 0.0004 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0007 |
| Mo | 0.0040 | 0.0009 | 0.0043 | 0.0015 | 0.0018 | 0.0021 |
| Pd | 0.0061 | 0.0031 | 0.0012 | 0 | 0 | 0 |
| Ag | 0.0011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0007 |
| Cd | 0.0036 | 0 | 0.0021 | 0.0014 | 0.0037 | 0.0051 |
| In | 0 | 0 | 0.0023 | 0.0008 | 0.002 | 0 |
| Sn | 0.0056 | 0.0013 | 0.0047 | 0.0064 | 0.007 | 0.0056 |
| Sb | 0 | 0.0023 | 0.0083 | 0.0068 | 0 | 0.0077 |
| Ba | 0 | 0.0041 | 0.0345 | 0.0082 | 0.0103 | 0.0255 |
| La | 0.0086 | 0 | 0.0077 | 0 | 0 | 0.0011 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 1.0760 | 1.2132 | 0.4148 | 0.235 | 0.2903 | 0.4314 |
| U | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0001 |
| suma elementos | 8.7502 | 7.4204 | 6.52 | 4.3382 | 4.4014 | 7.2428 |

Tabla 2 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación A, Fracción Gruesa de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fecha | 01-09-93 | 11-09-93 | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 05-01-94 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Concentración | 57.6615 | 49.9250 | 49.1721 | 41.0704 | 42.0186 | 57.1655 |
| Elementos | | | | | | |
| Na | 0.0526 | 0.1127 | 0.3888 | 0.5053 | 0.3679 | 0.4106 |
| Mg | 0.1412 | 0.1612 | 0.1987 | 0.1679 | 0.1609 | 0.2263 |
| Al | 2.4621 | 2.8661 | 3.3544 | 2.7154 | 2.7564 | 3.7465 |
| Si | 7.3989 | 8.1814 | 8.8231 | 7.3209 | 7.6833 | 9.9681 |
| P | 0.0033 | 0.0151 | 0.0184 | 0.0158 | 0.015 | 0.0202 |
| S | 0.2655 | 0.5094 | 0.3595 | 0.3413 | 0.2934 | 0.3675 |
| Cl | 0.1825 | 0.1926 | 1.1855 | 2.0912 | 1.4574 | 1.378 |
| K | 0.5290 | 0.6184 | 0.7033 | 0.6087 | 0.6048 | 0.8019 |
| Ca | 2.4937 | 2.5040 | 2.1506 | 1.7984 | 1.8721 | 2.4706 |
| Ti | 0.1714 | 0.1781 | 0.1839 | 0.1474 | 0.152 | 0.2115 |
| V | 0.0170 | 0.0149 | 0.0101 | 0.0063 | 0.0081 | 0.0077 |
| Cr | 0.0070 | 0.0058 | 0.0053 | 0.0048 | 0.0051 | 0.008 |
| Mn | 0.0466 | 0.0508 | 0.0567 | 0.0462 | 0.049 | 0.0677 |
| Fe | 1.9061 | 1.8858 | 2.0324 | 1.6682 | 1.7221 | 2.4077 |
| Co | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0.0061 | 0.0050 | 0.0103 | 0.0073 | 0.0032 | 0.0115 |
| Cu | 0.0587 | 0.0468 | 0.0367 | 0.0233 | 0.022 | 0.0344 |
| Zn | 0.1000 | 0.0904 | 0.0601 | 0.0437 | 0.0621 | 0.1042 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0.0037 | 0.0125 | 0.004 | 0.0025 | 0.0007 | 0.0023 |
| Se | 0 | 0 | 0 | 0.0005 | 0 | 0 |
| Br | 0.0496 | 0.0844 | 0.03 | 0.0199 | 0.0199 | 0.0261 |
| Rb | 0.0015 | 0.0026 | 0.0034 | 0.0026 | 0.0024 | 0.0035 |
| Sr | 0.0123 | 0.0150 | 0.0153 | 0.0127 | 0.0133 | 0.017 |
| Y | 0.0002 | 0.0013 | 0.0013 | 0.001 | 0.0011 | 0.0013 |
| Zr | 0.0071 | 0.0058 | 0.0063 | 0.0058 | 0.0052 | 0.0079 |
| Mo | 0.0054 | 0.0058 | 0.0258 | 0.0121 | 0.0129 | 0.0106 |
| Pd | 0.0022 | 0.0013 | 0 | 0 | 0 | 0.0008 |
| Ag | 0.0009 | 0 | 0 | 0.0001 | 0 | 0 |
| Cd | 0 | 0 | 0.004 | 0.0017 | 0.0026 | 0.0053 |
| In | 0 | 0 | 0 | 0.0017 | 0 | 0.0034 |
| Sn | 0.0063 | 0.0029 | 0 | 0 | 0 | 0.0024 |
| Sb | 0.0012 | 0.0059 | 0 | 0.0062 | 0.0032 | 0.0064 |
| Ba | 0.0464 | 0.0355 | 0.0632 | 0.05 | 0.0446 | 0.0809 |
| La | 0 | 0 | 0 | 0.0086 | 0 | 0.008 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0.0074 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 0.1665 | 0.2409 | 0.1001 | 0.0649 | 0.0658 | 0.0966 |
| U | 0 | 0 | 0 | 0.0001 | 0.0004 | 0 |
| suma elementos | 15.9587 | 17.5786 | 19.2438 | 17.0293 | 16.878 | 21.878 |

Tabla 3 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación B, Fracción Fina y Gruesa de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fracción | Fracción Fina | | | Fracción Gruesa | | |
|-------------------|---------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| Fecha | 01-09-93 | 11-09-93 | 06-01-94 | 01-09-93 | 11-09-93 | 06-01-94 |
| Concentración | 81.9711 | 73.4542 | 29.5257 | 48.2588 | 40.9613 | 51.2151 |
| Elementos | | | | | | |
| Na | 0.0360 | 0.0385 | 0.203 | 0.0590 | 0.0775 | 0.3369 |
| Mg | 0.0609 | 0 | 0.0233 | 0.1151 | 0.1388 | 0.188 |
| Al | 0.1712 | 0.1381 | 0.1944 | 2.2460 | 2.4641 | 3.8002 |
| Si | 0.4498 | 0.4585 | 0.4659 | 6.5328 | 7.1170 | 9.6822 |
| P | 0 | 0 | 0 | 0.0053 | 0.0021 | 0.0413 |
| S | 4.3378 | 3.4074 | 1.2067 | 0.2880 | 0.4623 | 0.313 |
| Cl | 0.2517 | 0.0720 | 0.0204 | 0.2300 | 0.1920 | 1.1276 |
| K | 0.3166 | 0.3457 | 0.6773 | 0.4804 | 0.5301 | 0.8216 |
| Ca | 0.1331 | 0.1037 | 0.1375 | 1.9545 | 1.7741 | 2.0121 |
| Ti | 0.0234 | 0.0182 | 0.0154 | 0.1683 | 0.1542 | 0.214 |
| V | 0.0362 | 0.0250 | 0.013 | 0.0157 | 0.0131 | 0.0098 |
| Cr | 0.0058 | 0.0033 | 0.0014 | 0.0069 | 0.0048 | 0.0057 |
| Mn | 0.0254 | 0.0117 | 0.0165 | 0.0443 | 0.0426 | 0.0633 |
| Fe | 0.4379 | 0.2599 | 0.3033 | 1.9631 | 1.7608 | 2.3989 |
| Co | 0 | 0 | 0.0004 | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0.0179 | 0.0113 | 0.0081 | 0.0048 | 0.0040 | 0.0037 |
| Cu | 0.1046 | 0.0783 | 0.0188 | 0.0937 | 0.0688 | 0.0367 |
| Zn | 0.2269 | 0.1363 | 0.1543 | 0.1107 | 0.0628 | 0.0679 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0.0778 | 0.1152 | 0.0031 | 0.0048 | 0.0097 | 0.0005 |
| Se | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Br | 0.5784 | 0.4587 | 0.1484 | 0.0913 | 0.1071 | 0.0435 |
| Rb | 0.0006 | 0.0010 | 0.0007 | 0.0021 | 0.0014 | 0.0041 |
| Sr | 0 | 0 | 0.0005 | 0.0105 | 0.0119 | 0.0146 |
| Y | 0.0007 | 0.0010 | 0 | 0.0010 | 0.0013 | 0.0013 |
| Zr | 0.0003 | 0.0002 | 0.0009 | 0.0064 | 0.0056 | 0.0058 |
| Mo | 0.0022 | 0.0014 | 0.0004 | 0.0062 | 0.0053 | 0.0022 |
| Pd | 0.0047 | 0.0048 | 0 | 0.0010 | 0 | 0 |
| Ag | 0.0032 | 0 | 0.0012 | 0.0014 | 0.0016 | 0 |
| Cd | 0.0066 | 0.0001 | 0.0035 | 0.0010 | 0.0057 | 0.0023 |
| In | 0.0011 | 0.0006 | 0.0001 | 0 | 0 | 0.0001 |
| Sn | 0.0029 | 0.0031 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0028 | 0 |
| Sb | 0 | 0.0048 | 0 | 0.0049 | 0.0023 | 0 |
| Ba | 0 | 0 | 0.015 | 0.0666 | 0.0501 | 0.0585 |
| La | 0 | 0.0039 | 0 | 0.0048 | 0.0020 | 0 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0 | 0 | 0.0001 | 0 | 0 | 0.0001 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 1.6634 | 1.3985 | 0.537 | 0.3156 | 0.3147 | 0.138 |
| U | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0001 |
| suma elementos | 8.8801 | 7.0627 | 3.9441 | 14.6627 | 15.1742 | 20.8691 |

Tabla 4 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación D, Fracción Fina de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fecha | 01-09-93 | 11-09-93 | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 05-01-94 |
|-------------------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| Concentración | 91.4407 | 107.834 4 | 30.7022 | 19.2218 | 20.5365 | 38.331 |
| Elementos | | | | | | |
| Na | 0.1148 | 0.1400 | 0.2398 | 0.3308 | 0.3017 | 0.1827 |
| Mg | 0.0849 | 0 | 0.0365 | 0.0287 | 0.0494 | 0.046 |
| Al | 0.3414 | 0.3259 | 0.1577 | 0.1108 | 0.1581 | 0.3833 |
| Si | 1.1698 | 0.9027 | 0.4725 | 0.4121 | 0.821 | 1.1966 |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S | 4.5764 | 3.6337 | 2.0249 | 1.3301 | 1.244 | 1.9394 |
| Cl | 0.4483 | 0.7974 | 0.6795 | 0.2729 | 0.1348 | 0.6045 |
| K | 0.5564 | 0.6364 | 1.2508 | 0.5929 | 0.494 | 1.2933 |
| Ca | 0.4561 | 0.4708 | 0.1332 | 0.1184 | 0.1581 | 0.3129 |
| Ti | 0.0452 | 0.0428 | 0.0177 | 0.0079 | 0.0185 | 0.0327 |
| V | 0.0450 | 0.0293 | 0.0198 | 0.0079 | 0.0087 | 0.0149 |
| Cr | 0.0060 | 0.0066 | 0.001 | 0.0016 | 0.0038 | 0.0049 |
| Mn | 0.0351 | 0.0190 | 0.0091 | 0.0063 | 0.0153 | 0.0211 |
| Fe | 0.6843 | 0.5191 | 0.2525 | 0.1508 | 0.2938 | 0.4897 |
| Co | 0 | 0 | 0.0001 | 0 | 0.0007 | 0.0007 |
| Ni | 0.0207 | 0.0123 | 0.0135 | 0.0064 | 0.0064 | 0.009 |
| Cu | 0.0694 | 0.0491 | 0.0212 | 0.0054 | 0.0088 | 0.0123 |
| Zn | 0.3074 | 0.1866 | 0.098 | 0.0454 | 0.24 | 0.2686 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0.0954 | 0.1152 | 0.0116 | 0.0043 | 0.0022 | 0.0181 |
| Se | 0 | 0 | 0.0011 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0013 |
| Br | 0.3791 | 0.7426 | 0.0442 | 0.0221 | 0.0301 | 0.0424 |
| Rb | 0.0016 | 0.0032 | 0.0018 | 0.0013 | 0.001 | 0.0025 |
| Sr | 0 | 0 | 0.0009 | 0.001 | 0.0013 | 0.0023 |
| Y | 0.0009 | 0.0014 | 0.0002 | 0.0002 | 0 | 0.0003 |
| Zr | 0.0012 | 0.0009 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0014 |
| Mo | 0.0036 | 0.0016 | 0.0038 | 0.006 | 0.0024 | 0.0024 |
| Pd | 0.0023 | 0.0058 | 0 | 0 | 0.0007 | 0 |
| Ag | 0.0045 | 0 | 0 | 0.0006 | 0 | 0 |
| Cd | 0.0039 | 0.0102 | 0.0013 | 0.0013 | 0.0007 | 0.0021 |
| In | 0 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0016 | 0 | 0 |
| Sn | 0 | 0.0068 | 0 | 0.0031 | 0.0003 | 0.0012 |
| Sb | 0.0043 | 0 | 0.0038 | 0.0015 | 0 | 0.0016 |
| Ba | 0 | 0 | 0.0003 | 0.0144 | 0 | 0.0207 |
| La | 0 | 0.0161 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 1.2847 | 2.1612 | 0.1888 | 0.0897 | 0.1296 | 0.2003 |
| U | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| suma elementos | 10.5431 | 10.6976 | 5.4106 | 3.2168 | 3.7753 | 6.8803 |

Tabla 5 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación D, Fracción Gruesa de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fecha | 01-09-93 | 11-09-93 | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 05-01-94 |
|-------------------|--------------|--------------|----------|----------|----------|--------------|
| Concentración | 102.429 9 | 115.311 8 | 38.4481 | 40.4407 | 49.2386 | 102.024 2 |
| Elementos | | | | | | |
| Na | 0.2027 | 0.2668 | 0.3294 | 0.3431 | 0.338 | 0.4133 |
| Mg | 0.2659 | 0.3311 | 0.1717 | 0.2031 | 0.2063 | 0.3399 |
| Al | 5.1620 | 6.2130 | 2.9449 | 2.7028 | 3.3103 | 6.4337 |
| Si | 15.5104 | 18.5109 | 7.6153 | 7.3364 | 9.7178 | 18.3792 |
| P | 0.0245 | 0.0080 | 0.032 | 0.0213 | 0.0426 | 0.0546 |
| S | 0.3988 | 0.5776 | 0.3213 | 0.3325 | 0.2491 | 0.2326 |
| Cl | 0.2682 | 0.3051 | 0.8323 | 1.4635 | 1.0458 | 0.9537 |
| K | 1.0422 | 1.3015 | 0.6268 | 0.6583 | 0.7902 | 1.5528 |
| Ca | 5.0153 | 7.1692 | 1.5352 | 1.6675 | 2.1311 | 4.8486 |
| Ti | 0.3573 | 0.4046 | 0.1515 | 0.1493 | 0.1965 | 0.4269 |
| V | 0.0198 | 0.0227 | 0.0104 | 0.0066 | 0.0121 | 0.017 |
| Cr | 0.0099 | 0.0091 | 0.0035 | 0.0025 | 0.0037 | 0.0078 |
| Mn | 0.0983 | 0.1128 | 0.0423 | 0.0427 | 0.0569 | 0.1221 |
| Fe | 3.8033 | 4.4632 | 1.5566 | 1.5922 | 1.9984 | 4.5393 |
| Co | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0.0059 | 0.0034 | 0.0045 | 0.0019 | 0.0016 | 0.0033 |
| Cu | 0.0772 | 0.0774 | 0.0213 | 0.0138 | 0.0133 | 0.0266 |
| Zn | 0.1450 | 0.1238 | 0.0386 | 0.0261 | 0.0625 | 0.0754 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0003 | 0 |
| As | 0.0073 | 0.0065 | 0.003 | 0.001 | 0.0009 | 0.0048 |
| Se | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Br | 0.0784 | 0.1423 | 0.0136 | 0.0082 | 0.0091 | 0.0116 |
| Rb | 0.0046 | 0.0058 | 0.0023 | 0.0029 | 0.0036 | 0.0069 |
| Sr | 0.0284 | 0.0330 | 0.0117 | 0.0119 | 0.0156 | 0.0371 |
| Y | 0.0020 | 0.0018 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0012 | 0.0025 |
| Zr | 0.0145 | 0.0128 | 0.0043 | 0.0043 | 0.0057 | 0.0135 |
| Mo | 0.0096 | 0.0054 | 0.0131 | 0.0274 | 0.0121 | 0.011 |
| Pd | 0.0011 | 0.0068 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ag | 0.0028 | 0.0052 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cd | 0.0082 | 0.0066 | 0.0008 | 0.001 | 0.0018 | 0.0048 |
| In | 0 | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0.0004 |
| Sn | 0.0053 | 0.0020 | 0.003 | 0 | 0.0036 | 0.0037 |
| Sb | 0 | 0 | 0.0014 | 0.0056 | 0.0065 | 0.0014 |
| Ba | 0.0562 | 0.1040 | 0.0237 | 0.0295 | 0.0174 | 0.0898 |
| La | 0.0241 | 0.0015 | 0 | 0.0009 | 0 | 0.0007 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0.0006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 0.2620 | 0.4141 | 0.0476 | 0.0304 | 0.0347 | 0.0555 |
| U | 0 | 0 | 0 | 0.0001 | 0 | 0.0009 |
| suma elementos | 32.4433 | 40.0502 | 15.862 | 16.1416 | 19.7447 | 37.9182 |

