



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

APORTES DE FUENTES AL MATERIAL PARTICULADO FINO Y GRUESO EN SANTIAGO USANDO FACTORIZACIÓN DE MATRICES POSITIVAS (PMF)

PATRICIA KARIN ALUANLLI VILLALOBOS

Tesis para optar al grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
LUIS CIFUENTES L.

Santiago de Chile, (Septiembre, 2008)

© 2008, Patricia Aluanlli V.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

APORTES DE FUENTES AL MATERIAL PARTICULADO FINO Y GRUESO EN SANTIAGO USANDO FACTORIZACIÓN DE MATRICES POSITIVAS (PMF)

PATRICIA KARIN ALUANLLI VILLALOBOS

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

LUIS CIFUENTES L.

HÉCTOR JORQUERA G.

ERNESTO GRAMSCH L.

RICARDO SAN MARTÍN G.

Para completar las exigencias del grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería
Santiago de Chile, (Septiembre, 2008)

*A mi mamá, papá, hermanas y a
Patrick, que me apoyaron mucho y
son lo más importante que tengo.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco toda la ayuda y apoyo de mis profesores Luis y Héctor, el tiempo que me han dedicado, sus constantes consejos y aportes durante el desarrollo de la tesis. En especial, al profesor Héctor que me ha aportado mucho con sus conocimientos en el tema y por su gran dedicación en este estudio. Su ayuda ha sido fundamental.

También quisiera agradecer todo el apoyo de mi familia, en especial el de mi mamá. Gracias a ella he logrado todo lo que soy, siempre me ha entregado todo su cariño y amor, y me ha apoyado en los estudios, en particular durante esta tesis.

Finalmente, quisiera agradecer a Patrick su constante compañía, guía y comprensión y sobre todo, su gran ternura conmigo.

INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Hipótesis a probar.....	3
2. El material particulado.....	4
2.1. Clasificación del material particulado.....	4
2.2. Composición química del material particulado.....	5
2.3. Fuentes emisoras de material particulado	7
2.3.1. Fuentes primarias.....	7
2.3.2. Fuentes secundarias	9
3. Datos	10
3.1. Datos de componentes elementales.....	10
3.1.1. Selección de muestras	10
3.1.2. Análisis XRF.....	10
3.1.3. Datos de otros contaminantes	11
4. Métodos	13
4.1. Identificación de perfiles de fuentes.....	13
4.1.1. Análisis de conglomerados	13
4.1.2. Modelo de receptor	13
4.1.2. Técnica PMF (Positive Matrix Factorization).....	14
4.2. Estimación de la contribución másica de las fuentes	15

4.3.	Estimación del aporte del suelo a partir de los datos de óxidos	16
4.4.	Aplicación del método	16
4.4.1.	Criterio de selección de elementos considerados.....	16
4.4.2.	Definición de los escenarios	17
5.	RESULTADOS	18
5.1.	Elementos seleccionados.....	18
5.2.	Descripción de los datos.....	18
5.3.	Asociaciones entre elementos	20
5.4.	Perfiles de fuentes identificados.....	23
5.4.1.	Fracción fina	23
5.4.2.	Fracción gruesa	27
5.5.	Contribución másica de las fuentes.....	28
5.5.1.	Fracción fina	28
5.5.2.	Fracción gruesa	29
5.6.	Aporte del suelo	31
6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	33
6.1.	Fracción fina.....	33
6.2.	Fracción gruesa	33
6.3.	Inventario de emisiones.....	34
7.	PERSPECTIVAS DE TRABAJO FUTURO	36
	ANEXOS.....	37
	ANEXO A: Datos originales MP fino.....	38
	ANEXO B: Datos MP grueso (Selección)	52
	ANEXO C: Histogramas Cl MP fino	54
	ANEXO D: Dendogramas La Paz (Esc. 1)	55
	ANEXO E: Resumen perfiles de fuentes (Esc 1, 2 y 3) (%).....	57
	ANEXO F: Resultados test de medias (esc. 1).....	61
	ANEXO G: Gráficos Aportes promedio MP fino (Esc. 1, 2 y 3)	66

ANEXO H: Gráfico Suma de óxidos MP grueso La Paz (Esc. 1)	68
BIBLIOGRAFIA.....	69