Tabla 6 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estaciones C y M, Fracción Fina y Gruesa de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Estación | Estación C | | | | Estación M | | | |
|----------------|-----------------|----------|---------------|----------|-----------------|----------|---------------|----------|
| Fracción Fina | Fracción Gruesa | | Fracción Fina | | Fracción Gruesa | | Fracción Fina | |
| Fecha | 01-09-93 | 11-09-93 | 01-09-93 | 11-09-93 | 01-09-93 | 11-09-93 | 01-09-93 | 11-09-93 |
| Concentración | 86.0782 | 73.3009 | 60.6639 | 36.7088 | 55.7940 | 58.3567 | 37.5815 | 35.9924 |
| Elementos | | | | | | | | |
| Na | 0.1238 | 0.1136 | 0.0615 | 0.1455 | 0.0129 | 0.0761 | 0.0682 | 0.0791 |
| Mg | 0.0218 | 0 | 0.1422 | 0.1097 | 0.0232 | 0 | 0.1136 | 0.0723 |
| Al | 0.1597 | 0.0941 | 2.3270 | 2.4104 | 0.2513 | 0.0645 | 2.0380 | 1.3625 |
| Si | 0.5592 | 0.4873 | 6.9066 | 6.8181 | 0.7984 | 0.4254 | 5.6455 | 4.1223 |
| P | 0 | 0 | 0.0036 | 0.0102 | 0 | 0 | 0.0011 | 0 |
| S | 4.1719 | 2.9847 | 0.2857 | 0.5033 | 4.1170 | 2.8047 | 0 | 0.9415 |
| Cl | 0.3026 | 0.1130 | 0.1992 | 0.1209 | 0.1451 | 0.0245 | 0.0718 | 0.0138 |
| K | 0.4481 | 0.4261 | 0.5313 | 0.5151 | 0.5484 | 0.2942 | 0.3614 | 0.2718 |
| Ca | 0.5763 | 0.1084 | 6.4211 | 1.7595 | 0.2842 | 0.1032 | 1.7351 | 0.9035 |
| Ti | 0.0273 | 0.0168 | 0.1872 | 0.1498 | 0.0413 | 0.0129 | 0.1485 | 0.0890 |
| V | 0.0504 | 0.0261 | 0.0205 | 0.0140 | 0.0335 | 0.0126 | 0.0066 | 0.0060 |
| Cr | 0.0080 | 0.0040 | 0.0088 | 0.0034 | 0.0061 | 0.0026 | 0.0035 | 0.0012 |
| Mn | 0.0290 | 0.0110 | 0.0477 | 0.0393 | 0.0462 | 0.0111 | 0.0321 | 0.0236 |
| Fe | 0.4712 | 0.2145 | 1.9495 | 1.5480 | 0.6538 | 0.2057 | 1.4377 | 0.8401 |
| Co | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0.0233 | 0.0100 | 0.0068 | 0.0037 | 0.0155 | 0.0057 | 0.0012 | 0.0007 |
| Cu | 0.0653 | 0.0350 | 0.0542 | 0.0409 | 0.0644 | 0.0238 | 0.0345 | 0.0132 |
| Zn | 0.2652 | 0.1761 | 0.1005 | 0.0697 | 0.3734 | 0.1121 | 0.0459 | 0.0188 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0.0743 | 0.1226 | 0.0065 | 0.0137 | 0.0512 | 0.0578 | 0 | 0.0017 |
| Se | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Br | 0.2398 | 0.2046 | 0.0554 | 0.0427 | 0.2042 | 0.1029 | 0.0183 | 0.0213 |
| Rb | 0.0013 | 0.0011 | 0.0020 | 0.0015 | 0.0010 | 0.0003 | 0.0014 | 0.0009 |
| Sr | 0 | 0 | 0.0158 | 0.0111 | 0 | 0 | 0.0077 | 0.0053 |
| Y | 0.0009 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0004 | 0 | 0 | 0.0009 | 0.0003 |
| Zr | 0.0009 | 0.0005 | 0.0087 | 0.0052 | 0.0014 | 0 | 0.0043 | 0.0024 |
| Mo | 0.0022 | 0.0007 | 0.0053 | 0.0041 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0028 | 0.0139 |
| Pd | 0 | 0.0017 | 0 | 0.0021 | 0.0049 | 0.0018 | 0 | 0 |
| Ag | 0.0005 | 0 | 0 | 0 | 0.0028 | 0.0052 | 0 | 0 |
| Cd | 0 | 0 | 0.0012 | 0 | 0.0010 | 0.0029 | 0.0035 | 0.0019 |
| In | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sn | 0.0061 | 0.0052 | 0 | 0 | 0.0083 | 0 | 0.0036 | 0.0036 |
| Sb | 0.0042 | 0.0025 | 0 | 0.0006 | 0.0029 | 0 | 0 | 0.0032 |
| Ba | 0.0021 | 0.0053 | 0.0406 | 0.0156 | 0 | 0 | 0.0160 | 0 |
| La | 0.0029 | 0 | 0 | 0 | 0.0171 | 0 | 0.0091 | 0.0038 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 0.9913 | 0.7509 | 0.1920 | 0.1403 | 1.0712 | 0.5119 | 0.0428 | 0.0538 |
| U | 0 | 0 | 0.0002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| suma elementos | 8.4841 | 5.8026 | 19.3782 | 14.2437 | 8.7455 | 4.7860 | 11.6734 | 8.7203 |

Tabla 7 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación La Dehesa, Fracción Fina y Gruesa de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fracción | Fracción Fina | | | Fracción Gruesa | | |
|----------------|---------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| Fecha | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 |
| Concentración | 37.3383 | 22.9918 | 27.4824 | 46.7451 | 41.3216 | 45.2449 |
| Elementos | | | | | | |
| Na | 0.2472 | 0.2522 | 0.2148 | 0.3293 | 0.2811 | 0.358 |
| Mg | 0.0052 | 0.04 | 0.038 | 0.1796 | 0.177 | 0.1731 |
| Al | 0.1472 | 0.1216 | 0.1204 | 3.1664 | 2.6701 | 3.0259 |
| Si | 0.4366 | 0.4033 | 0.4093 | 8.4347 | 7.1489 | 8.3198 |
| P | 0 | 0 | 0 | 0.0206 | 0.0155 | 0.0251 |
| S | 2.9989 | 1.3683 | 1.7076 | 0.3583 | 0.2574 | 0.2855 |
| Cl | 0 | 0.0206 | 0 | 0.3501 | 0.8975 | 0.4557 |
| K | 0.5461 | 0.4708 | 0.5129 | 0.6735 | 0.6226 | 0.6845 |
| Ca | 0.1139 | 0.1004 | 0.1017 | 1.8582 | 1.667 | 1.9297 |
| Ti | 0.0175 | 0.0103 | 0.0144 | 0.1728 | 0.1533 | 0.1639 |
| V | 0.0064 | 0.007 | 0.0064 | 0.0064 | 0.0052 | 0.0049 |
| Cr | 0.002 | 0.0016 | 0.0021 | 0.0037 | 0.0024 | 0.004 |
| Mn | 0.0124 | 0.0083 | 0.0106 | 0.0521 | 0.0475 | 0.054 |
| Fe | 0.2188 | 0.1681 | 0.1862 | 1.827 | 1.6092 | 1.8038 |
| Co | 0.0002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0.0041 | 0.004 | 0.0039 | 0.0008 | 0.001 | 0.0017 |
| Cu | 0.0309 | 0.0231 | 0.02 | 0.0287 | 0.0217 | 0.0263 |
| Zn | 0.0968 | 0.0554 | 0.0664 | 0.0549 | 0.0373 | 0.0405 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0.0003 | 0 | 0 |
| As | 0.0226 | 0.0035 | 0.0047 | 0.0043 | 0.0004 | 0.0014 |
| Se | 0.0002 | 0.0008 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Br | 0.0374 | 0.0318 | 0.0322 | 0.0175 | 0.0166 | 0.018 |
| Rb | 0.0006 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0029 | 0.0022 | 0.0026 |
| Sr | 0.0007 | 0.0005 | 0.0007 | 0.0132 | 0.0112 | 0.0129 |
| Y | 0 | 0.0002 | 0 | 0.0009 | 0.0011 | 0.0009 |
| Zr | 0.0004 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0054 | 0.0045 | 0.0052 |
| Mo | 0.0034 | 0.0023 | 0.0027 | 0.0108 | 0.0122 | 0.014 |
| Pd | 0 | 0.0012 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ag | 0 | 0 | 0.0003 | 0.0011 | 0 | 0.0018 |
| Cd | 0.0013 | 0.0015 | 0.002 | 0.0051 | 0.0033 | 0.0045 |
| In | 0.0036 | 0.0015 | 0.0021 | 0.0012 | 0 | 0 |
| Sn | 0.0056 | 0 | 0 | 0.0039 | 0 | 0 |
| Sb | 0.0021 | 0.0019 | 0.0049 | 0.0015 | 0 | 0 |
| Ba | 0.0034 | 0.0006 | 0 | 0.0351 | 0.0148 | 0.0385 |
| La | 0 | 0 | 0.006 | 0.0065 | 0 | 0.0008 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 0.2693 | 0.1825 | 0.207 | 0.0717 | 0.0577 | 0.064 |
| U | 0 | 0 | 0 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 |
| suma elementos | 4.9823 | 2.9921 | 3.4256 | 17.1896 | 15.281 | 16.99 |

Tabla 8 Concentraciones elementos químicos, mediciones con dicótomo en Estación Talagante, Fracción Fina y Gruesa de MP10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Fracción | Fracción Fina | | | | Fracción Gruesa | | | |
|----------------|---------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|
| Fecha | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 05-01-94 | 30-12-93 | 03-01-94 | 04-01-94 | 05-01-94 |
| Concentración | 18.671 | 12.7809 | 14.8668 | 23.7273 | 35.3921 | 34.7338 | 51.7719 | 37.3361 |
| Elementos | | | | | | | | |
| Na | 0.2084 | 0.2269 | 0.182 | 0.0755 | 0.3417 | 0.7291 | 0.3704 | 0.3469 |
| Mg | 0.0023 | 0.0412 | 0.0153 | 0.0126 | 0.166 | 0.18 | 0.1145 | 0.168 |
| Al | 0.0806 | 0.0583 | 0.1505 | 0.058 | 2.5167 | 2.0935 | 2.6166 | 2.7945 |
| Si | 0.2861 | 0.1669 | 0.314 | 0.1573 | 6.8384 | 5.6358 | 6.2915 | 7.0755 |
| P | 0 | 0 | 0.0008 | 0.0006 | 0.0079 | 0 | 0.0256 | 0 |
| S | 2.0891 | 1.501 | 1.1629 | 0.9785 | 0.2855 | 0.3068 | 0.8301 | 0.3572 |
| Cl | 0.0152 | 0.0056 | 0.2938 | 0.6039 | 1.1346 | 2.9294 | 3.5376 | 1.4679 |
| K | 0.6551 | 0.2122 | 0.2253 | 0.8146 | 0.5536 | 0.5143 | 0.5158 | 0.6268 |
| Ca | 0.0635 | 0.0419 | 0.0439 | 0.0353 | 1.2533 | 1.0775 | 1.0948 | 1.239 |
| Ti | 0.0008 | 0.0032 | 0.009 | 0.0053 | 0.124 | 0.1025 | 0.1188 | 0.1435 |
| V | 0 | 0.0008 | 0.0022 | 0.0013 | 0.0031 | 0.002 | 0 | 0.0069 |
| Cr | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0002 | 0.002 | 0.0013 | 0 | 0.0003 |
| Mn | 0.0033 | 0.0018 | 0.0027 | 0.0021 | 0.0406 | 0.0355 | 0.0381 | 0.0431 |
| Fe | 0.0926 | 0.0483 | 0.0608 | 0.0595 | 1.3766 | 1.1421 | 1.2598 | 1.4715 |
| Co | 0.0003 | 0.0005 | 0 | 0.0004 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0.0007 | 0.0009 | 0.0007 | 0.0013 | 0.0008 | 0.0004 | 0 | 0 |
| Cu | 0.0163 | 0.0022 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0643 | 0.0186 | 0.0337 | 0.0114 |
| Zn | 0.0202 | 0.0042 | 0.0047 | 0.0063 | 0.0294 | 0.0092 | 0.0106 | 0.0108 |
| Ga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0.0131 | 0.002 | 0.0019 | 0.0036 | 0.0038 | 0.0014 | 0.0014 | 0.0013 |
| Se | 0 | 0 | 0 | 0.0007 | 0 | 0.0002 | 0 | 0 |
| Br | 0.0067 | 0.0053 | 0.0058 | 0.0053 | 0.003 | 0.0033 | 0.0037 | 0.0031 |
| Rb | 0.0007 | 0.0005 | 0.0003 | 0.001 | 0.0026 | 0.0019 | 0.0022 | 0.0026 |
| Sr | 0.0005 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0107 | 0.0093 | 0.0104 | 0.0104 |
| Y | 0 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0008 |
| Zr | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0038 | 0.0027 | 0.0035 | 0.0042 |
| Mo | 0.0001 | 0.0001 | 0 | 0 | 0.001 | 0.0003 | 0.0013 | 0.001 |
| Pd | 0.0004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0007 | 0 | 0 |
| Ag | 0 | 0 | 0 | 0.0005 | 0.0003 | 0.0016 | 0.0005 | 0 |
| Cd | 0 | 0 | 0.0004 | 0.0029 | 0.0037 | 0.0021 | 0.0011 | 0.0022 |
| In | 0.0002 | 0.0007 | 0.0016 | 0.0007 | 0.0038 | 0 | 0.0034 | 0 |
| Sn | 0.0026 | 0.0021 | 0.0005 | 0 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0026 | 0.0016 |
| Sb | 0.0045 | 0.0046 | 0.0008 | 0.0027 | 0.0028 | 0 | 0.0026 | 0 |
| Ba | 0.0178 | 0.0025 | 0.0086 | 0 | 0.0255 | 0.0239 | 0.0217 | 0 |
| La | 0 | 0.0023 | 0.0101 | 0.0056 | 0 | 0 | 0.0228 | 0 |
| Au | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tl | 0 | 0 | 0 | 0.0001 | 0.0002 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 0.038 | 0.0167 | 0.02 | 0.0158 | 0.0162 | 0.0063 | 0.0064 | 0.008 |
| U | 0 | 0.0001 | 0 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0007 | 0 | 0.0003 |
| suma elementos | 3.4088 | 2.0859 | 2.3248 | 2.7676 | 14.3095 | 13.9246 | 16.4575 | 15.284 |

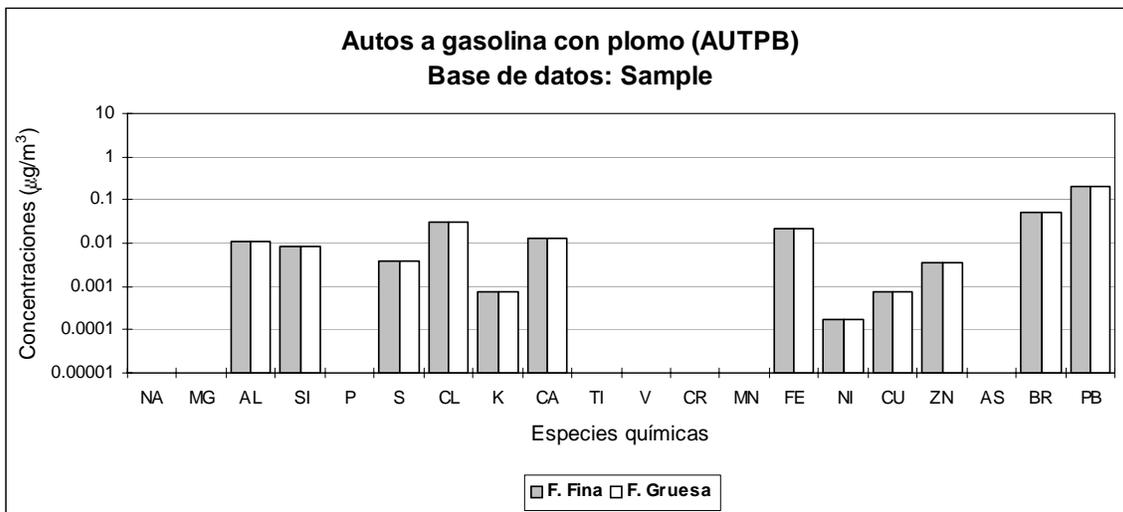
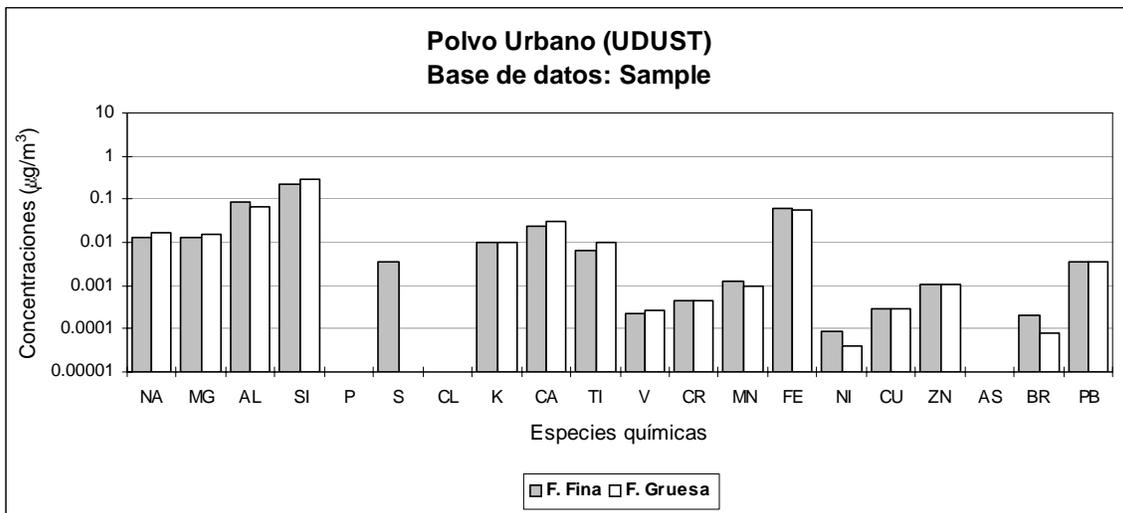
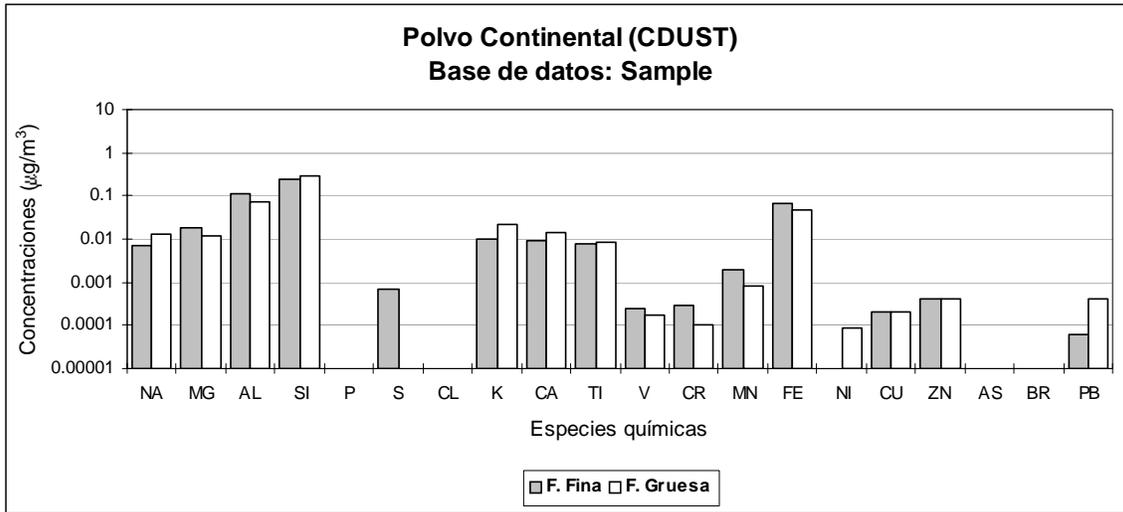
Tabla 9 Concentraciones especies iónicas en fracción fina de MP10, mediciones con dicótomo en estaciones A, B, D, M, La Dehesa y Talagante (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