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1: Concentraciones promedio y razón señal a ruido MP Fino.	19
Tabla 5-2: Concentraciones promedio y razón señal a ruido MP Grueso.	20
Tabla 5-3: Perfiles de fuentes MP Fino Las Condes, escenario 4.	24
Tabla 5-4: Perfiles de fuentes MP Fino La Paz, escenario 4.	25
Tabla 5-5: Perfiles de fuentes MP Grueso ambas estaciones, escenario 1.	27
Tabla 6-1: Comparación contribuciones entre inventario de emisiones y modelo.	35

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3-1: Ubicación estaciones de monitoreo en Santiago.	12
Figura 5-1: Dendogramas MP Fino Las Condes por temporadas, escenario 1.	21
Figura 5-2: Dendograma MP Grueso Las Condes, escenario 1.	22
Figura 5-3: Aportes promedio MP Fino por temporadas, escenario 4.	28
Figura 5-4: Aporte promedio MP Grueso, escenario 1.	30
Figura 5-5: Suma de Óxidos MP Grueso Las Condes, escenario 1.	32

RESUMEN

Muestras de MP_{10} y $MP_{2.5}$ fueron recolectados en Santiago, durante el año 2004 en dos estaciones de monitoreo: Las Condes (sector oriente) y La Paz (sector céntrico). Las muestras se obtuvieron de filtros dicotómicos, para su posterior caracterización elemental usando la técnica Fluorescencia de Rayos X (XRF) complementado con el monitoreo ambiental de carbono orgánico y carbono elemental. La información fue particionada en dos temporadas: cálida (1 de Septiembre hasta 15 de Abril) y fría (16 de Abril hasta 30 de Agosto), y posteriormente fue analizada usando Factorización de Matrices Positivas (PMF) para identificar las posibles fuentes de material particulado.

Las principales fuentes que explican el $MP_{2.5}$ y sus contribuciones (% sector oriente, % sector céntrico) para la temporada fría son: Fuentes de transporte (una mezcla de emisiones y desechos de vehículos más polvo resuspendido) (38%, 48%), combustión de biomasa (29%, 27%), sulfatos (24%, 22%) y una fuente rica en arsénico (8% en el sector oriente). Para la temporada cálida: Fuentes de transporte (35%, 41%), sulfatos (21%, 13%), combustión de biomasa (14%, 14%) y una fuente rica en arsénico (8%, 11%). Para la fracción gruesa, las principales fuentes y sus contribuciones son: Fuentes de transporte (35%, 53%), sulfatos (11%, 10%), una fuente rica en arsénico (9%, 6%), una fuente regional (13%, 7%) que incluye aerosol marino y polvo construcción (6%, 24%).

Este estudio muestra la estacionalidad de las emisiones relacionadas con la quema de leña (combustión de biomasa) en la ciudad, no capturado cuando la información analizada por PMF no se particiona en temporadas. En la estación fría esta contribución alcanza el 30% del $MP_{2.5}$.

Palabras claves: Repartición de las fuentes, modelo receptor, PMF, perfiles de fuentes, $MP_{2.5}$, $MP_{10-2.5}$.

ABSTRACT

Ambient $PM_{10-2.5}$ and $PM_{2.5}$ samples collected at Santiago in 2004 at two sites: Las Condes (uptown) and La Paz (downtown) were analyzed by XRF for elemental composition and complemented with ambient monitoring of elemental and organic carbon. Data were segregated by season: warm (September 1st through April, 15th) and cold (April, 16th through August, 30th), then analyzed using positive matrix factorization (PMF).

Source contributions to $PM_{2.5}$ (uptown and downtown, respectively) for the cold season are: mobile sources — a mix of exhaust emissions wear debris and suspended street dust — (38%, 48%), biomass combustion (29%, 27%), sulfates (24%, 22%) and an Arsenic-rich source (8% for uptown site). In the warm season, source contributions are: mobile sources (35%, 41%), sulfates (21%, 13%), biomass combustion (14%, 14%) and the Arsenic-rich source (8%, 11%). For the coarse fraction, the contributions come from mobile sources (35%, 53%), sulfates (11%, 10%), Arsenic-rich source (9%, 6%), a regional source (13%, 7%) and construction dust (6%, 24%).

This study found a large seasonality of wood burning contributions to $PM_{2.5}$ in the city, not captured when data are analyzed assuming the same source profiles all year long; in the cold season this contribution rises up to 30% of ambient $PM_{2.5}$.