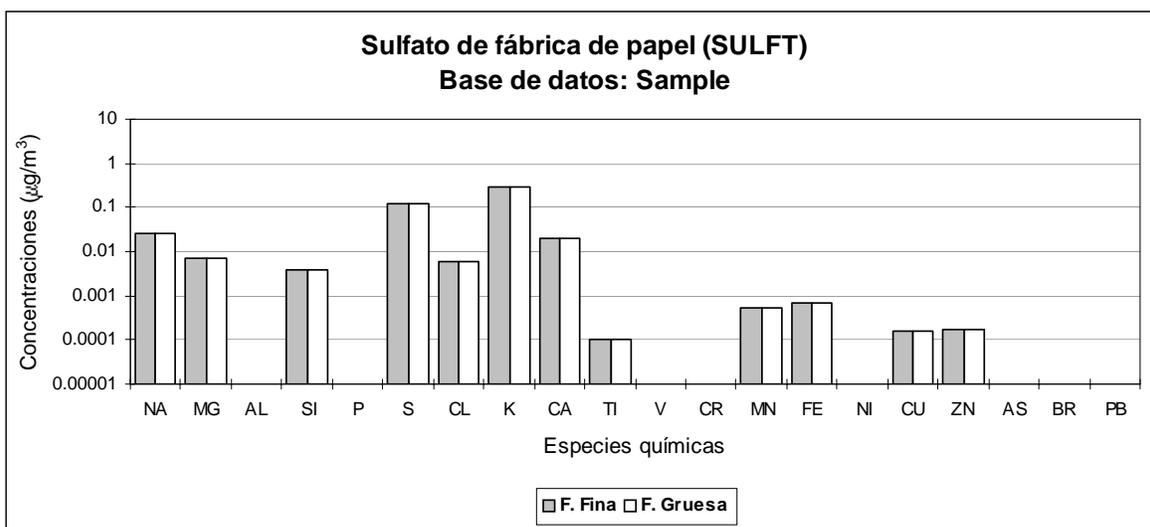
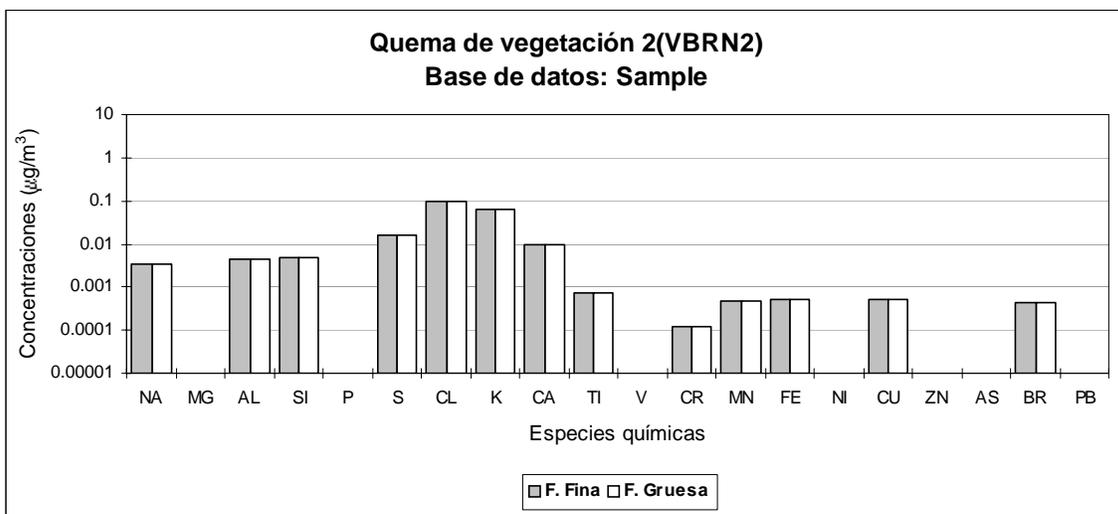
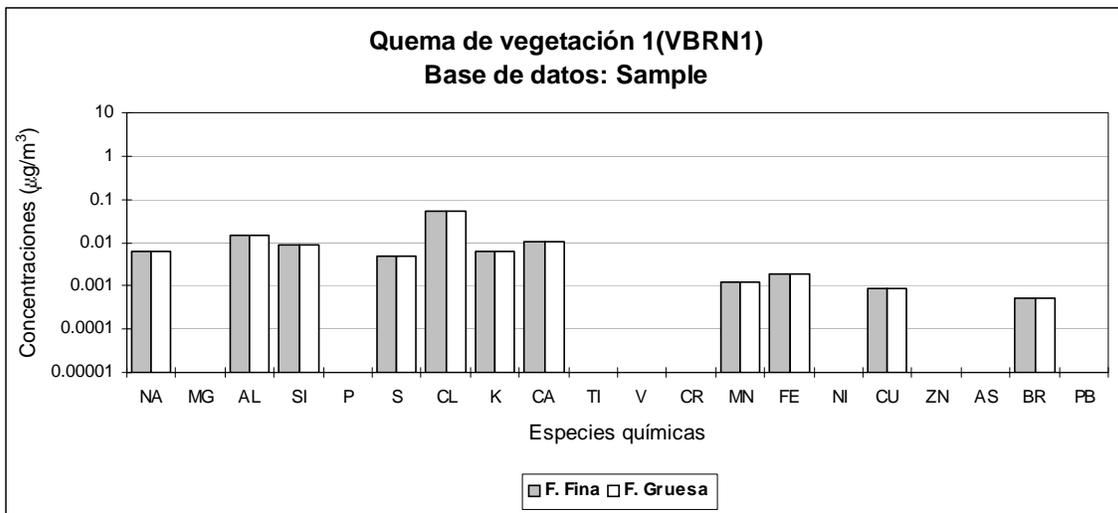
| Estación | Fecha | Cl | NO3 | SO4 | NH4 | Na+ | K |
|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | 06-01-94 | 0.5688 | 1.4729 | 4.7677 | 1.3691 | 0.6089 | 0.9721 |
| B | 30-12-93 | 0.1381 | 1.4993 | 7.4357 | 2.2621 | 0.5503 | 1.0929 |
| B | 03-01-94 | 0.1708 | 1.2355 | 4.3646 | 1.3977 | 0.5122 | 0.5994 |
| B | 04-01-94 | 0.0927 | 0.9234 | 4.3011 | 1.238 | 0.4234 | 0.5405 |
| B | 05-01-94 | 0.1975 | 1.9267 | 7.0663 | 2.2148 | 0.4676 | 1.1925 |
| D | 06-01-94 | 0.662 | 1.3241 | 3.6592 | 0.8367 | 0.5402 | 0.8685 |
| M | 30-12-93 | 0.126 | 1.4225 | 7.8947 | 2.8683 | 0.4823 | 0.708 |
| M | 03-01-94 | 0.2479 | 1.4269 | 4.0573 | 1.4729 | 0.477 | 0.4219 |
| M | 04-01-94 | 0.0849 | 1.5153 | 4.6252 | 1.6798 | 0.3967 | 0.5509 |
| M | 05-01-94 | 0.112 | 1.8829 | 7.6015 | 2.8918 | 0.3656 | 0.8506 |
| M | 06-01-94 | 0.0396 | 0.8363 | 3.808 | 1.255 | 0.3314 | 0.5124 |
| La Dehesa | 06-01-94 | 0.0328 | 0.596 | 3.807 | 1.2596 | 0.3168 | 0.4831 |
| Talagante | 06-01-94 | 0.0862 | 0.3561 | 3.0057 | 0.8912 | 0.4219 | 0.2431 |

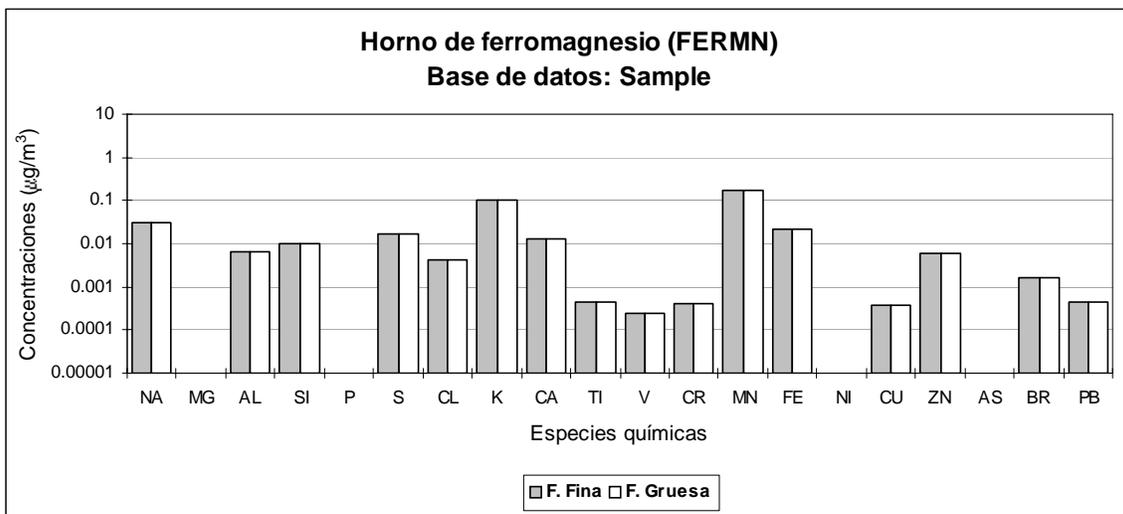
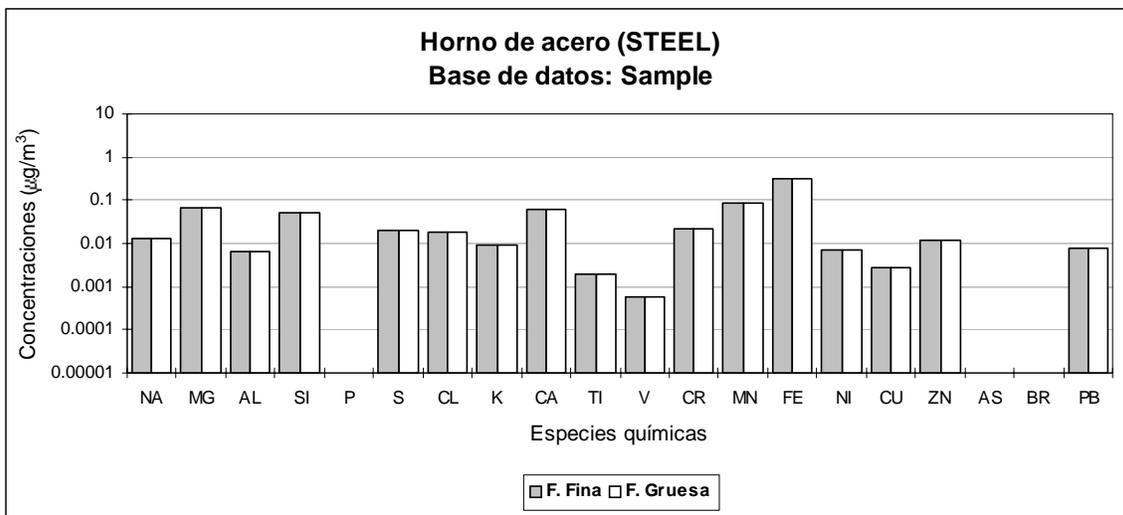
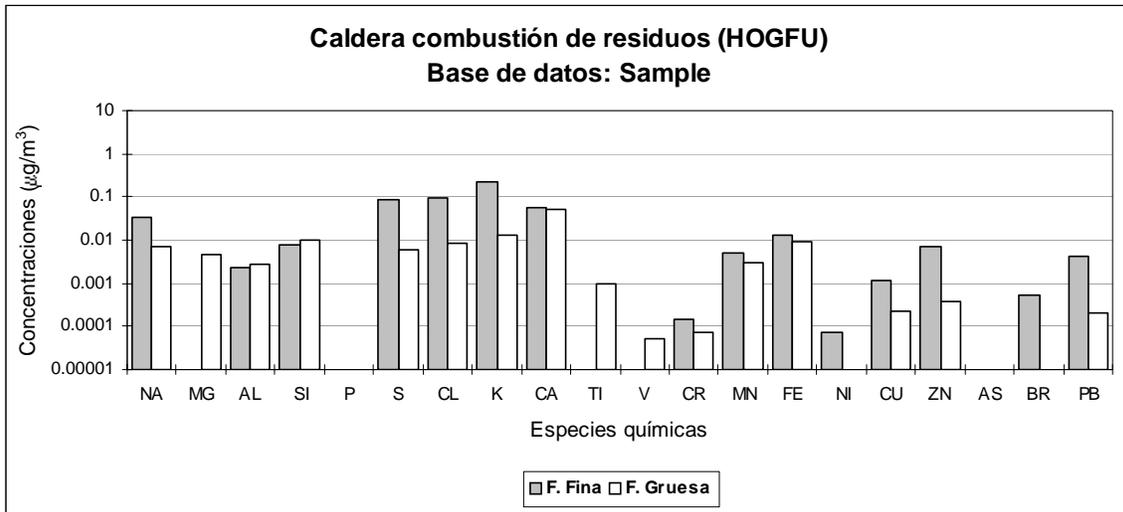
Tabla 10 Concentraciones especies iónicas en fracción gruesa de MP10, mediciones con dicótomo en estaciones A, B, D, M, La Dehesa y Talagante (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

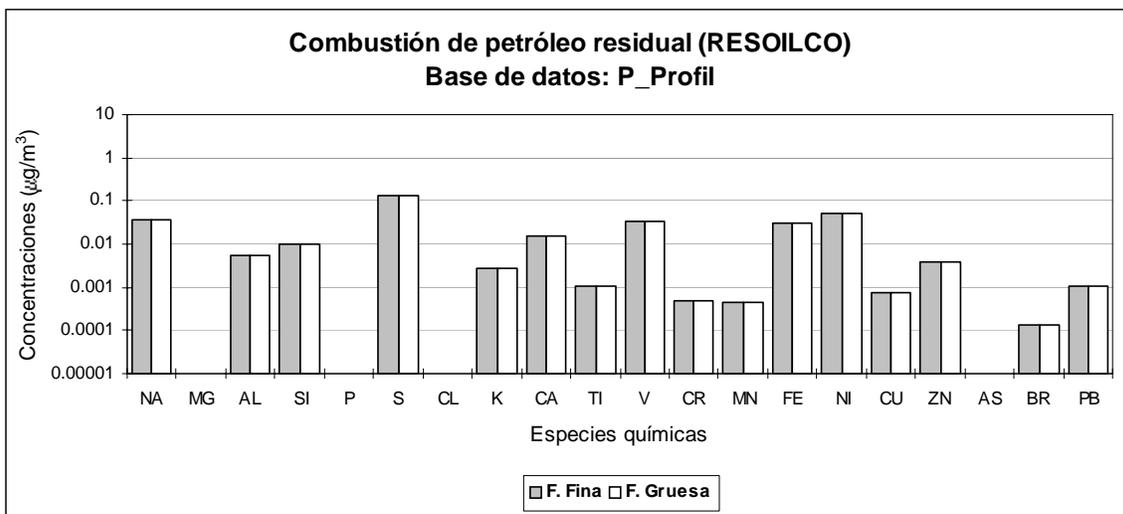
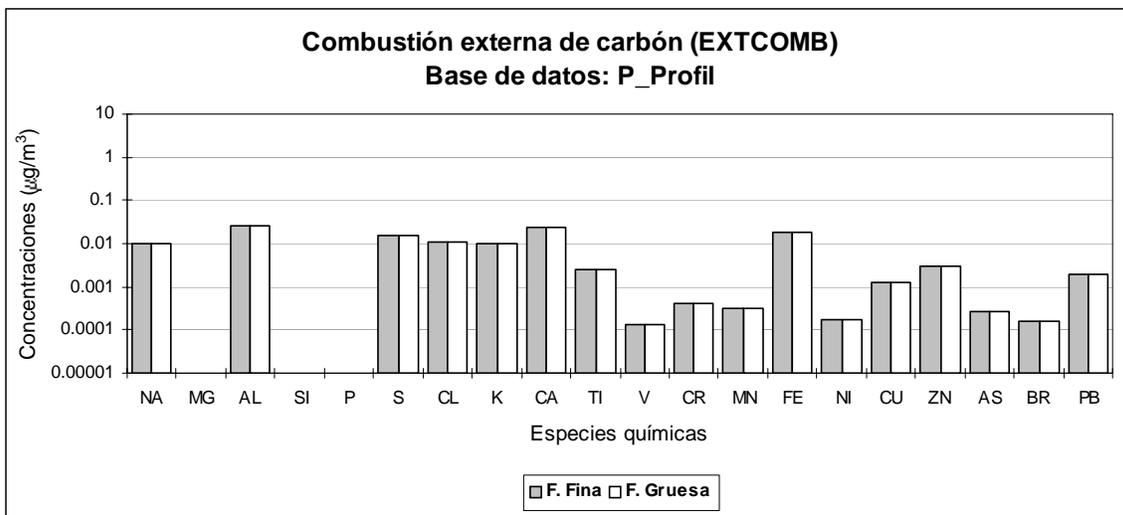
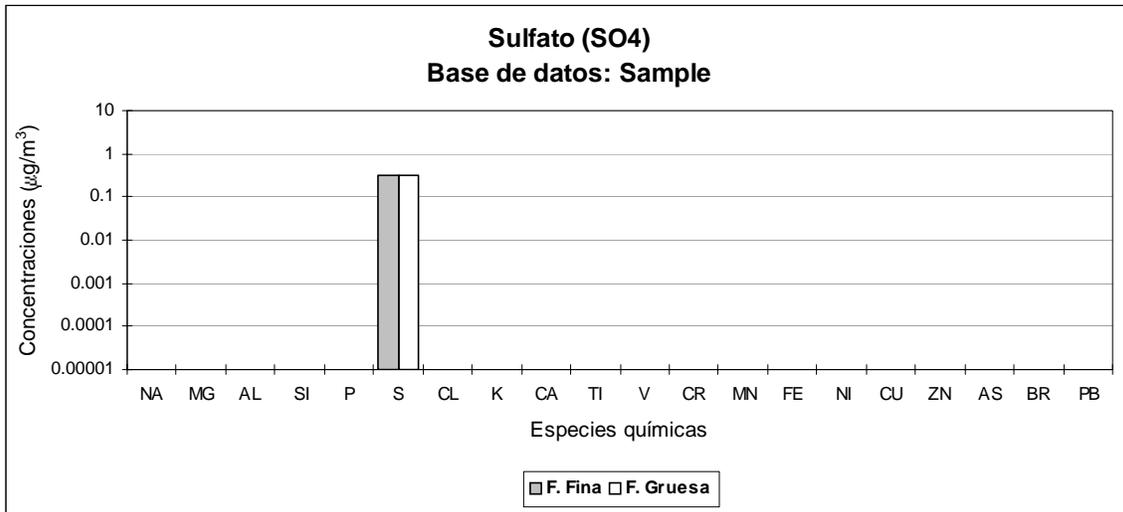
| Estación | Fecha | Cl | NO3 | SO4 | NH4 | Na+ | K |
|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | 06-01-94 | 1.2747 | 1.3507 | 0.8743 | 0.0632 | 0.9435 | 0.126 |
| B | 30-12-93 | 1.0555 | 1.4665 | 1.1909 | 0.051 | 0.6992 | 0.1303 |
| B | 03-01-94 | 1.5756 | 1.1882 | 1.0478 | 0.0366 | 1.0051 | 0.1301 |
| B | 04-01-94 | 1.2125 | 1.3097 | 1.0892 | 0.0748 | 0.8134 | 0.1285 |
| B | 05-01-94 | 1.103 | 1.7458 | 1.1227 | 0.0557 | 0.7959 | 0.1412 |
| D | 06-01-94 | 1.1152 | 0.9413 | 0.7876 | 0.0509 | 0.6971 | 0.1416 |
| M | 30-12-93 | 0.5047 | 2.3399 | 1.1678 | 0.0193 | 0.6178 | 0.1202 |
| M | 03-01-94 | 1.1703 | 1.9598 | 0.9358 | 0.0504 | 0.8821 | 0.117 |
| M | 04-01-94 | 0.6748 | 2.3092 | 0.9157 | 0.0627 | 0.6152 | 0.1102 |
| M | 05-01-94 | 0.4391 | 2.5824 | 0.8815 | 0.0419 | 0.5744 | 0.1245 |
| M | 06-01-94 | 0.4572 | 1.8651 | 0.6583 | 0.0741 | 0.5072 | 0.0939 |
| La Dehesa | 06-01-94 | 0.4137 | 2.0266 | 0.5925 | 0.1195 | 0.493 | 0.0921 |
| Talagante | 06-01-94 | 1.9969 | 1.0784 | 0.6938 | 0 | 1.2951 | 0.122 |