Keywords: Source Apportionment; Receptor Modeling; Positive Matrix Factorization; Source Profile, $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$.

1. INTRODUCCIÓN

La capital de Chile, Santiago es una de las ciudades más contaminadas de Sudamérica. Más del 40% de la población nacional (alrededor de 6 millones de hbts.) vive en esta ciudad. Se encuentra ubicada en la zona central, rodeada de grandes cordones montañosos que dificultan la ventilación de la cuenca. Dada su ubicación geográfica, presenta constantes episodios de inversión térmica y de elevada contaminación, especialmente en los meses de otoño-invierno, excediendo los límites aceptables para la salud (Jorquera, Orrego et al. 2004). Además su densidad poblacional, número de industrias, vehículos y buses, hacen que la calidad del aire de la ciudad empeore considerablemente (Romero, Ihl et al. 1999).

Desde el punto de vista de la salud, estudios epidemiológicos han demostrado que la contaminación ambiental de partículas está asociada con la mortalidad y morbilidad (Ayres, Maynard et al. 2006), y esa asociación es más fuerte con partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a $2.5 \mu\text{m}$. (Schwartz, Dockery et al. 1996; Laden, Neas et al. 2000; Laden, Schwartz et al. 2006; Pope and Dockery 2006), comprometiendo al sistema respiratorio (Dockery, Pope et al. 1993; Schwartz, Dockery et al. 1996) y al sistema cardiovascular.

En Santiago, se han encontrado efectos en la salud asociados a altos niveles de contaminación, incluyendo la mortalidad diaria (Cifuentes, Vega et al. 2000), su susceptibilidad en relación a la edad (Cakmak, Dales et al. 2007) y admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (Ilabaca, Olaeta et al. 1999; Ostro, Eskeland et al. 1999; Lee, Hastie et al. 2000). Más allá, se ha analizado la relación entre la contaminación ambiental y el nivel educacional (O'Neill, Bell et al. 2008).

En este contexto, la composición de las partículas y su origen son importantes. El tamaño de la partícula determina el grado de penetración y permanencia dentro del sistema respiratorio. Una vez depositado en el sistema respiratorio, su acción depende de su composición química y toxicidad (Health Effects Institute 2002). Por ejemplo, algunos metales como Fierro, Vanadio, Níquel y Cobre pueden provocar inflamación y

daño del ADN. Algunos compuestos orgánicos también son irritantes y hasta pueden causar mutaciones cancerígenas. Sulfatos y nitratos causan daño en las mucosas y cambian la biodisponibilidad de los metales producto de su acidez. El carbono elemental causa irritación del pulmón, proliferación epitelial y fibrosis dependiendo del tiempo de exposición (Health Effects Institute 2002). Aún más, estudios epidemiológicos en seis ciudades de U.S.A., muestran que las partículas finas provenientes de la combustión de vehículos y de carbón se asocian con elevadas mortalidades, mientras que partículas de la corteza o suelo, no están asociadas con aumentos en la mortalidad (Laden, Neas et al. 2000). También existen asociaciones significativas entre elementos como Ni, V y la mortalidad por causas cardiovasculares en las ciudades de Nueva York y Hong Kong (Lippmann, Ito et al. 2006).

En la ciudad de Santiago se han estudiado tendencias y comportamientos de ciertos elementos químicos presentes en el aire a lo largo del tiempo (Santiago 2006; Sax, Koutrakis et al. 2007). Se han identificado y cuantificado ciertas fuentes de emisión aplicando modelos de receptor multivariado con técnicas estadísticas como análisis de componentes principales (ACP) (Artaxo 1999; Gramsch 2005). La misma técnica también se ha aplicado para otras importantes ciudades de Chile (Kavouras, Koutrakis et al. 2001).

1.1. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es caracterizar el aporte de diferentes fuentes de emisiones de contaminantes que contribuyen a la concentración ambiental de material particulado respirable (MP_{10}) tanto de la fracción fina ($MP_{2.5}$) como de la fracción gruesa ($MP_{10-2.5}$), en Santiago durante el año 2004. Los objetivos específicos son:

- Estimar perfiles de fuentes emisoras de material particulado a partir de elementos químicos, obteniendo sus fracciones másicas entre las fuentes obtenidas.
- Estimar las contribuciones másicas de las fuentes en el material particulado respectivo su significancia y estudiar su comportamiento durante el año.