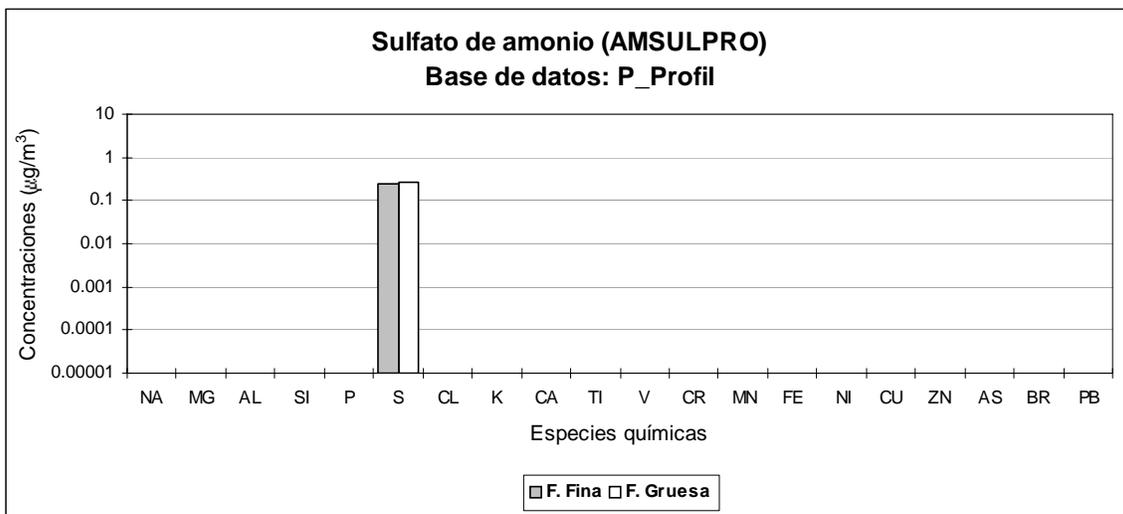
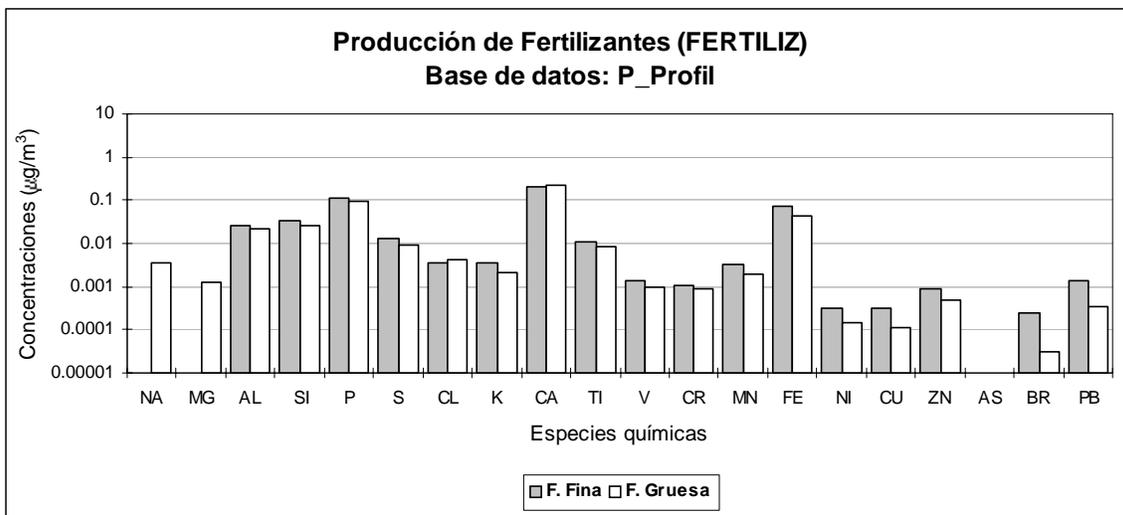
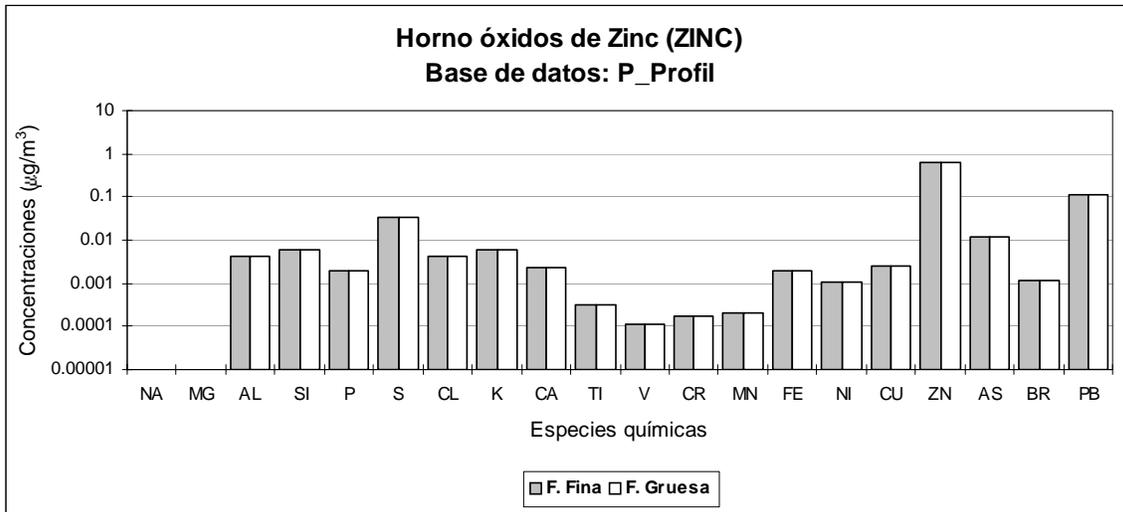
Anexo 3: Perfiles de fuentes emisoras de MP10

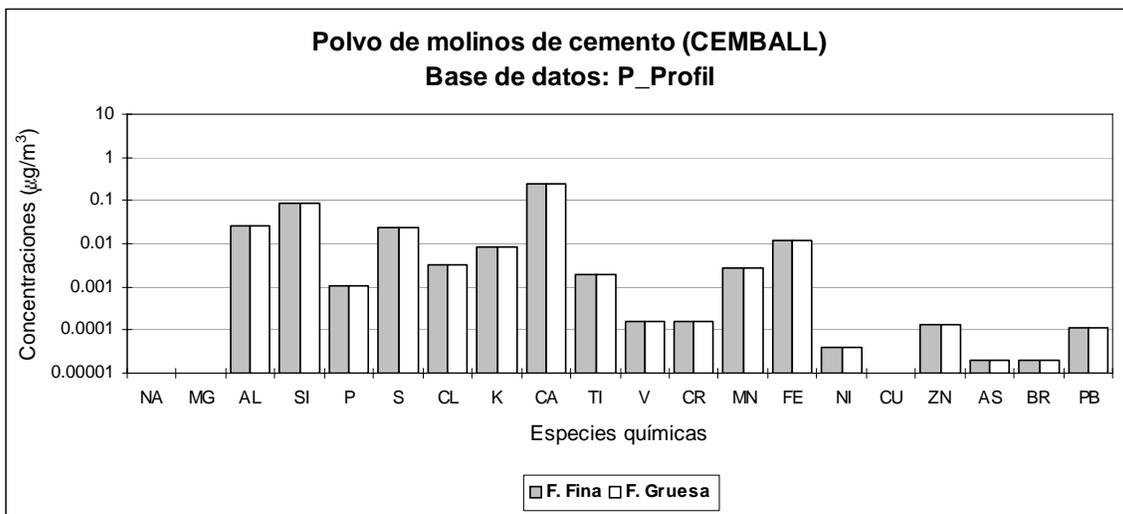
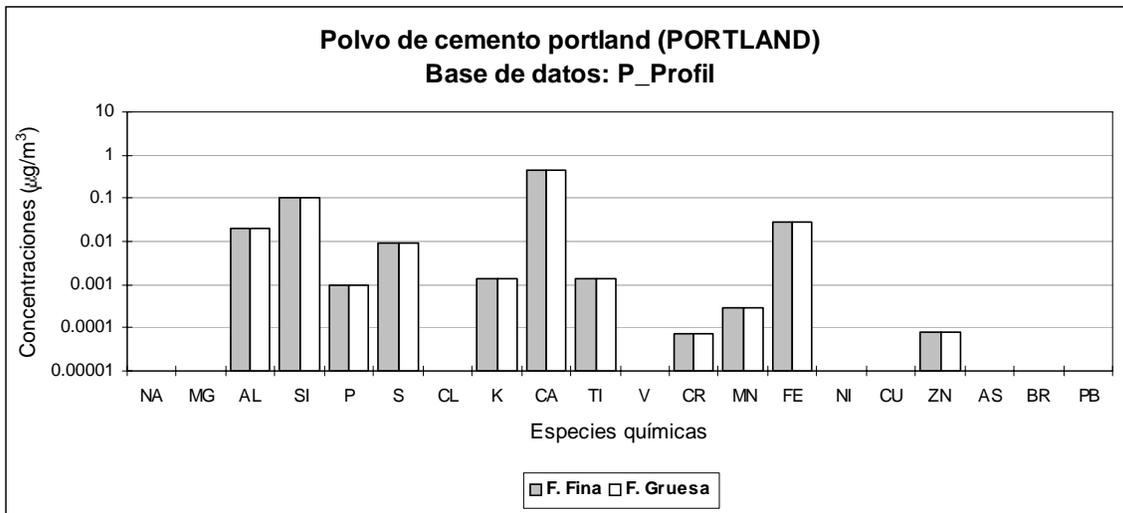
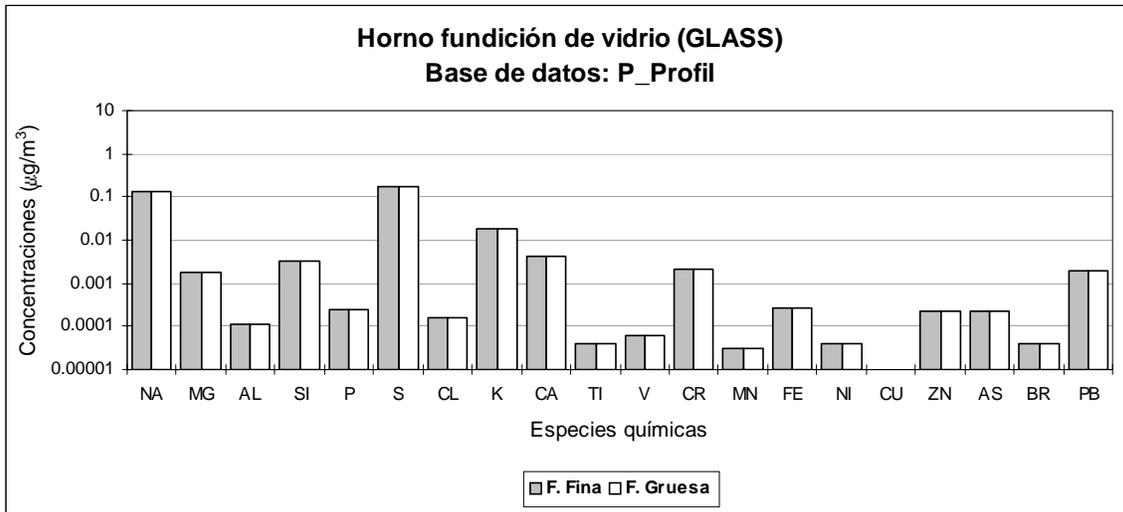


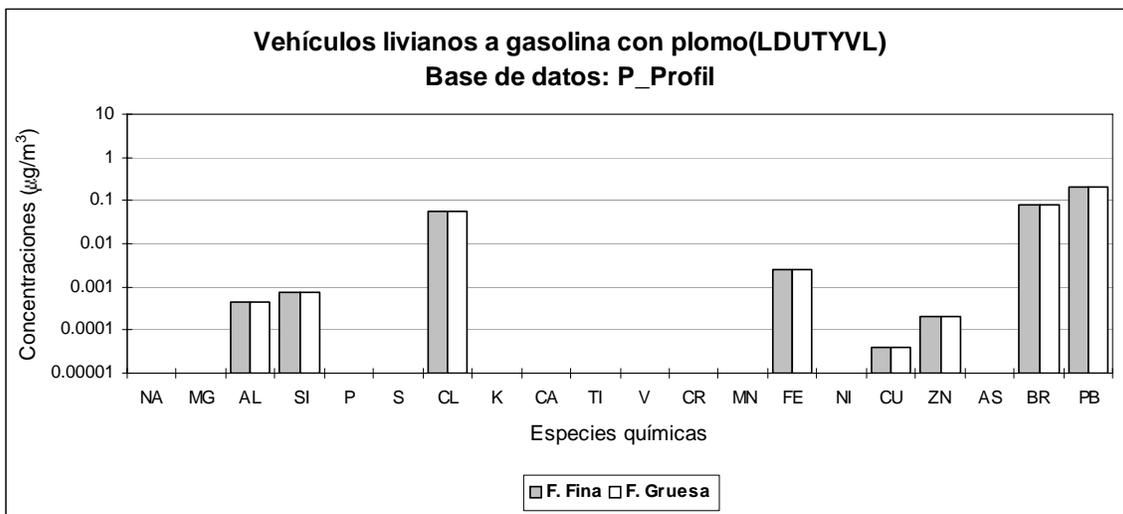
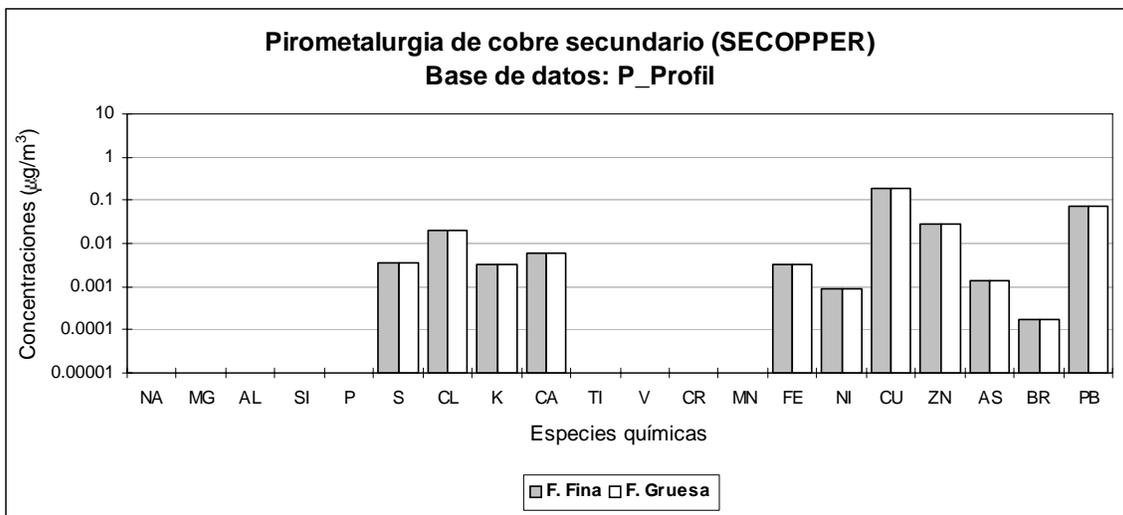
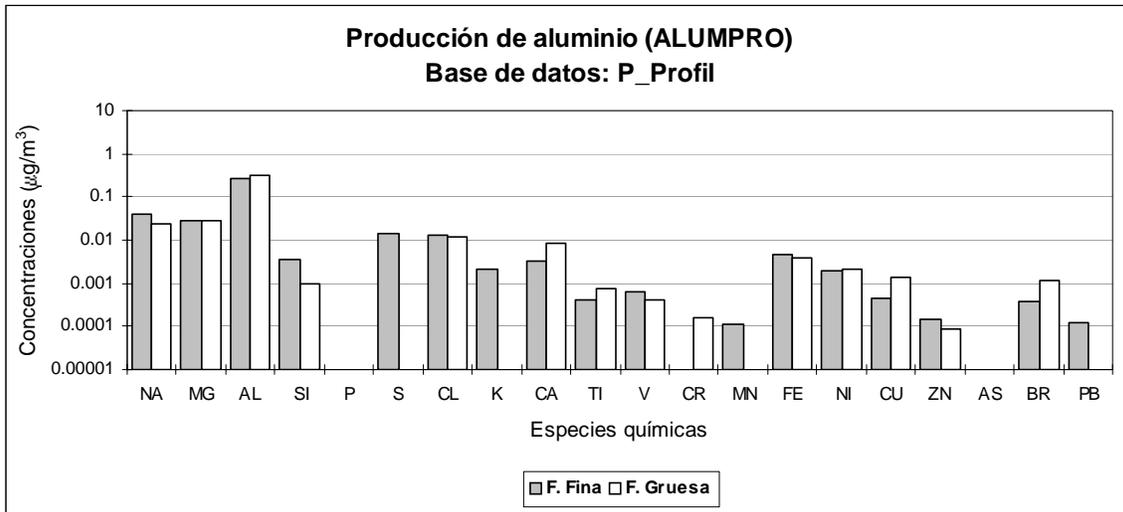