- Comparar los resultados obtenidos en dos estaciones de monitoreo ubicadas en Santiago: Las Condes y La Paz.
- Comparar el perfil de fuentes durante la temporada cálida (primavera y verano) y fría (otoño e invierno).
- Verificar si la inclusión de datos de componentes adicionales de $MP_{2.5}$ como carbono elemental y carbono orgánico aumentan la precisión de la estimación de los perfiles de las fuentes.

La metodología empleada se basa en la técnica de análisis de factores de matrices positivas, PMF (Paatero and Tapper 1994), que corresponde a una refinación del PCA. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada por sus ventajas comparativas con respecto a otros métodos y además ha sido exitosa en muchos estudios atmosféricos (Chueinta, Hopke et al. 2000; Kim, Hopke et al. 2003; Kim, Larson et al. 2003; Liu, Hopke et al. 2003; Maykut, Lewtas et al. 2003; Kim, Hopke et al. 2004; Hopke, Ito et al. 2006; Steven, Anna et al. 2007; Grover and Eatough 2008; Santoso, Hopke et al. 2008).

1.2. Hipótesis a probar

La investigación realizada tiene las siguientes hipótesis a probar:

- 1.- El aporte de cada tipo de fuente emisora a la concentración de MP en Santiago puede estimarse cuantitativamente a partir de las concentraciones de componentes elementales presentes en el MP usando la técnica de modelo de receptor PMF.
- 2.- El perfil de las fuentes cambia según se trate de la estación cálida o fría.

2. EL MATERIAL PARTICULADO

Son sólidos sedimentables y en suspensión dispersos en el aire existentes en un gran intervalo de tamaños. Son emitidos o generados por una variedad de procesos y fuentes tanto de origen natural (erosión de suelo por el viento, aerosol marino, erupciones volcánicas, polen, etc.) como antropogénico (uso de combustibles fósiles, actividades industriales, fundiciones, etc.).

Además, el material particulado puede formarse en la atmósfera por reacciones entre contaminantes gaseosos llamados “precursores” como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), amoníaco (NH_3) y compuestos volátiles orgánicos (COV). Este tipo de material particulado se denomina aerosol secundario y constituye una fracción importante del material particulado en suspensión, especialmente del material particulado de menor tamaño.

2.1. Clasificación del material particulado

De acuerdo al tamaño de partículas en suspensión presentes en el aire, el material particulado se divide en diferentes categorías en relación a su diámetro aerodinámico o diámetro:

MP₁₀: Partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 10 μm . Se denomina material particulado (MP) respirable, estas son capaces de entrar a la región torácica. Se divide en dos grupos principales: MP_{10-2.5} y MP_{2.5}.

MP_{10-2.5}: Partículas con un diámetro aerodinámico entre 10 a 2.5 μm . Se denomina material particulado grueso o fracción gruesa. Es el resultado de procesos mecánicos. Está formada principalmente por material de origen geológico y vegetal, así como del desgaste de frenos y neumáticos, de residuos depositados sobre caminos, y del manejo de sólidos en actividades de construcción, etc. Esta fracción no contiene todo el material grueso, el que alcanza hasta 40 μm . de diámetro.

MP_{2.5}: Partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 2.5 μm , denominadas material particulado fino o fracción fina. Contiene la mayoría del material particulado de origen secundario.

Debido a su pequeño tamaño son capaces de penetrar más por el sistema respiratorio llegando a los alvéolos pulmonares, causando más daño en la salud de las personas.

Por definición, este grupo incluye a las partículas ultrafinas o MP_{0.1} (Partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 0.1 μm).

2.2. Composición química del material particulado

Los principales constituyentes del material particulado son el carbono orgánico, carbono elemental, sulfatos, nitratos, amonios, agua líquida, cloruro de sodio, materiales de origen geológico y elementos traza. Estos compuestos se describen a continuación:

Carbono orgánico (C_{org}): Presente principalmente en la fracción fina, consiste en cientos de compuestos orgánicos diferentes formados por más de 20 átomos de carbono. Existe C_{org} de origen primario y secundario. El primero es emitido en procesos de combustión y el de origen secundario es formado alrededor de partículas existentes y por condensación de productos semi volátiles de la oxidación de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles).