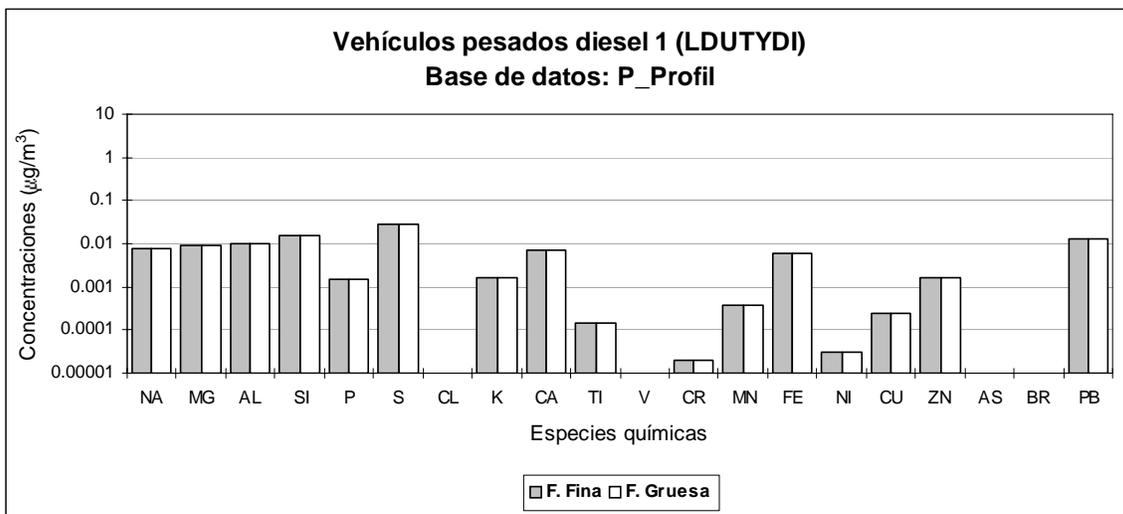
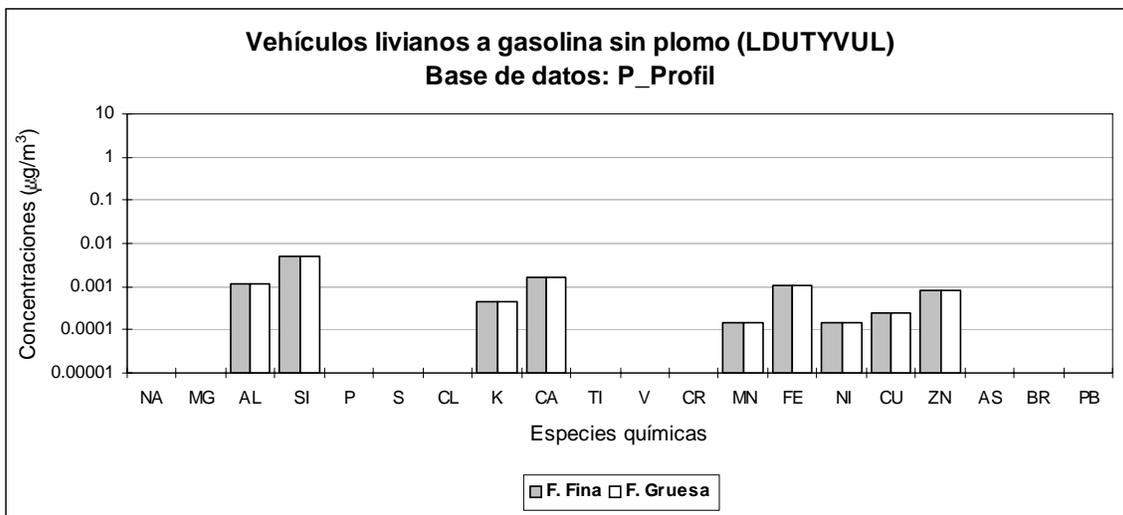
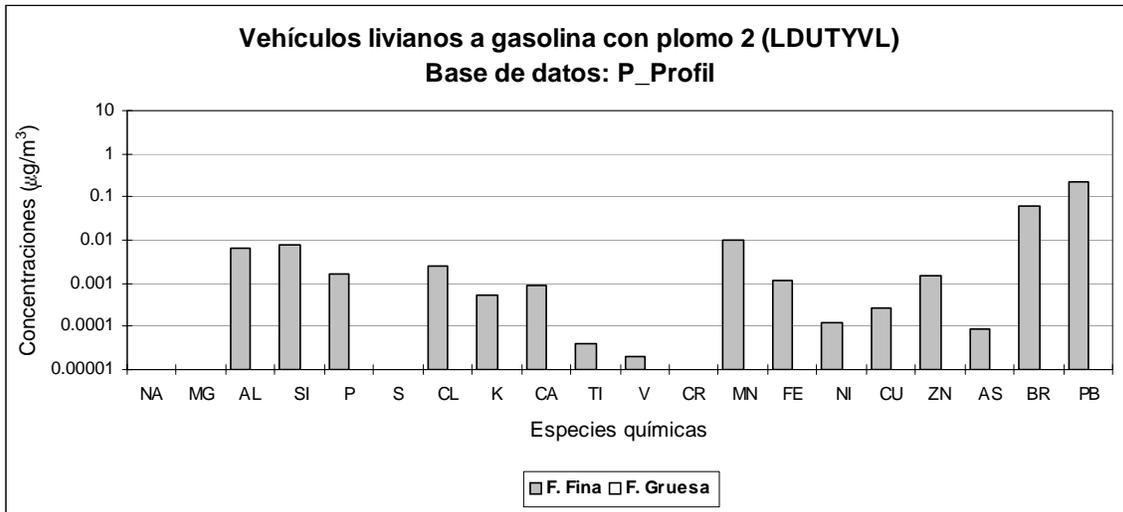


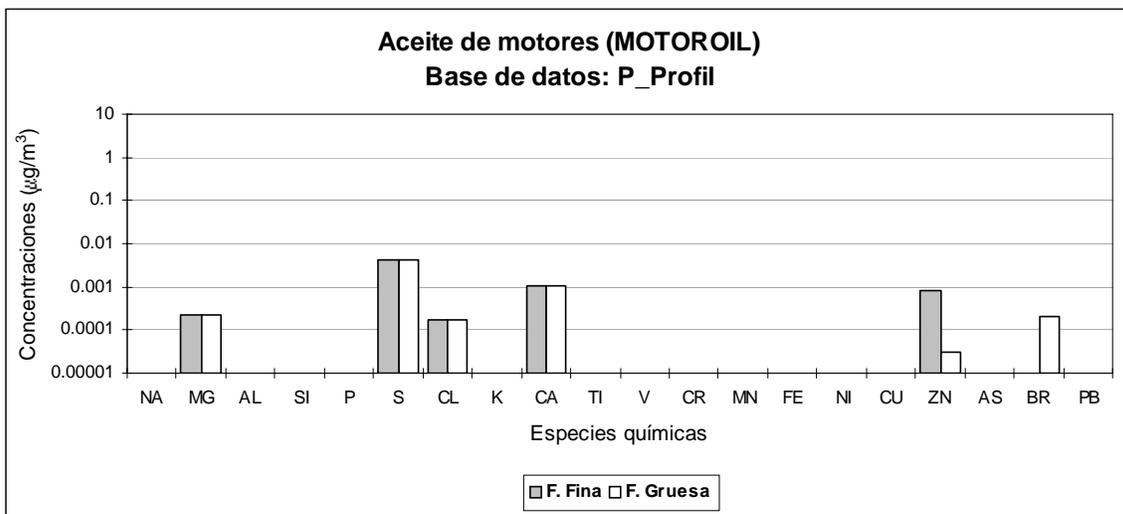
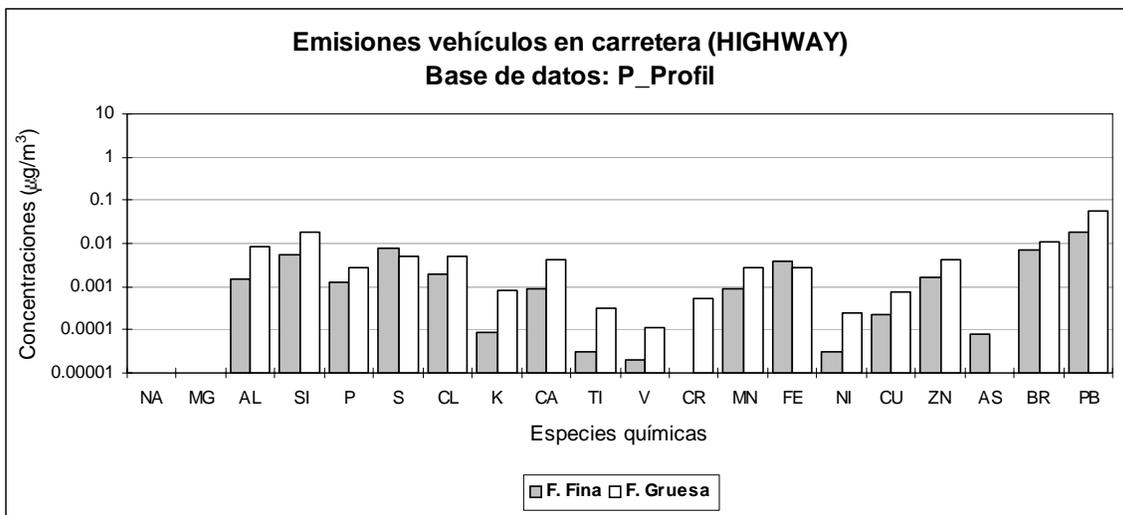
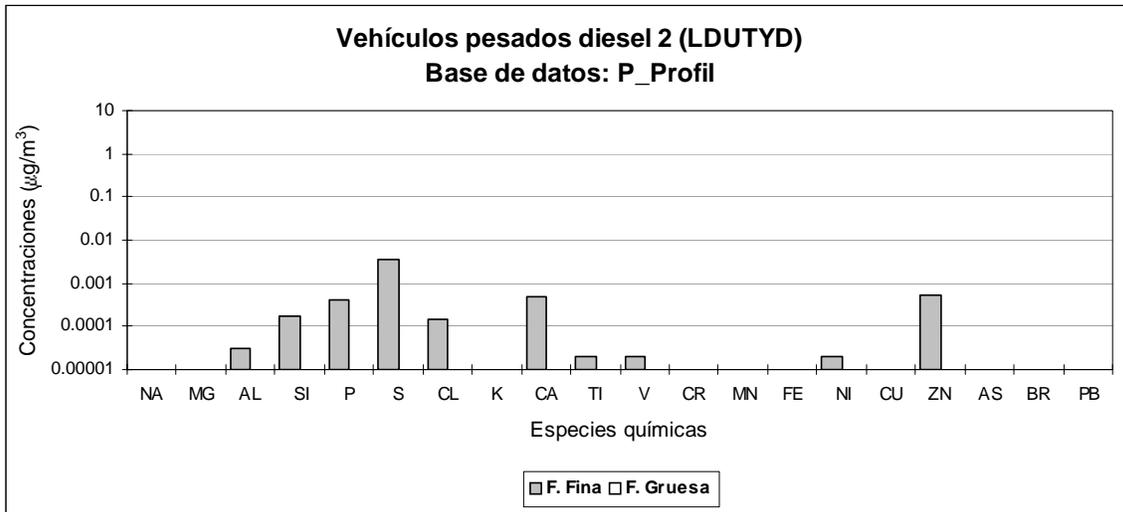


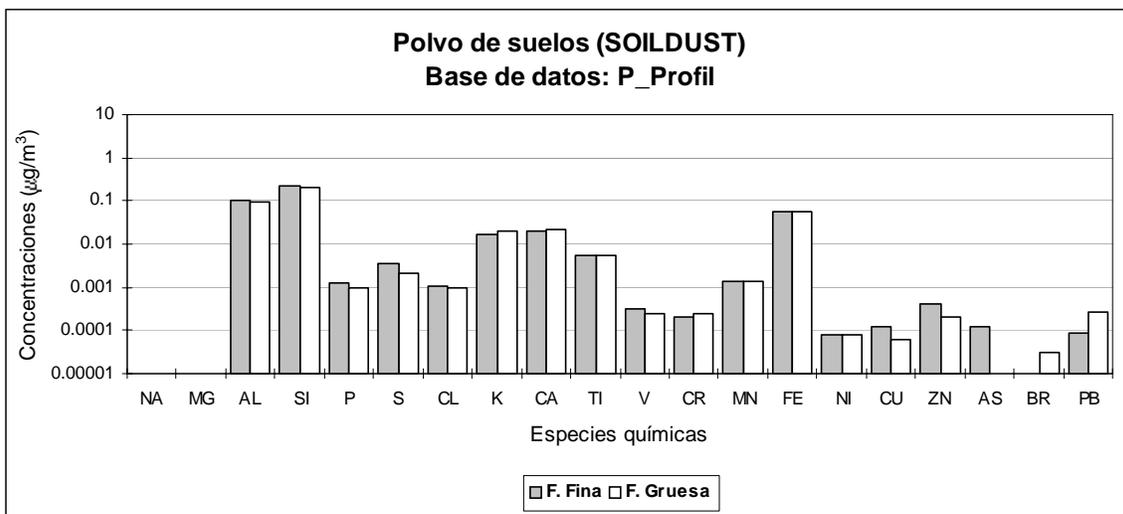
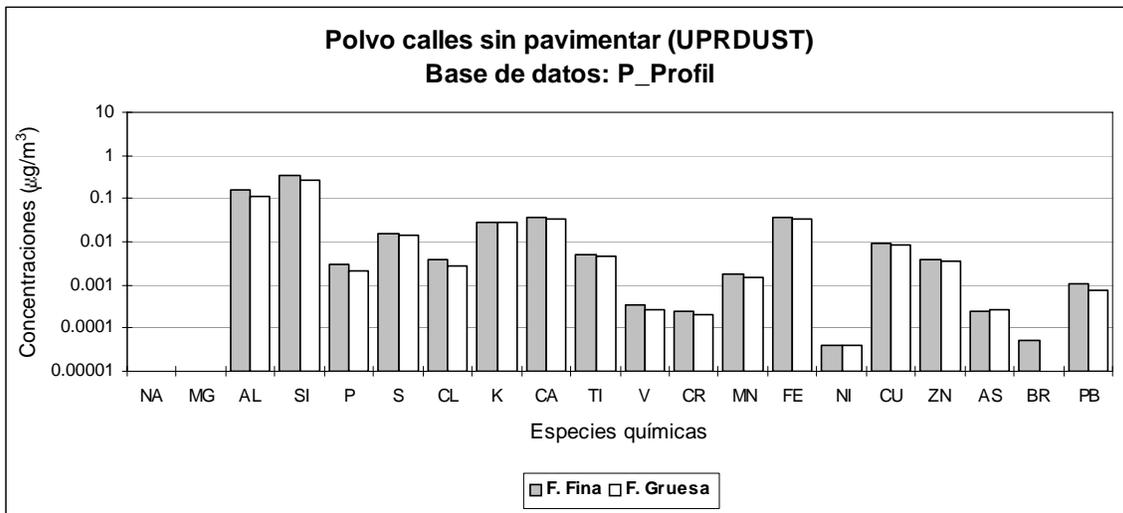
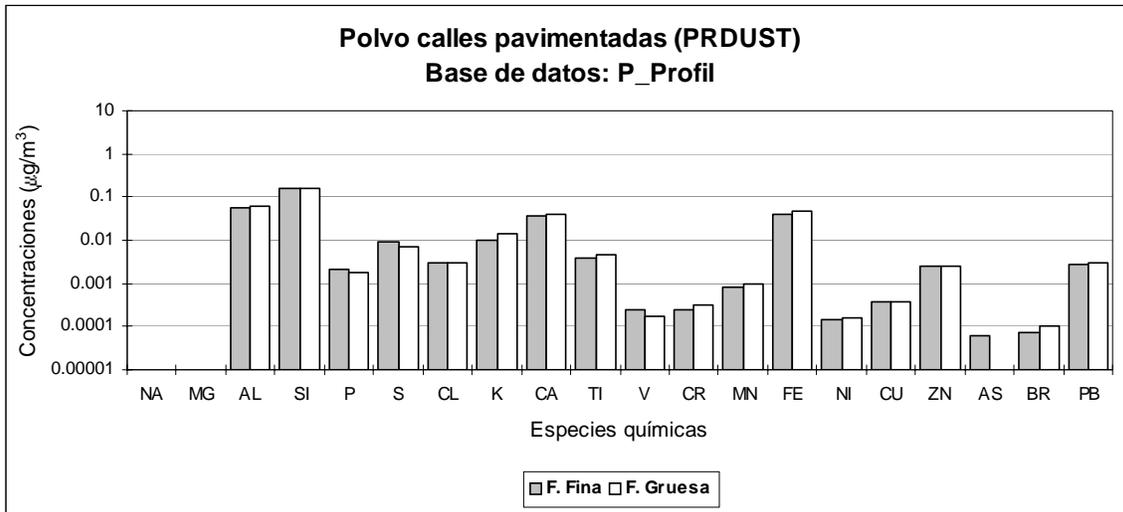


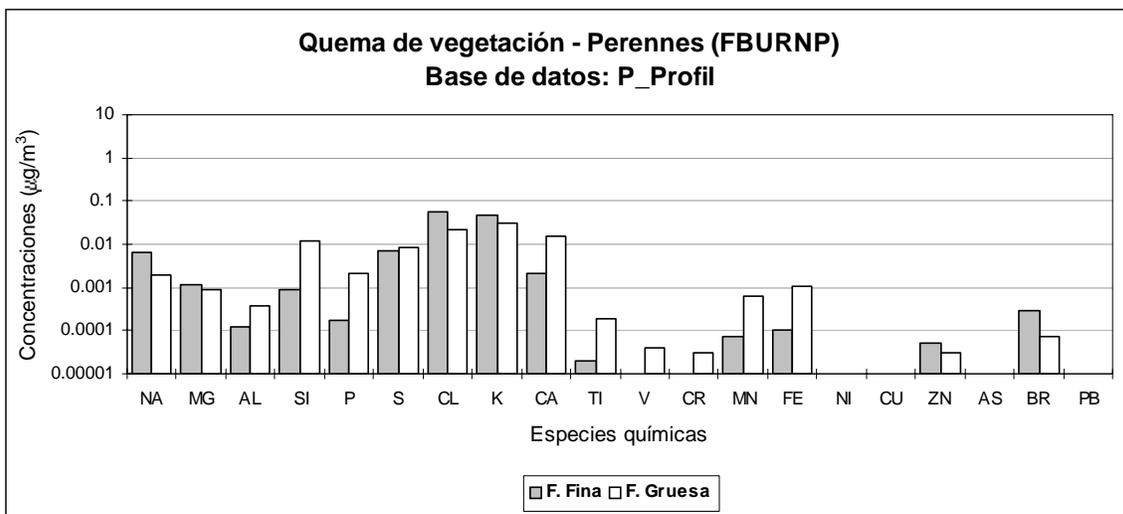
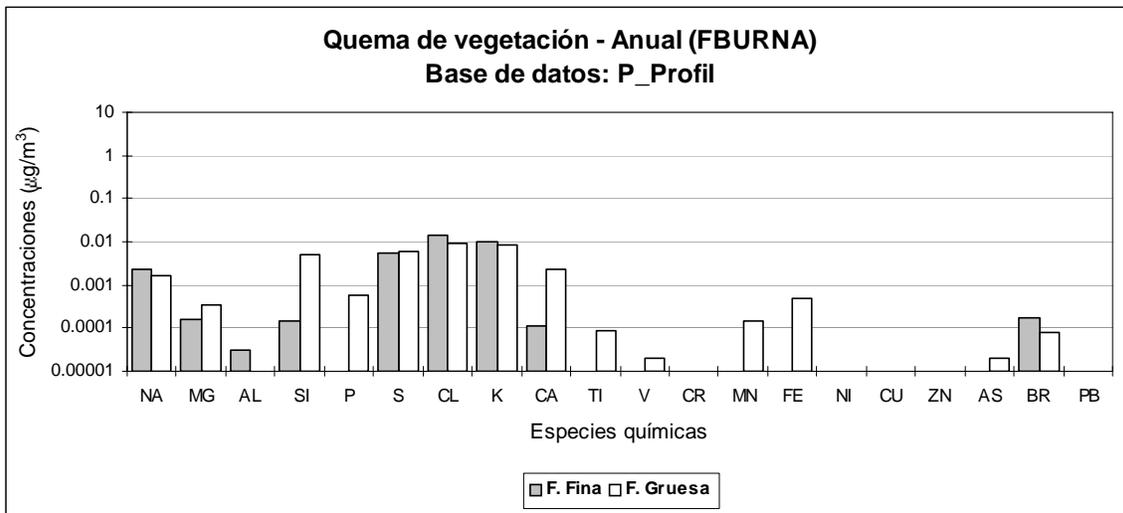
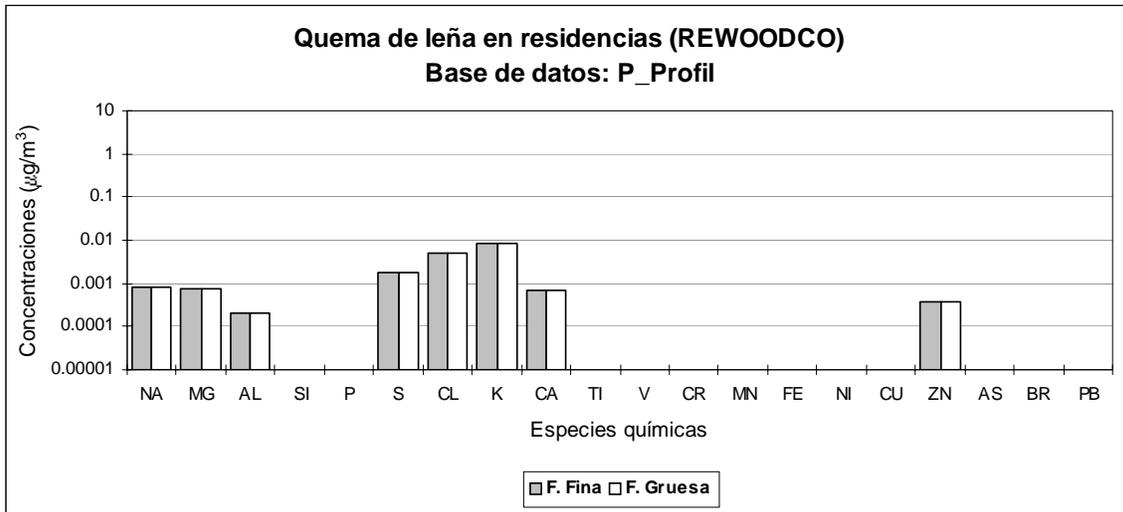


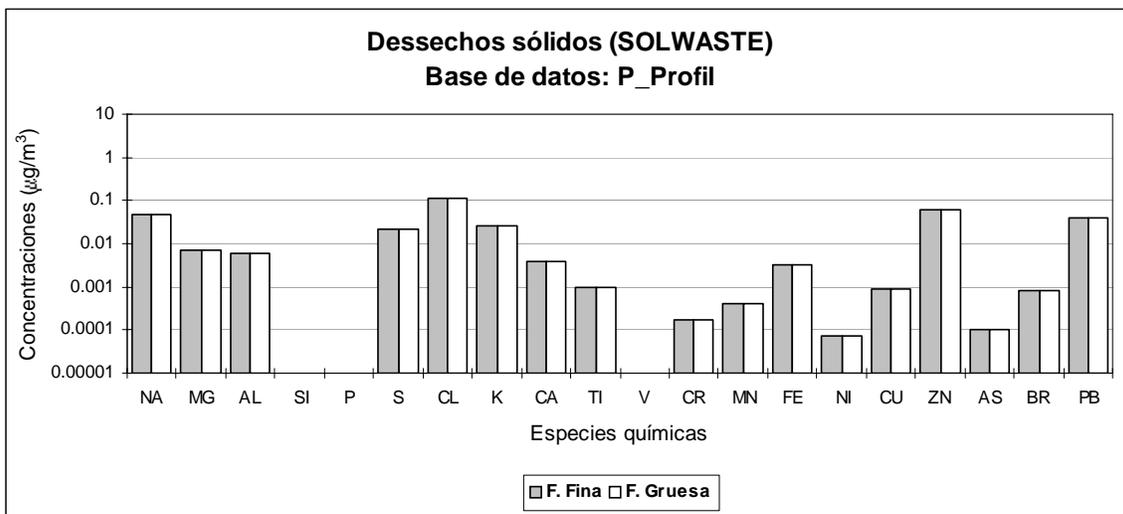
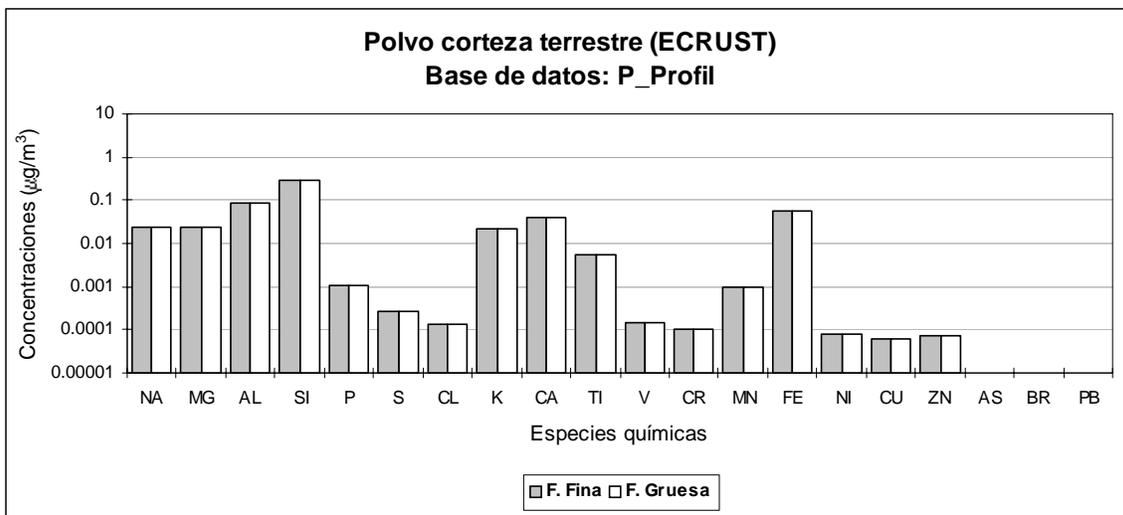
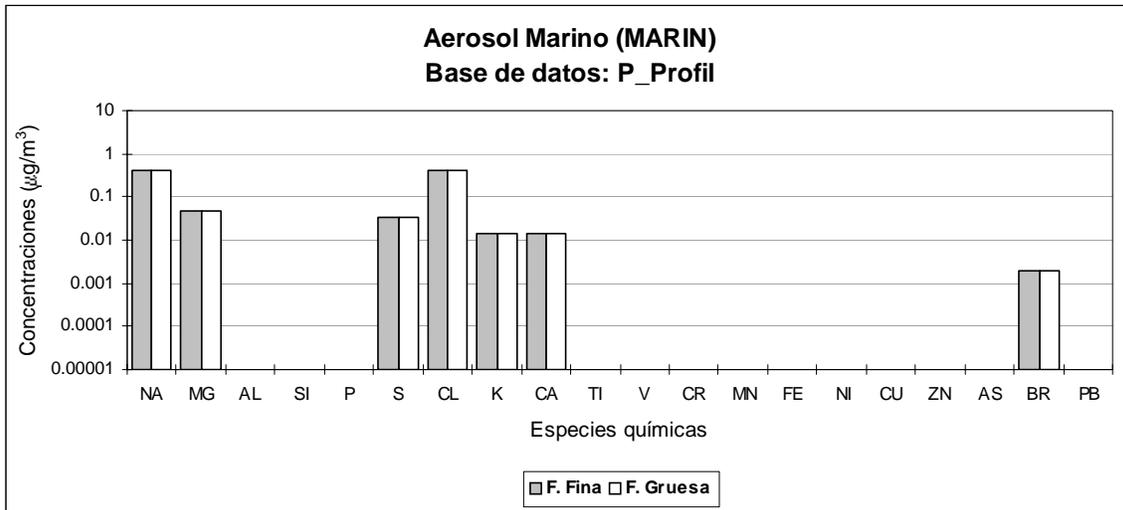


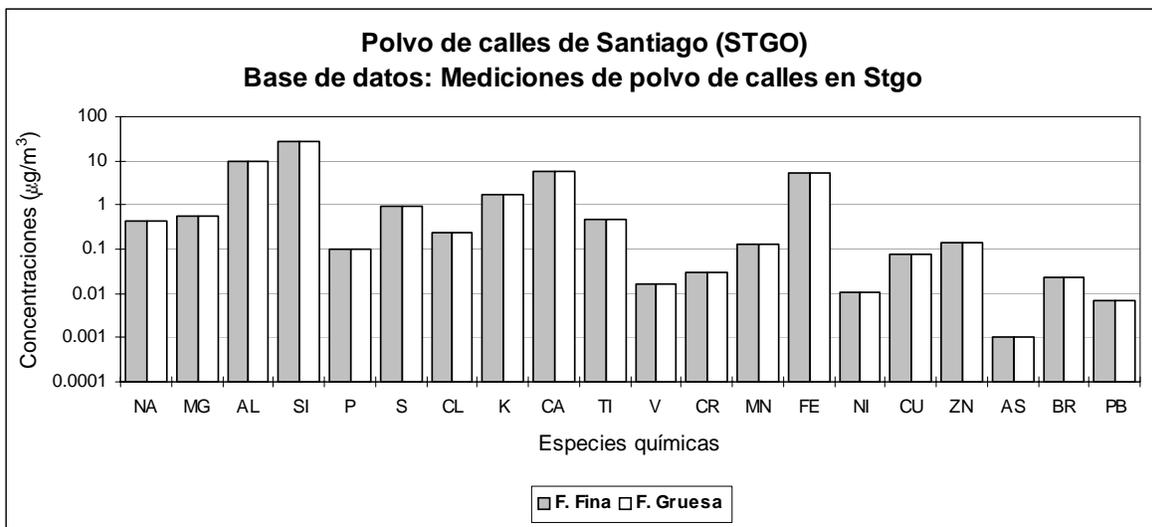
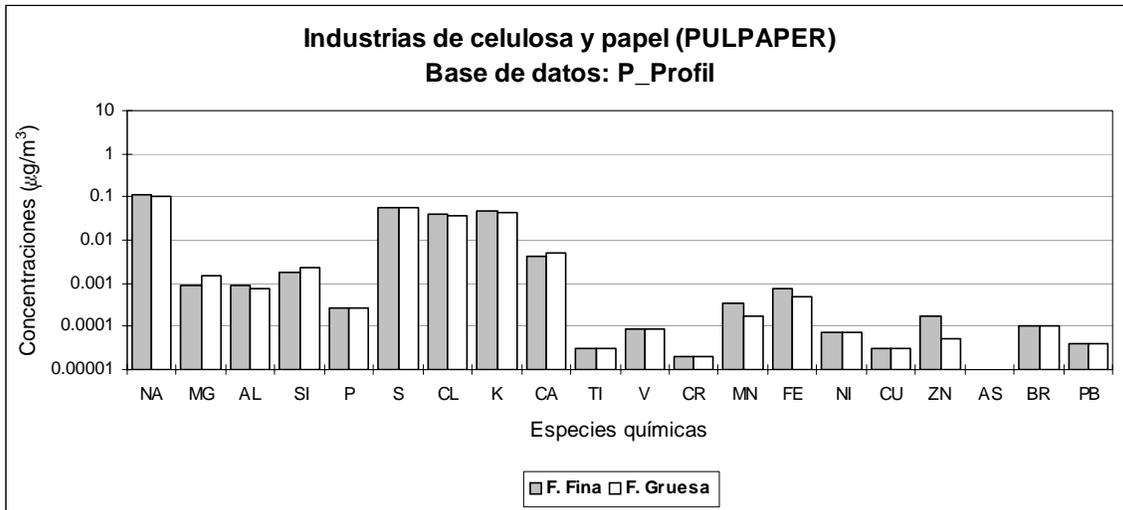












Anexo 4: Salidas aplicación de CMB7

Resultados CMB7 fracción Fina Campaña 1 y 11 de Septiembre de 1993

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (FINE) DATE: 01/09/93

R SQUARE .97 PERCENT MASS 63.7
CHI SQUARE 4.12 DF 9

SOURCE TYPE SCE(UG/M3) STD ERR TSTAT

4 AUTPB 3.7513 .6974 5.3787
12 STEEL .1884 .0375 5.0306
13501 RESOILCO .9308 .1684 5.5286
20501 ZINC .3053 .0248 12.2896
25410 AMSULPRO 14.0808 1.0078 13.9721
29502 SECOPPER .3020 .0263 11.4928
32202 HDUTYDI 30.5723 3.5506 8.6105
42323 FBURNP 7.1589 1.6851 4.2483

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

89.9+ 4.6/ 57.7+ 6.8/ 147.6+ 8.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (FINE) DATE: 11/09/93

R SQUARE .96 PERCENT MASS 83.9
CHI SQUARE 6.99 DF 10

SOURCE TYPE SCE(UG/M3) STD ERR TSTAT

13501 RESOILCO .3146 .0687 4.5789
20501 ZINC .1874 .0162 11.5714
25410 AMSULPRO 9.3546 .7514 12.4502
29502 SECOPPER .1572 .0208 7.5509
31101 LDUTYVL 4.0591 .2067 19.6367
32202 HDUTYDI 31.4955 2.4275 12.9747
42322 FBURNA 31.0352 2.5099 12.3653

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

91.3+ 4.7/ 49.9+ 6.7/ 141.2+ 8.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (FINE) DATE: 01/09/93

R SQUARE .97 PERCENT MASS 80.7
CHI SQUARE 5.69 DF 9

SOURCE TYPE SCE(UG/M3) STD ERR TSTAT

4 AUTPB 6.0786 .8848 6.8700
12 STEEL .2071 .0362 5.7143
13501 RESOILCO .4095 .0868 4.7166
20501 ZINC .2457 .0232 10.5710
25410 AMSULPRO 14.7488 .9567 15.4167
29502 SECOPPER .4976 .0326 15.2727
32202 HDUTYDI 20.4420 2.7480 7.4389
42322 FBURNA 23.5317 2.2619 10.4036

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

82.0+ 4.2/ 48.3+ 6.1/ 130.2+ 7.4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (FINE)**DATE: 11/09/93**R SQUARE .96 PERCENT MASS 91.6
CHI SQUARE 8.03 DF 10

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 13501 | RESOILCO | .2509 | .0571 | 4.3930 |
| 20501 | ZINC | .1254 | .0131 | 9.5843 |
| 25410 | AMSULPRO | 10.3017 | .7597 | 13.5593 |
| 29502 | SECOPPER | .3751 | .0267 | 14.0744 |
| 31101 | LDUTYVL | 5.0926 | .2475 | 20.5759 |
| 32202 | HDUTYDI | 27.8965 | 2.2138 | 12.6009 |
| 42322 | FBURNA | 23.2232 | 2.4163 | 9.6110 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

73.5+ 3.8/ 41.0+ 5.4/ 114.4+ 6.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: C (FINE)**DATE: 01/09/93**R SQUARE .96 PERCENT MASS 88.6
CHI SQUARE 7.71 DF 8

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 4 | AUTPB | 2.9095 | .6030 | 4.8249 |
| 12 | STEEL | .1691 | .0374 | 4.5184 |
| 13501 | RESOILCO | .7761 | .1435 | 5.4079 |
| 20501 | ZINC | .2915 | .0242 | 12.0214 |
| 25410 | AMSULPRO | 8.6659 | 1.3604 | 6.3700 |
| 27102 | GLASS | 4.9321 | 1.3275 | 3.7154 |
| 29502 | SECOPPER | .2790 | .0270 | 10.3175 |
| 32202 | HDUTYDI | 35.4770 | 3.7142 | 9.5518 |
| 42322 | FBURNA | 22.7838 | 2.7312 | 8.3420 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

86.1+ 4.4/ 60.7+ 6.6/ 146.7+ 7.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: C (FINE)**DATE: 11/09/93**R SQUARE .97 PERCENT MASS 57.4
CHI SQUARE 5.53 DF 10

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 13501 | RESOILCO | .2256 | .0519 | 4.3497 |
| 20501 | ZINC | .2071 | .0155 | 13.3692 |
| 25410 | AMSULPRO | 9.2862 | .6611 | 14.0459 |
| 29502 | SECOPPER | .1491 | .0171 | 8.7023 |
| 31101 | LDUTYVL | 2.4012 | .1225 | 19.5950 |
| 32202 | HDUTYDI | 24.6194 | 1.9839 | 12.4094 |
| 42323 | FBURNP | 5.1803 | 1.2240 | 4.2322 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

73.3+ 3.8/ 36.7+ 5.3/ 110.0+ 6.5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (FINE)

DATE: 01/09/93

R SQUARE .97 PERCENT MASS 105.4
 CHI SQUARE 4.79 DF 10

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|---------|
| 13501 | RESOILCO | .5816 | .1177 | 4.9410 |
| 20501 | ZINC | .2824 | .0304 | 9.3051 |
| 25410 | AMSULPRO | 10.1530 | 1.1222 | 9.0474 |
| 29502 | SECOPPER | .2629 | .0444 | 5.9153 |
| 31101 | LDUTYVL | 4.4298 | .2294 | 19.3092 |
| 32202 | HDUTYDI | 73.4331 | 5.3278 | 13.7831 |
| 42323 | FBURNP | 7.1923 | 1.7207 | 4.1800 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 91.4+ 4.7/ 102.4+ 8.1/ 193.9+ 9.3

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (FINE)

DATE: 11/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 74.7
 CHI SQUARE 3.67 DF 10

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|---------|
| 13501 | RESOILCO | .2484 | .0596 | 4.1659 |
| 20501 | ZINC | .1473 | .0200 | 7.3633 |
| 25410 | AMSULPRO | 8.6594 | .9023 | 9.5966 |
| 29502 | SECOPPER | .1854 | .0325 | 5.7080 |
| 31101 | LDUTYVL | 8.5568 | .4119 | 20.7719 |
| 32202 | HDUTYDI | 53.1096 | 4.0389 | 13.1497 |
| 42323 | FBURNP | 9.6106 | 2.2559 | 4.2601 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 107.8+ 5.5/ 115.3+ 9.3/ 223.1+ 10.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: M (FINE)

DATE: 01/09/93

R SQUARE .96 PERCENT MASS 108.8
 CHI SQUARE 5.60 DF 9

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|---------|
| 4 | AUTPB | 3.1204 | .6943 | 4.4946 |
| 7 | VBRN2 | 2.6359 | 1.1314 | 2.3297 |
| 12 | STEEL | .3705 | .0581 | 6.3765 |
| 13501 | RESOILCO | .2921 | .0670 | 4.3626 |
| 20501 | ZINC | .4473 | .0327 | 13.6636 |
| 25410 | AMSULPRO | 11.8810 | 1.0072 | 11.7959 |
| 29502 | SECOPPER | .2546 | .0309 | 8.2371 |
| 32202 | HDUTYDI | 41.6824 | 4.5999 | 9.0615 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 55.8+ 2.9/ 37.6+ 4.3/ 93.4+ 5.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: M (FINE)

DATE: 11/09/93

| | | | |
|-----------------|------|--------------|------|
| SAMPLE DURATION | 24 | START HOUR | 10 |
| R SQUARE | .96 | PERCENT MASS | 92.3 |
| CHI SQUARE | 6.28 | DF | 10 |

SIZE: FINE

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|---------|
| 13501 | RESOILCO | .0998 | .0281 | 3.5571 |
| 20501 | ZINC | .1118 | .0109 | 10.2642 |
| 25410 | AMSULPRO | 8.4151 | .6192 | 13.5906 |
| 29502 | SECOPPER | .0924 | .0153 | 6.0401 |
| 31101 | LDUTYVL | 1.1769 | .0651 | 18.0895 |
| 32202 | HDUTYDI | 23.8896 | 1.8837 | 12.6824 |
| 42322 | FBURNA | 20.1061 | 2.0157 | 9.9746 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

| | | | | | |
|-------|------|-------|------|-------|-----|
| 58.4+ | 3.1/ | 36.0+ | 4.4/ | 94.3+ | 5.4 |
|-------|------|-------|------|-------|-----|

Resultados CMB7 Fracción Gruesa, Campaña 1 y 11 de Septiembre de 1993**SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS)**

DATE: 01/09/93

| | | | |
|------------|------|--------------|------|
| R SQUARE | .97 | PERCENT MASS | 70.9 |
| CHI SQUARE | 1.20 | DF | 14 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| 2 | CDUST | 8.1518 | 2.1568 | 3.7796 |
| 27204 | PORTLAND | 2.6187 | .9925 | 2.6384 |
| 29502 | SECOPPER | .2469 | .0341 | 7.2433 |
| 31101 | LDUTYVL | .5159 | .1868 | 2.7624 |
| 41137 | PRDUST | 29.3735 | 3.0195 | 9.7278 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

| | | | | | |
|-------|------|-------|------|--------|-----|
| 89.9+ | 4.6/ | 57.7+ | 6.8/ | 147.6+ | 8.2 |
|-------|------|-------|------|--------|-----|

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS)