Carbono elemental (C_{elem}): También llamado hollín, es negro y tiene estructura similar al grafito. Formado principalmente en procesos de combustión, como la quema de madera, carbón y derivados del petróleo. Forma parte principalmente de la fracción fina.

Sulfatos: El ácido sulfúrico y sus productos de neutralización con amoníaco ((NH_4)₂SO₄) y bisulfato de amonio (NH₄HSO₄) son uno de los principales compuestos presentes en las partículas de la fracción fina. Generalmente son de origen secundario y

se forman por la conversión de gases a partículas. El yeso (Ca_2SO_4) es abundante en la fracción gruesa más que en la fina.

Nitratos: El más común es el nitrato de amonio (NH_4NO_3) formado entre el ácido nítrico y el gas amoniacal. El ácido nítrico (HNO_3) es casi totalmente de origen secundario e involucra reacciones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y COV, es el que favorece la generación de $\text{MP}_{2.5}$. Los óxidos de nitrógeno son producidos por actividad volcánica, bacteriana, tormentas eléctricas y la combustión a altas temperaturas de combustibles fósiles. Combinados con la luz solar y con COV forman ozono (O_3).

Amonios: Formados principalmente por reacciones entre el ácido sulfúrico o nítrico y el amoniacal. El amoniacal, de origen natural, es capaz de neutralizar las partículas gaseosas ácidas. Las sales de amonio más comunes son sulfato de amonio, bisulfato de amonio y el nitrato de amonio.

Agua líquida: Las partículas que contienen sulfatos, nitratos, amonios y algunos compuestos orgánicos son higroscópicas, es decir, absorben vapor de agua atmosférico, especialmente a altas humedades relativas.

Cloruro de sodio: La sal (NaCl) está presente en el material particulado principalmente de las localidades cercanas al mar. Se forma por suspensión de gotas de agua y en este estado forma parte de la fracción gruesa.

Material geológico: Consiste en polvo superficial suspendido por distintos mecanismos y contiene óxidos de aluminio, silicio, calcio, titanio, hierro y otros metales oxidables. Constituye un 50% del material particulado respirable (PM_{10}) y se encuentra mayoritariamente en la fracción gruesa. (Chow and Watson 1998)

Metales y otros elementos traza: Los elementos traza que predominan en la fracción fina son: Pb, Zn, As, Sb y Cd. Los elementos encontrados en ambas fracciones son: Na, K, Fe, V, Cr, Co, Ni, Mn, Cu, Se, Ba. Y los principales elementos encontrados

en la fracción gruesa son: Ca, Al, Ti, Mg (EPA 1995). Las concentraciones y proporciones relativas de estas especies en cada fracción dependen de los tipos de fuentes cercanas y de la meteorología dominante.

Las fuentes potenciales de los elementos trazas como Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, V, As, Sb, Br y Ba son principalmente antropogénicas correspondientes a la combustión de carbón, petróleo, madera, desechos y a la fundición de metales. El plomo (Pb) es emitido principalmente por los motores de automóviles, el V y Ni por combustión de petróleo en actividades de generación de potencia y de vapor. Elementos como Fe, Mg, Mn, Na, Al, Ca, Sc y Si son de origen natural y se encuentran asociados a las partículas más grandes o a la fracción gruesa.

2.3. Fuentes emisoras de material particulado

El material particulado puede ser de origen natural o antropogénico y es emitido directamente (fuentes primarias) o se forma en la atmósfera por precursores gaseosos (fuentes secundarias). Dentro de las fuentes antropogénicas, se encuentran las de tipo estacionarias (relacionadas con las actividades industriales, comerciales y residenciales) y las móviles (relacionadas con el transporte).

2.3.1. Fuentes primarias

Las principales fuentes primarias del material particulado son las de origen antropogénico (combustión de fuentes estacionarias y móviles, quema de biomasa y residuos, etc.) y fuentes de origen natural (erosión por el viento, incendios forestales, aerosol marino, erupciones volcánicas, etc.), descritas a continuación:

Emisión fugitiva antropogénica: Son las emisiones de polvo resuspendido o polvo fugitivo fruto de la actividad humana. Corresponden a emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, de la construcción y demolición, de la agricultura, etc. Principalmente son partículas gruesas, siendo prácticamente un 90% mayores a 2.5µm.

(Chow and Watson 1998). La composición química del polvo de calles pavimentadas es una mezcla de partículas provenientes de diferentes fuentes como tierra, gases de automóviles, oxidaciones, desgaste de frenos (ricos en Zn), neumáticos, etc.

Fuentes fijas: Incluye la quema de combustibles en actividades industriales para la generación de energía, vapor y calor. El uso en la industria de combustibles fósiles como carbón y petróleo es causante de la formación de material particulado primario y secundario. Los sulfatos son las principales partículas relacionadas con la combustión de petróleo pesado, petcoke y carbón, ya que son combustibles que poseen azufre en porcentajes altos. Además de los combustibles fósiles, la biomasa (madera) puede ser quemada en incendios forestales o ser usada como combustible. Las partículas finas dominan estas emisiones y el principal compuesto liberado es el carbono orgánico (EPA 1995), salvo en la combustión de Diesel donde domina el carbono elemental.

Fuentes móviles: Corresponde a las emisiones provenientes de los gases de escape de los vehículos, al polvo resuspendido por éstos, fricción de frenos y partes metálicas, desgaste de neumáticos, etc. Los motores Diesel son mayoritariamente responsables del material particulado primario, mientras que los vehículos gasolineros aportan gases (CO , COV y NO_x) que contribuyen a la formación de material particulado secundario.

El principal compuesto aportado por los vehículos a la masa de material particulado lo constituye el carbono elemental y orgánico. Se forma en la cámara de combustión de los motores producto de una combustión incompleta del combustible. Los vehículos emiten también grandes cantidades de óxidos de nitrógeno (NO_x) los que eventualmente formarán partículas de nitratos.

El perfil de partículas emitidas en la combustión de derivados del petróleo pertenece fundamentalmente a la fracción fina.

Emisión fugitiva natural: Es originado por la suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento. Sus tasas de emisión dependen fuertemente de parámetros meteorológicos como la velocidad del viento, humedad ambiental y precipitaciones. Su

perfil de elementos incluye principalmente Si, Al y Fe. El viento también es causante de la aparición de sal (NaCl) en el material particulado a través de la agitación de la superficie marina.

Otras fuentes naturales: Se refieren a actividades volcánicas y a la suspensión de desechos orgánicos como polen, semillas, esporas se encuentran principalmente en la fracción gruesa. En la fracción fina del aerosol están presentes bacterias, virus, protozoos y microalgas.

2.3.2. Fuentes secundarias

El material particulado secundario es un importante componente de la masa total de partículas suspendidas y se concentra mayoritariamente en la fracción fina. La formación de aerosol secundario está intrínsecamente ligada a la formación de oxidantes fotoquímicos en la atmósfera, como por ejemplo, el ozono. Está formado principalmente por sulfatos y nitratos, que se originan en reacciones de conversión de gases a partículas.

Partículas de sulfatos: Se forman por la conversión del dióxido de azufre (SO_2) en ácido sulfúrico (H_2SO_4) y posteriormente a partículas. La oxidación atmosférica del SO_2 ocurre a través de dos mecanismos: fase gaseosa y fase acuosa, que ocurre en la superficie de partículas húmedas o en gotas de nubes o niebla.

Partículas de nitratos: Los nitratos se forman de la conversión del dióxido de nitrógeno (NO_2) en partículas. El NO_2 es un gas secundario formado a partir de emisiones de óxido nítrico (NO) y que luego reacciona en la atmósfera formándose ácido nítrico (HNO_3). Al igual que los sulfatos, existen mecanismos de formación de nitratos en fase gaseosa y acuosa.

3. DATOS

3.1. Datos de componentes elementales

Los datos de componentes elementales fueron obtenidos del análisis de los filtros dicotómicos entregados por la Autoridad Sanitaria de la Región Metropolitana (www.asrm.cl). Estos filtros corresponden al material particulado presente en la fracción fina y gruesa de las estaciones de monitoreo Las Condes y La Paz. Estas estaciones están separadas entre sí a una distancia aproximada de 15 kilómetros (Ver figura 3-1).

3.1.1. Selección de muestras

Las mediciones durante el año 2004 se llevaron a cabo de la siguiente manera: En los meses otoño e invierno se muestreó todos los días y en los meses de primavera y verano, se muestreó cada 3 días. Esto debido a que los meses de primavera y verano son menos importantes en términos de episodios de contaminación.