DATE: 11/09/93

| | | | |
|------------|------|--------------|------|
| R SQUARE | .97 | PERCENT MASS | 84.7 |
| CHI SQUARE | 1.53 | DF | 14 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| 2 | CDUST | 9.7201 | 2.2089 | 4.4005 |
| 27204 | PORTLAND | 2.6133 | .9952 | 2.6259 |
| 29502 | SECOPPER | .1822 | .0251 | 7.2494 |
| 31101 | LDUTYVL | .8991 | .2424 | 3.7086 |
| 41137 | PRDUST | 28.8650 | 2.9796 | 9.6876 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

| | | | | | |
|-------|------|-------|------|--------|-----|
| 91.3+ | 4.7/ | 49.9+ | 6.7/ | 141.2+ | 8.2 |
|-------|------|-------|------|--------|-----|

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (COARS)

DATE: 01/09/93

| | | | |
|------------|-----|--------------|------|
| R SQUARE | .98 | PERCENT MASS | 83.4 |
| CHI SQUARE | .95 | DF | 14 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 6.3938 | 2.1460 | 2.9794 |
| 27205 CEMBALL | 3.0041 | 1.2538 | 2.3960 |
| 29502 SECOPPER | .4377 | .0482 | 9.0731 |
| 31101 LDUTYVL | 1.0895 | .3514 | 3.1002 |
| 41137 PRDUST | 29.3098 | 3.2234 | 9.0927 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

82.0+ 4.2/ 48.3+ 6.1/ 130.2+ 7.4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (COARS)

DATE: 11/09/93

| | | | |
|------------|-----|--------------|------|
| R SQUARE | .98 | PERCENT MASS | 89.6 |
| CHI SQUARE | .89 | DF | 14 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 8.9689 | 2.0790 | 4.3141 |
| 27205 CEMBALL | 3.7504 | 1.1583 | 3.2378 |
| 29502 SECOPPER | .3112 | .0366 | 8.5118 |
| 31101 LDUTYVL | 1.2333 | .2868 | 4.3001 |
| 41137 PRDUST | 22.4276 | 2.9222 | 7.6748 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

73.5+ 3.8/ 41.0+ 5.4/ 114.4+ 6.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: C (COARS)

DATE: 01/09/93

| | | | |
|------------|------|--------------|------|
| R SQUARE | .96 | PERCENT MASS | 70.6 |
| CHI SQUARE | 1.83 | DF | 14 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 7.8757 | 1.9192 | 4.1037 |
| 27205 CEMBALL | 6.7128 | 1.8291 | 3.6700 |
| 29502 SECOPPER | .2277 | .0323 | 7.0481 |
| 31101 LDUTYVL | .6029 | .1720 | 3.5048 |
| 41137 PRDUST | 27.3850 | 3.1476 | 8.7004 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

86.1+ 4.4/ 60.7+ 6.6/ 146.7+ 7.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: C (COARS)

DATE: 11/09/93

| | | | |
|------------|-----|--------------|------|
| R SQUARE | .98 | PERCENT MASS | 90.6 |
| CHI SQUARE | .85 | DF | 14 |

| SOURCETYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 9.2791 | 1.9692 | 4.7122 |
| 27205 CEMBALL | 3.8586 | 1.1330 | 3.4057 |
| 29502 SECOPPER | .1699 | .0210 | 8.0771 |
| 31101 LDUTYVL | .4509 | .1411 | 3.1951 |
| 41137 PRDUST | 19.5170 | 2.7834 | 7.0119 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

73.3+ 3.8/ 36.7+ 5.3/ 110.0+ 6.5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS)

DATE: 01/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 76.2
CHI SQUARE 1.04 DF 14

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 20.2436 | 3.9545 | 5.1191 |
| 27205 | CEMBALL | 12.4825 | 2.7931 | 4.4690 |
| 29502 | SECOPPER | .3020 | .0420 | 7.1947 |
| 31101 | LDUTYVL | .7728 | .2603 | 2.9692 |
| 41137 | PRDUST | 44.2248 | 5.7629 | 7.6740 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

91.4+ 4.7/ 102.4+ 8.1/ 193.9+ 9.3

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS)

DATE: 11/09/93

R SQUARE .96 PERCENT MASS 76.6
CHI SQUARE 1.70 DF 14

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 29.5249 | 5.1140 | 5.7733 |
| 27205 | CEMBALL | 18.8200 | 3.5521 | 5.2983 |
| 29502 | SECOPPER | .3046 | .0365 | 8.3330 |
| 31101 | LDUTYVL | 1.5281 | .4618 | 3.3088 |
| 41137 | PRDUST | 38.1719 | 6.3707 | 5.9918 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

107.8+ 5.5/ 115.3+ 9.3/ 223.1+ 10.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: M (COARS)

DATE: 01/09/93

R SQUARE .97 PERCENT MASS 76.6
CHI SQUARE .80 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 8.3742 | 1.8332 | 4.5681 |
| 27205 | CEMBALL | 3.4533 | 1.1819 | 2.9218 |
| 29502 | SECOPPER | .1409 | .0276 | 5.1134 |
| 41137 | PRDUST | 16.8223 | 2.7608 | 6.0932 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

55.8+ 2.9/ 37.6+ 4.3/ 93.4+ 5.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: M (COARS)

DATE: 11/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 58.6
CHI SQUARE .70 DF 13

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 7.0824 | 1.4620 | 4.8444 |
| 25410 | AMSULPRO | 3.1634 | 1.6867 | 1.8755 |
| 27205 | CEMBALL | 2.3676 | .6689 | 3.5396 |
| 29502 | SECOPPER | .0459 | .0116 | 3.9712 |
| 31101 | LDUTYVL | .2097 | .0763 | 2.7482 |
| 41137 | PRDUST | 8.2370 | 1.9427 | 4.2400 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 58.4+ 3.1/ 36.0+ 4.4/ 94.3+ 5.4

Resultados CMB7 utilizando perfil de polvo de calles de Santiago para la Fracción Gruesa, campaña 1 y 11 de Septiembre de 1993

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 01/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 66.1
 CHI SQUARE .72 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .1925 | .0323 | 5.9640 |
| 31101 | LDUTYVVL | .4646 | .1838 | 2.5276 |
| 41137 | PRDUST | 13.6247 | 4.4085 | 3.0905 |
| 99999 | STGO | 23.8122 | 3.7725 | 6.3120 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 89.9+ 4.6/ 57.7+ 6.8/ 147.6+ 8.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 11/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 78.8
 CHI SQUARE .81 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .1189 | .0228 | 5.2202 |
| 31101 | LDUTYVVL | .8403 | .2384 | 3.5249 |
| 41137 | PRDUST | 10.6980 | 4.2494 | 2.5175 |
| 99999 | STGO | 27.6872 | 3.7541 | 7.3752 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 91.3+ 4.7/ 49.9+ 6.7/ 141.2+ 8.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (COARS) DATE: 01/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 79.9
 CHI SQUARE .73 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .3947 | .0472 | 8.3631 |
| 31101 | LDUTYVVL | 1.0518 | .3484 | 3.0189 |
| 41137 | PRDUST | 18.9291 | 4.7605 | 3.9763 |
| 99999 | STGO | 18.1872 | 4.1390 | 4.3941 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 82.0+ 4.2/ 48.3+ 6.1/ 130.2+ 7.4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (COARS) DATE: 11/09/93

R SQUARE .99 PERCENT MASS 83.8
 CHI SQUARE .53 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .2525 | .0356 | 7.0889 |
| 31101 | LDUTYVVL | 1.1754 | .2842 | 4.1355 |
| 41137 | PRDUST | 8.7482 | 3.9771 | 2.1996 |
| 99999 | STGO | 24.1536 | 3.5755 | 6.7552 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
73.5+ 3.8/ 41.0+ 5.4/ 114.4+ 6.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: C (COARS) DATE: 01/09/93
R SQUARE .96 PERCENT MASS 66.0
CHI SQUARE 1.83 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .1675 | .0311 | 5.3860 |
| 31101 | LDUTYVL | .5417 | .1698 | 3.1895 |
| 41137 | PRDUST | 17.0776 | 4.0307 | 4.2369 |
| 99999 | STGO | 22.2706 | 3.4037 | 6.5430 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
86.1+ 4.4/ 60.7+ 6.6/ 146.7+ 7.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: C (COARS) DATE: 11/09/93
R SQUARE .98 PERCENT MASS 84.5
CHI SQUARE 1.00 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .1122 | .0201 | 5.5699 |
| 31101 | LDUTYVL | .3897 | .1384 | 2.8154 |
| 41137 | PRDUST | 7.6839 | 3.5574 | 2.1600 |
| 99999 | STGO | 22.8406 | 3.0869 | 7.3993 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
73.3+ 3.8/ 36.7+ 5.3/ 110.0+ 6.5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 01/09/93
R SQUARE .98 PERCENT MASS 71.0
CHI SQUARE 1.18 DF 15

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 29502 | SECOPPER | .1645 | .0395 | 4.1594 |
| 31101 | LDUTYVL | .6116 | .2527 | 2.4205 |
| 41137 | PRDUST | 20.4000 | 6.5584 | 3.1105 |
| 99999 | STGO | 51.5430 | 5.7029 | 9.0381 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
91.4+ 4.7/ 102.4+ 8.1/ 193.9+ 9.3

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 11/09/93
R SQUARE .96 PERCENT MASS 67.8
CHI SQUARE 1.88 DF 16

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 29502 | SECOPPER | .1049 | .0373 | 2.8116 |
| 31101 | LDUTYVL | 1.3216 | .4560 | 2.8983 |
| 99999 | STGO | 76.7011 | 3.4485 | 22.2418 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
107.8+ 5.5/ 115.3+ 9.3/ 223.1+ 10.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: M (COARS) DATE: 01/09/93

R SQUARE .96 PERCENT MASS 67.0
 CHI SQUARE .84 DF 17

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 29502 | SECOPPER | .0831 | .0271 | 3.0717 |
| 99999 | STGO | 25.0987 | 1.4071 | 17.8368 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 55.8+ 2.9/ 37.6+ 4.3/ 93.4+ 5.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: M (COARS) DATE: 11/09/93

R SQUARE .98 PERCENT MASS 53.9
 CHI SQUARE .54 DF 16

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 25410 | AMSULPRO | 3.0186 | 1.6981 | 1.7777 |
| 31101 | LDUTYVL | .1693 | .0755 | 2.2431 |
| 99999 | STGO | 16.2211 | .8530 | 19.0167 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 58.4+ 3.1/ 36.0+ 4.4/ 94.3+ 5.4

Resultados CMB7 Fracción Fina Campaña Diciembre 1993-Enero 1994

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (FINE) DATE: 01/03/94

R SQUARE .93 PERCENT MASS 106.7
 CHI SQUARE 5.51 DF 11

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 7 | VBRN2 | 6.2658 | 2.3187 | 2.7023 |
| 17 | SO4 | 3.8018 | .5851 | 6.4980 |
| 13501 | RESOILCO | .2031 | .0472 | 4.3033 |
| 20501 | ZINC | .1404 | .0118 | 11.8698 |
| 29502 | SECOPPER | .0071 | .0245 | .2884 |
| 31101 | LDUTYVL | .6227 | .0501 | 12.4224 |
| 32202 | HDUTYDI | 20.9182 | 2.0680 | 10.1151 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 30.0+ 1.5/ 41.1+ 2.9/ 71.0+ 3.3

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (FINE) DATE: 01/04/94

R SQUARE .94 PERCENT MASS 140.0
 CHI SQUARE 5.19 DF 12

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 7 | VBRN2 | 5.3648 | 2.0234 | 2.6514 |
| 13501 | RESOILCO | .1865 | .0443 | 4.2055 |
| 20501 | ZINC | .2739 | .0192 | 14.2530 |
| 25410 | AMSULPRO | 3.3394 | .5507 | 6.0640 |
| 31101 | LDUTYVL | .7811 | .0535 | 14.5895 |
| 32202 | HDUTYDI | 28.7900 | 2.4197 | 11.8980 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
27.7+ 1.4/ 42.0+ 2.8/ 69.7+ 3.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (FINE) DATE: 01/05/94

R SQUARE .92 PERCENT MASS 102.2
CHI SQUARE 13.15 DF 11

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|---------|
| 13501 RESOILCO | .4553 | .0913 | 4.9878 |
| 20501 ZINC | .5750 | .0346 | 16.5965 |
| 25410 AMSULPRO | 5.5834 | .5764 | 9.6863 |
| 29502 SECOPPER | .0707 | .0202 | 3.5053 |
| 31101 LDUTYVL | 1.0524 | .0584 | 18.0205 |
| 32202 HDUTYDI | 33.6566 | 2.4610 | 13.6760 |
| 42324 FBURNF | 10.4287 | .8089 | 12.8932 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
50.7+ 2.5/ 57.2+ 4.5/ 107.9+ 5.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (FINE) DATE: 12/30/93

R SQUARE .95 PERCENT MASS 93.9
CHI SQUARE 4.46 DF 11

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|---------|
| 7 VERN2 | 10.8741 | 3.6595 | 2.9714 |
| 17 SO4 | 6.0456 | .9444 | 6.4014 |
| 13501 RESOILCO | .4495 | .0901 | 4.9872 |
| 20501 ZINC | .1482 | .0140 | 10.6133 |
| 31101 LDUTYVL | 1.1554 | .0875 | 13.1996 |
| 32202 HDUTYDI | 20.2266 | 3.8168 | 5.2994 |
| 41137 PRDUST | 2.0634 | .6763 | 3.0508 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
43.6+ 2.2/ 49.2+ 3.8/ 92.8+ 4.4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (FINE) DATE: 01/06/94

R SQUARE .80 PERCENT MASS 99.7
CHI SQUARE 30.65 DF 11

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|---------|
| 17 SO4 | 1.7287 | .3502 | 4.9361 |
| 20501 ZINC | .1806 | .0146 | 12.3473 |
| 29502 SECOPPER | .0581 | .0143 | 4.0688 |
| 31101 LDUTYVL | 1.6334 | .0899 | 18.1667 |
| 32202 HDUTYDI | 22.1136 | 3.0407 | 7.2726 |
| 42324 FBURNF | 1.2740 | .2730 | 4.6664 |
| 99999 STGO | 2.4547 | .4992 | 4.9175 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
29.5+ 1.5/ 51.2+ 3.3/ 80.7+ 3.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (FINE) DATE: 01/06/94

R SQUARE .95 PERCENT MASS 101.7
CHI SQUARE 5.58 DF 11

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 7 | VBRN2 | 4.0865 | 1.5772 | 2.5910 |
| 17 | SO4 | 1.6273 | .3871 | 4.2032 |
| 13501 | RESOILCO | .1551 | .0386 | 4.0151 |
| 20501 | ZINC | .1843 | .0144 | 12.8402 |
| 31101 | LDUTYVL | 1.7304 | .0927 | 18.6740 |
| 32202 | HDUTYDI | 20.9434 | 3.0273 | 6.9182 |
| 41137 | PRDUST | 1.3002 | .4898 | 2.6545 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 29.5+ 1.5/ 51.2+ 3.3/ 80.7+ 3.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (FINE) DATE: 01/03/94

R SQUARE .91 PERCENT MASS 97.1
 CHI SQUARE 6.42 DF 11

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 7 | VBRN2 | 6.3284 | 2.1224 | 2.9818 |
| 17 | SO4 | 3.1853 | .4951 | 6.4338 |
| 13501 | RESOILCO | .1265 | .0332 | 3.8040 |
| 20501 | ZINC | .0446 | .0051 | 8.7306 |
| 32202 | HDUTYDI | 4.4665 | 1.2484 | 3.5776 |
| 33011 | HIGHWAY | 2.3284 | .4547 | 5.1211 |
| 41137 | PRDUST | 2.1870 | .2862 | 7.6429 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 19.2+ 1.0/ 40.4+ 2.4/ 59.7+ 2.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (FINE) DATE: 01/04/94

R SQUARE .92 PERCENT MASS 89.3
 CHI SQUARE 7.54 DF 11

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 7 | VBRN2 | 7.1131 | 2.3650 | 3.0076 |
| 17 | SO4 | 3.0070 | .5037 | 5.9697 |
| 13501 | RESOILCO | .1128 | .0310 | 3.6439 |
| 20501 | ZINC | .3477 | .0200 | 17.4226 |
| 31101 | LDUTYVL | .2722 | .0444 | 6.1252 |
| 32202 | HDUTYDI | 2.3518 | 1.1097 | 2.1193 |
| 41137 | PRDUST | 5.1284 | .4155 | 12.3413 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 20.5+ 1.1/ 49.2+ 2.8/ 69.8+ 3.0

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (FINE) DATE: 01/05/94

R SQUARE .97 PERCENT MASS 85.5
 CHI SQUARE 2.88 DF 11

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 7 | VBRN2 | 10.5185 | 3.4437 | 3.0544 |
| 17 | SO4 | 4.6007 | .7573 | 6.0755 |
| 13501 | RESOILCO | .1567 | .0388 | 4.0389 |
| 20501 | ZINC | .3660 | .0228 | 16.0712 |
| 32202 | HDUTYDI | 3.8036 | 1.6801 | 2.2640 |

| | | | | |
|-------|---------|--------|-------|---------|
| 33011 | HIGHWAY | 5.0804 | .7562 | 6.7185 |
| 41137 | PRDUST | 8.2564 | .6357 | 12.9869 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 38.3+ 1.9/ 102.0+ 5.7/ 140.4+ 6.0

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (FINE) DATE: 12/30/93

| | | | |
|------------|------|--------------|------|
| R SQUARE | .95 | PERCENT MASS | 98.1 |
| CHI SQUARE | 4.03 | DF | 11 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 7 | VBRN2 | 9.5336 | 3.1309 |
| 17 | SO4 | 4.7430 | .7425 |
| 13501 | RESOILCO | .3199 | .0689 |
| 20501 | ZINC | .1086 | .0094 |
| 32202 | HDUTYDI | 7.0622 | 1.9539 |
| 33011 | HIGHWAY | 5.3480 | .7053 |
| 41137 | PRDUST | 3.0136 | .4344 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 30.7+ 1.6/ 38.4+ 2.8/ 69.2+ 3.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (FINE) DATE: 01/03/94

| | | | |
|------------|------|--------------|-------|
| R SQUARE | .95 | PERCENT MASS | 100.3 |
| CHI SQUARE | 4.74 | DF | 10 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 7 | VBRN2 | 2.3791 | .9727 |
| 17 | SO4 | 2.1596 | .3575 |
| 13501 | RESOILCO | .0680 | .0227 |
| 20501 | ZINC | .0393 | .0066 |
| 27102 | GLASS | .8179 | .2771 |
| 29502 | SECOPPER | .0918 | .0150 |
| 31101 | LDUTYVL | .3664 | .0260 |
| 32202 | HDUTYDI | 17.1474 | 1.4840 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 23.0+ 1.2/ 41.3+ 2.6/ 64.3+ 2.8

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (FINE) DATE: 01/04/94

| | | | |
|------------|------|--------------|------|
| R SQUARE | .95 | PERCENT MASS | 95.9 |
| CHI SQUARE | 4.26 | DF | 11 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 7 | VBRN2 | 2.8265 | 1.1445 |
| 17 | SO4 | 3.4039 | .4641 |
| 13501 | RESOILCO | .0656 | .0224 |
| 20501 | ZINC | .0518 | .0075 |
| 29502 | SECOPPER | .0707 | .0161 |
| 31101 | LDUTYVL | .3698 | .0275 |
| 32202 | HDUTYDI | 19.5705 | 1.5741 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 27.5+ 1.4/ 45.2+ 2.9/ 72.7+ 3.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (FINE)