Luego, dada la limitación económica del número de filtros a analizar, se procedió a una selección de las muestras disponibles, intentando elegir aquellas que captasen los episodios de contaminación relevantes. Así para $MP_{2.5}$ se seleccionaron 119 filtros de la estación La Paz y 117 filtros de la estación Las Condes. Para el $MP_{10-2.5}$, se seleccionaron 35 y 33 filtros de las estaciones La Paz y Las Condes respectivamente.

Estos filtros fueron analizados gravimétricamente para su posterior análisis de fluorescencia de rayos X (XRF).

3.1.2. Análisis XRF

La técnica XRF permite determinar la concentración elemental del material particulado recolectado por un muestreador de aire atmosférico. Consiste en irradiar la

muestra con rayos X y determinar la composición química elemental a partir del tipo de fluorescencia que éstos emiten al ser impactados.

Este procedimiento fue realizado por el Desert Research Institute (DRI, www.dri.edu), Reno, NV., USA. El mismo laboratorio además proporcionó las incertidumbres experimentales asociadas a las mediciones de cada elemento.

En las muestras se identificaron 51 elementos químicos: Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Silicio (Si), Fósforo (P), Azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Escandio (Sc), Titanio (Ti), Vanadio (V), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Galio (Ga), Arsénico (As), Selenio (Se), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Iterbio (Yt), Circonio (Zr), Niobio (Nb), Molibdeno (Mo), Paladio (Pd), Plata (Ag), Cadmio (Cd), Indio (In), Estaño (Sn), Antimonio (Sb), Cesio (Cs), Bario (Ba), Lantano (La), Cerio (Ce), Samario (Sm), Europio (Eu), Terbio (Tb), Hafnio (Hf), Tántalo (Ta), Wolframio (W), Iridio (Ir), Oro (Au), Mercurio (Hg), Talio (Tl), Plomo (Pb) y Uranio (Ur).

3.1.3. Datos de otros contaminantes

Una gran parte del $MP_{2.5}$ corresponde a productos de combustión, esencialmente a carbono elemental (C_{elem}) y carbono orgánico (C_{org}), por lo que es importante agregar estos datos. La información de C_{elem} y C_{org} se obtuvo de los analizadores de carbono que se encuentran ubicados en las estaciones Parque O'Higgins y Las Condes pertenecientes a la red MACAM. Los equipos son Rupprecht & Patashnick 5400 Ambient Carbon Analyzers, con capacidad de analizar muestras horarias. Se usó la información de C_{elem} y C_{org} de la estación Parque O'Higgins ya que no hay equipos de medición de estos compuestos en la estación La Paz. Parque O'Higgins se encuentra a una distancia aproximada de 4 kms. de la estación La Paz y suele estar viento arriba de ella.

Además, dado que no existía la información para todos los días del análisis, se procedió a imputar datos faltantes a partir de las concentraciones de gases obtenidas de la red de monitoreo automático de la calidad del aire de la región metropolitana (red

MACAM-2) de las estaciones Las Condes y La Paz usando el programa estadístico R (paquete: mtsdi). Este paquete estadístico completa los datos faltantes mediante series de tiempo multivariadas.

Para la estación Las Condes se imputaron C_{elem} y C_{org} con los gases de la misma estación: Óxido de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y además con el $MP_{2.5}$ TEOM. Para la estación La Paz, se ajustaron C_{elem} y C_{org} con los gases CO, SO_2 de la estación La Paz y con $MP_{2.5}$ TEOM de la estación Parque O'Higgins debido las altas correlaciones existentes entre los registros contaminantes de La Paz y Parque O'Higgins.

Los límites de detección de C_{elem} y C_{org} se estimaron como el mínimo valor horario anual para el análisis de PMF.

La figura 3-1, muestra la ubicación geográfica de estas 3 estaciones de monitoreo en Santiago.