DATE: 12/30/93

R SQUARE .96 PERCENT MASS 90.7
 CHI SQUARE 3.91 DF 11

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 7 | VBRN2 | 3.0467 | 1.2664 |
| 17 | SO4 | 7.0135 | .8597 |
| 13501 | RESOILCO | .0652 | .0225 |
| 20501 | ZINC | .0886 | .0099 |
| 29502 | SECOPPER | .1229 | .0191 |
| 31101 | LDUTYVL | .4317 | .0312 |
| 32202 | HDUTYDI | 23.0992 | 1.8518 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

37.3+ 1.9/ 46.7+ 3.4/ 84.1+ 3.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (FINE)

DATE: 01/03/94

R SQUARE .91 PERCENT MASS 84.7
 CHI SQUARE 4.83 DF 11

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 17 | SO4 | 4.3647 | .4942 |
| 25408 | FERTILIZ | .1069 | .0474 |
| 29502 | SECOPPER | .0103 | .0054 |
| 31101 | LDUTYVL | .0386 | .0103 |
| 32202 | HDUTYDI | .8967 | .2705 |
| 41351 | SOILDUST | .5929 | .0582 |
| 42323 | FBURNP | 4.8210 | 1.0557 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

12.8+ .7/ 34.7+ 2.0/ 47.5+ 2.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (FINE)

DATE: 01/04/94

R SQUARE .96 PERCENT MASS 78.2
 CHI SQUARE 2.02 DF 12

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 17 | SO4 | 3.3066 | .3780 |
| 29502 | SECOPPER | .0111 | .0054 |
| 31101 | LDUTYVL | .0434 | .0118 |
| 32202 | HDUTYDI | .9420 | .2874 |
| 41351 | SOILDUST | 1.1409 | .0697 |
| 42323 | FBURNP | 6.1808 | 1.3105 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

14.9+ .8/ 51.8+ 2.8/ 66.6+ 2.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (FINE)

DATE: 01/05/94

R SQUARE .94 PERCENT MASS 82.7
 CHI SQUARE 2.20 DF 13

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 17 | SO4 | 2.5172 | .3069 |
| 29502 | SECOPPER | .0100 | .0050 |
| 32202 | HDUTYDI | 1.6434 | .3528 |
| 41351 | SOILDUST | .6608 | .0611 |
| 42323 | FBURNP | 14.8011 | 2.8121 |

 MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 23.7+ 1.2/ 37.3+ 2.5/ 61.1+ 2.7

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (FINE) DATE: 12/30/93

R SQUARE .81 PERCENT MASS 100.4
 CHI SQUARE 15.51 DF 12

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|---------|
| 17 | SO4 | 5.5010 | .6393 | 8.6051 |
| 29502 | SECOPPER | .0758 | .0086 | 8.8039 |
| 31101 | LDUTYVL | .0699 | .0075 | 9.3062 |
| 32202 | HDUTYDI | 9.0288 | .8774 | 10.2905 |
| 41351 | SOILDUST | .5066 | .1186 | 4.2719 |
| 42324 | FBURNF | 3.5562 | .4144 | 8.5812 |

 MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 18.7+ 1.0/ 35.4+ 2.2/ 54.1+ 2.4

Resultados CMB7 fracción gruesa, campaña Diciembre 1993 – Enero 1994

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 01/03/94

R SQUARE .91 PERCENT MASS 86.1
 CHI SQUARE 3.02 DF 14

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 17.5180 | 2.8194 | 6.2133 |
| 27204 | PORTLAND | 2.0512 | .7569 | 2.7098 |
| 29502 | SECOPPER | .0742 | .0133 | 5.5712 |
| 31101 | LDUTYVL | .1841 | .0480 | 3.8375 |
| 41137 | PRDUST | 15.5153 | 3.1223 | 4.9691 |

 MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 30.0+ 1.5/ 41.1+ 2.9/ 71.0+ 3.3

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 01/04/94

R SQUARE .92 PERCENT MASS 85.5
 CHI SQUARE 2.59 DF 14

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|----------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 15.1064 | 2.6985 | 5.5981 |
| 27204 | PORTLAND | 2.0601 | .7814 | 2.6364 |
| 29502 | SECOPPER | .0639 | .0146 | 4.3645 |
| 31101 | LDUTYVL | .1774 | .0564 | 3.1446 |
| 41137 | PRDUST | 18.5385 | 3.2914 | 5.6324 |

 MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 27.7+ 1.4/ 42.0+ 2.8/ 69.7+ 3.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 01/05/94

R SQUARE .93 PERCENT MASS 90.0
 CHI SQUARE 2.85 DF 14

| SOURCE | TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|--------|------|------------|---------|-------|
|--------|------|------------|---------|-------|

| | | | | |
|-------|----------|---------|--------|--------|
| 2 | CDUST | 17.6758 | 3.3317 | 5.3054 |
| 27204 | PORTLAND | 2.1070 | 1.0365 | 2.0327 |
| 29502 | SECOPPER | .1021 | .0227 | 4.5056 |
| 31101 | LDUTYVL | .2326 | .0753 | 3.0891 |
| 41137 | PRDUST | 31.3457 | 4.3232 | 7.2506 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 50.7+ 2.5/ 57.2+ 4.5/ 107.9+ 5.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 12/30/93

R SQUARE .92 PERCENT MASS 87.7
 CHI SQUARE 2.75 DF 14

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| 2 | CDUST | 17.7170 | 3.0475 | 5.8136 |
| 27204 | PORTLAND | 2.1726 | .8957 | 2.4256 |
| 29502 | SECOPPER | .1307 | .0220 | 5.9320 |
| 31101 | LDUTYVL | .2789 | .0810 | 3.4441 |
| 41137 | PRDUST | 22.8108 | 3.5922 | 6.3501 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 43.6+ 2.2/ 49.2+ 3.8/ 92.8+ 4.4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (COARS) DATE: 01/06/94

R SQUARE .94 PERCENT MASS 92.1
 CHI SQUARE 2.36 DF 14

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| 2 | CDUST | 18.5916 | 3.2226 | 5.7692 |
| 27204 | PORTLAND | 1.6373 | .8662 | 1.8901 |
| 29502 | SECOPPER | .1225 | .0203 | 6.0333 |
| 31101 | LDUTYVL | .4223 | .1105 | 3.8212 |
| 41137 | PRDUST | 26.3797 | 3.8531 | 6.8464 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 29.5+ 1.5/ 51.2+ 3.3/ 80.7+ 3.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 01/03/94

R SQUARE .91 PERCENT MASS 76.1
 CHI SQUARE 2.14 DF 14

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT | |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| 2 | CDUST | 22.2081 | 2.8412 | 7.8166 |
| 27204 | PORTLAND | 2.5460 | .7162 | 3.5551 |
| 29502 | SECOPPER | .0374 | .0094 | 3.9681 |
| 31101 | LDUTYVL | .0578 | .0294 | 1.9642 |
| 41137 | PRDUST | 5.9125 | 2.3965 | 2.4671 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 19.2+ 1.0/ 40.4+ 2.4/ 59.7+ 2.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS)
 R SQUARE .89 PERCENT MASS 80.0
 CHI SQUARE 2.71 DF 14

DATE: 01/04/94

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 23.2497 | 3.4628 | 6.7141 |
| 27204 PORTLAND | 2.9309 | .9019 | 3.2497 |
| 29502 SECOPPER | .0192 | .0123 | 1.5621 |
| 31101 LDUTYVL | .0588 | .0365 | 1.6102 |
| 41137 PRDUST | 13.1328 | 3.6297 | 3.6182 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 20.5+ 1.1/ 49.2+ 2.8/ 69.8+ 3.0

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS)
 R SQUARE .88 PERCENT MASS 77.8
 CHI SQUARE 2.93 DF 14

DATE: 01/05/94

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 49.5289 | 6.6478 | 7.4504 |
| 27204 PORTLAND | 7.6464 | 1.9819 | 3.8580 |
| 29502 SECOPPER | .0435 | .0208 | 2.0923 |
| 31101 LDUTYVL | .0439 | .0662 | .6628 |
| 41137 PRDUST | 22.0865 | 6.1373 | 3.5988 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 38.3+ 1.9/ 102.0+ 5.7/ 140.4+ 6.0

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS)
 R SQUARE .93 PERCENT MASS 83.9
 CHI SQUARE 2.03 DF 14

DATE: 12/30/93

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 17.7311 | 2.7323 | 6.4894 |
| 27204 PORTLAND | 1.7486 | .6644 | 2.6319 |
| 29502 SECOPPER | .0687 | .0139 | 4.9390 |
| 31101 LDUTYVL | .1170 | .0401 | 2.9146 |
| 41137 PRDUST | 12.5872 | 2.8677 | 4.3894 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 30.7+ 1.6/ 38.4+ 2.8/ 69.2+ 3.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (COARS)
 R SQUARE .91 PERCENT MASS 77.7
 CHI SQUARE 2.53 DF 14

DATE: 01/03/94

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 18.0735 | 2.6392 | 6.8481 |
| 27204 PORTLAND | 2.1741 | .7012 | 3.1007 |
| 29502 SECOPPER | .0721 | .0141 | 5.1209 |
| 31101 LDUTYVL | .1639 | .0345 | 4.7550 |
| 41137 PRDUST | 11.6151 | 2.6586 | 4.3688 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 23.0+ 1.2/ 41.3+ 2.6/ 64.3+ 2.8

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (COARS) DATE: 01/04/94
R SQUARE .92 PERCENT MASS 78.8
CHI SQUARE 2.60 DF 14

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 19.9151 | 2.8844 |
| 27204 | PORTLAND | 2.6010 | .8015 |
| 29502 | SECOPPER | .0922 | .0146 |
| 31101 | LDUTYVL | .1811 | .0361 |
| 41137 | PRDUST | 12.8799 | 2.8499 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
27.5+ 1.4/ 45.2+ 2.9/ 72.7+ 3.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (COARS) DATE: 12/30/93
R SQUARE .92 PERCENT MASS 78.6
CHI SQUARE 2.58 DF 14

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 17.9204 | 2.8337 |
| 27204 | PORTLAND | 2.1689 | .7778 |
| 29502 | SECOPPER | .1003 | .0180 |
| 31101 | LDUTYVL | .1783 | .0383 |
| 41137 | PRDUST | 16.3833 | 3.0755 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
37.3+ 1.9/ 46.7+ 3.4/ 84.1+ 3.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS) DATE: 01/03/94
R SQUARE .91 PERCENT MASS 99.5
CHI SQUARE 1.05 DF 15

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 | CDUST | 18.0329 | 2.0702 |
| 7 | VBRN2 | 13.8644 | 5.4817 |
| 27204 | PORTLAND | 1.5566 | .5727 |
| 43101 | MARIN | 1.1128 | .3142 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
12.8+ .7/ 34.7+ 2.0/ 47.5+ 2.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS) DATE: 01/04/94
R SQUARE .94 PERCENT MASS 86.6
CHI SQUARE 2.70 DF 15

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|---------|
| 41220 | UPRDUST | 3.2514 | .4038 |
| 41351 | SOILDUST | 19.6780 | 1.1883 |
| 42322 | FBURNA | 20.8639 | 10.6080 |
| 43101 | MARIN | 1.0253 | .1559 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
14.9+ .8/ 51.8+ 2.8/ 66.6+ 2.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS)
 R SQUARE .89 PERCENT MASS 97.6
 CHI SQUARE 1.05 DF 16

DATE: 01/05/94

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 23.2839 | 2.4358 | 9.5591 |
| 7 VBRN2 | 11.3245 | 4.3194 | 2.6218 |
| 27204 PORTLAND | 1.8456 | .6262 | 2.9473 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 23.7+ 1.2/ 37.3+ 2.5/ 61.1+ 2.7

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS)
 R SQUARE .95 PERCENT MASS 79.7
 CHI SQUARE 2.12 DF 15

DATE: 12/30/93

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 6.3410 | 2.1088 | 3.0069 |
| 41220 UPRDUST | 7.6632 | .7908 | 9.6909 |
| 41351 SOILDUST | 13.4011 | 2.2903 | 5.8512 |
| 43101 MARIN | .8167 | .1586 | 5.1504 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 18.7+ 1.0/ 35.4+ 2.2/ 54.1+ 2.4

Resultados CMB7 fracción gruesa usando perfil STGO, campaña Diciembre 1993 - Enero 1994

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS)
 R SQUARE .92 PERCENT MASS 108.9
 CHI SQUARE 2.14 DF 16

DATE: 01/03/94

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 8.2984 | 3.3268 | 2.4944 |
| 7 VBRN2 | 12.4320 | 4.9529 | 2.5101 |
| 99999 STGO | 23.9802 | 3.3460 | 7.1668 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 30.0+ 1.5/ 41.1+ 2.9/ 71.0+ 3.3

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS)
 R SQUARE .95 PERCENT MASS 99.5
 CHI SQUARE 1.18 DF 16

DATE: 01/04/94

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 6.5802 | 3.1668 | 2.0779 |
| 7 VBRN2 | 9.6018 | 4.0292 | 2.3831 |
| 99999 STGO | 25.6149 | 3.4009 | 7.5318 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 27.7+ 1.4/ 42.0+ 2.8/ 69.7+ 3.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 01/05/94

R SQUARE .93 PERCENT MASS 97.4
CHI SQUARE 2.00 DF 17

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|---------|
| 7 VBRN2 | 9.6518 | 4.3882 | 2.1995 |
| 99999 STGO | 46.0415 | 2.5319 | 18.1849 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
50.7+ 2.5/ 57.2+ 4.5/ 107.9+ 5.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: A (COARS) DATE: 12/30/93

R SQUARE .92 PERCENT MASS 100.8
CHI SQUARE 2.05 DF 17

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|---------|
| 7 VBRN2 | 9.9605 | 4.2585 | 2.3390 |
| 99999 STGO | 39.6287 | 2.1787 | 18.1891 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
43.6+ 2.2/ 49.2+ 3.8/ 92.8+ 4.4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: B (COARS) DATE: 01/06/94

R SQUARE .95 PERCENT MASS 101.2
CHI SQUARE 1.49 DF 17

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|---------|
| 7 VBRN2 | 8.3228 | 3.8025 | 2.1888 |
| 99999 STGO | 43.4865 | 2.2929 | 18.9658 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
29.5+ 1.5/ 51.2+ 3.3/ 80.7+ 3.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 01/03/94

R SQUARE .94 PERCENT MASS 94.8
CHI SQUARE 1.12 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 14.2548 | 2.5324 | 5.6290 |
| 6 VBRN1 | 11.5554 | 3.8693 | 2.9864 |
| 99999 STGO | 12.5437 | 2.1954 | 5.7136 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
19.2+ 1.0/ 40.4+ 2.4/ 59.7+ 2.6

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 01/04/94

R SQUARE .91 PERCENT MASS 83.0
CHI SQUARE 1.93 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 17.5604 | 3.4212 | 5.1328 |
| 7 VBRN2 | 6.2527 | 2.9187 | 2.1423 |
| 99999 STGO | 17.0629 | 2.9127 | 5.8580 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
20.5+ 1.1/ 49.2+ 2.8/ 69.8+ 3.0

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 01/05/94

R SQUARE .88 PERCENT MASS 75.0
CHI SQUARE 2.62 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 42.5220 | 6.3460 | 6.7006 |
| 6 VBRN1 | 10.5218 | 4.2019 | 2.5041 |
| 99999 STGO | 23.5137 | 4.9454 | 4.7547 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
38.3+ 1.9/ 102.0+ 5.7/ 140.4+ 6.0

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: D (COARS) DATE: 12/30/93

R SQUARE .96 PERCENT MASS 95.8
CHI SQUARE .90 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 8.7185 | 2.8139 | 3.0984 |
| 7 VBRN2 | 6.9993 | 3.0168 | 2.3201 |
| 99999 STGO | 21.1299 | 2.7457 | 7.6957 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
30.7+ 1.6/ 38.4+ 2.8/ 69.2+ 3.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (COARS) DATE: 01/03/94

R SQUARE .97 PERCENT MASS 99.4
CHI SQUARE .73 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 5.9979 | 2.1454 | 2.7957 |
| 6 VBRN1 | 12.7001 | 3.5161 | 3.6119 |
| 99999 STGO | 22.3926 | 2.4924 | 8.9842 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
23.0+ 1.2/ 41.3+ 2.6/ 64.3+ 2.8

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (COARS) DATE: 01/04/94

R SQUARE .97 PERCENT MASS 93.8
CHI SQUARE 1.05 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 6.4966 | 2.2781 | 2.8517 |
| 6 VBRN1 | 11.1161 | 2.8357 | 3.9200 |
| 99999 STGO | 24.8399 | 2.6674 | 9.3123 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
27.5+ 1.4/ 45.2+ 2.9/ 72.7+ 3.2

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Dehesa (COARS) DATE: 12/30/93

R SQUARE .95 PERCENT MASS 88.6
 CHI SQUARE 1.57 DF 16

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|-------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 5.0953 | 2.3232 | 2.1932 |
| 6 VBRN1 | 8.5705 | 2.3584 | 3.6341 |
| 99999 STGO | 27.7621 | 2.9063 | 9.5522 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 37.3+ 1.9/ 46.7+ 3.4/ 84.1+ 3.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS) DATE: 01/03/94

R SQUARE .95 PERCENT MASS 72.8
 CHI SQUARE 2.12 DF 15

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|---------|
| 6 VBRN1 | 2.8194 | 2.3334 | 1.2083 |
| 41220 UPRDUST | 1.7620 | .3140 | 5.6111 |
| 41351 SOILDUST | 18.5932 | .9699 | 19.1695 |
| 43101 MARIN | 2.1074 | .2251 | 9.3614 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 12.8+ .7/ 34.7+ 2.0/ 47.5+ 2.1

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS) DATE: 01/04/94

R SQUARE .94 PERCENT MASS 86.6
 CHI SQUARE 2.70 DF 15

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|---------|
| 41220 UPRDUST | 3.2514 | .4038 | 8.0525 |
| 41351 SOILDUST | 19.6780 | 1.1883 | 16.5594 |
| 42322 FBURNA | 20.8639 | 10.6080 | 1.9668 |
| 43101 MARIN | 1.0253 | .1559 | 6.5772 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 14.9+ .8/ 51.8+ 2.8/ 66.6+ 2.9

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS) DATE: 01/05/94

R SQUARE .96 PERCENT MASS 83.2
 CHI SQUARE 1.92 DF 15

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|---------|
| 7 VBRN2 | 3.7855 | 2.2762 | 1.6631 |
| 41220 UPRDUST | 1.1818 | .3081 | 3.8359 |
| 41351 SOILDUST | 25.1812 | 1.1752 | 21.4272 |
| 43101 MARIN | .9042 | .1267 | 7.1346 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:
 23.7+ 1.2/ 37.3+ 2.5/ 61.1+ 2.7

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: Talag (COARS)

DATE: 12/30/93

| | | | |
|------------|------|--------------|------|
| R SQUARE | .95 | PERCENT MASS | 79.7 |
| CHI SQUARE | 2.12 | DF | 15 |

| SOURCE TYPE | SCE(UG/M3) | STD ERR | TSTAT |
|----------------|------------|---------|--------|
| 2 CDUST | 6.3410 | 2.1088 | 3.0069 |
| 41220 UPRDUST | 7.6632 | .7908 | 9.6909 |
| 41351 SOILDUST | 13.4011 | 2.2903 | 5.8512 |
| 43101 MARIN | .8167 | .1586 | 5.1504 |

MEASURED CONCENTRATION FINE/COARSE/TOTAL:

| | | | | | |
|-------|------|-------|------|-------|-----|
| 18.7+ | 1.0/ | 35.4+ | 2.2/ | 54.1+ | 2.4 |
|-------|------|-------|------|-------|-----|