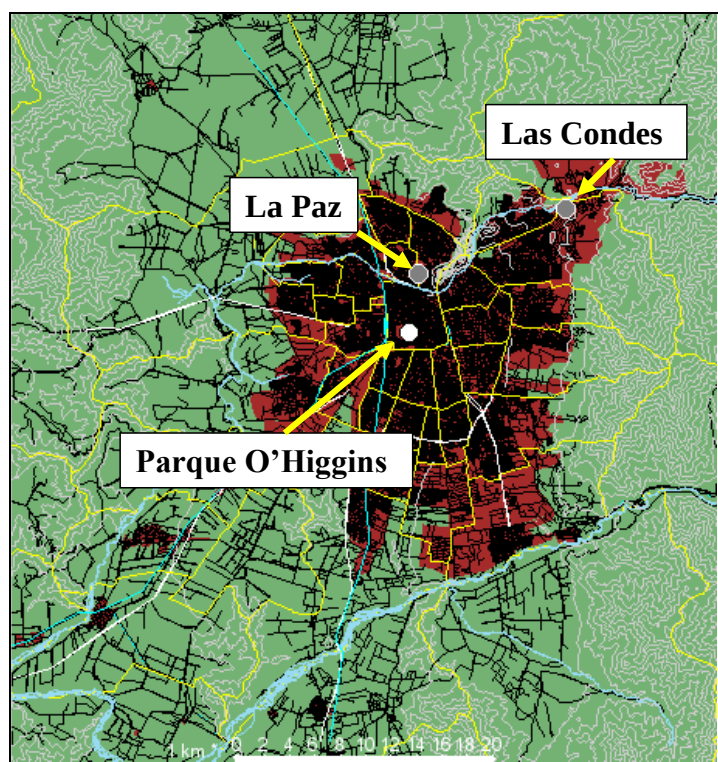


Figura 3-1: Ubicación estaciones de monitoreo en Santiago.

4. MÉTODOS

4.1. Identificación de perfiles de fuentes

4.1.1. Análisis de conglomerados

Para entender mejor la asociación entre los diferentes elementos, se realizó un análisis estadístico de conglomerados o clusters que agrupa elementos de acuerdo a una medida de similitud o distancia. Su representación gráfica se denomina dendograma. Se usó la técnica jerárquica o piramidal, con enlace medio entre grupos y la medida de distancia euclidiana al cuadrado.

4.1.2. Modelo de receptor

La metodología usada está basada en la aplicación del *Modelo Receptor* que se fundamenta en el principio de conservación de masa.

Las mediciones de la composición química del material particulado respirable (MP₁₀ y MP_{2.5}) de los filtros de monitoreo ambiental, se pueden expresar como una matriz X, de dimensión n x m, donde n es el número de muestras y m es el número de especies químicas cuya concentración se ha medido. El modelo de receptor se basa en encontrar las matrices G y F que permiten producir la siguiente ecuación de balance de masa químico (Hopke 1985):

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^p f_{kj} \cdot g_{ik} + e_{ij} \quad (4.1)$$

Donde x_{ij} corresponde a la concentración de la especie j en la muestra i, f_{kj} corresponde a la fracción másica de la especie j en la fuente k, g_{ik} corresponde a la concentración másica del aporte de la fuente k en la muestra i y e_{ij} es el residuo asociado a la concentración de la especie j de la muestra i; p corresponde al número de fuentes.

No obstante, existe un infinito número de posibles soluciones para este problema de análisis de factores que corresponden a rotaciones arbitrarias de las matrices G y F definidas en la ecuación (1) (Henry 1987). Para reducir el número de soluciones, las restricciones físicas de no negatividad tanto de las composiciones de las fuentes (f_{kj}) como de las contribuciones de éstas (g_{ik}) deben ser incluidas.

La técnica más común de análisis de factores corresponde al Análisis de Componentes Principales (PCA), disponible en la mayoría de los paquetes de análisis estadísticos. Utiliza los vectores propios de una matriz de correlaciones (Hopke 1985; Henry 1991). Sin embargo, tiene varios problemas asociados al ser aplicado en modelos atmosféricos pues no permite factores no ortogonales, no considera la incertidumbre o errores en los datos en el modelamiento y no considera restricciones de no negatividad de los perfiles y de las contribuciones (Henry 1987; Paatero and Tapper 1993; Paatero and Tapper 1994).

Una reciente técnica que supera estos problemas es la técnica de Factorización de Matrices Positivas o PMF la cual provee una solución a este problema, considerando restricciones de no-negatividad y permitiendo factores no ortogonales. Además cada observación puede ser ponderado de manera individual, lo que hace aumentar la importancia de las variables fuertes y disminuir el efecto de las variables débiles en el modelo (Paatero and Hopke 2003).

4.1.2. Técnica PMF (Positive Matrix Factorization)

Esta técnica analiza el problema del Modelo Receptor como un problema de mínimos cuadrados. Para eso define la matriz residual, e_{ij} como la diferencia entre la concentración observada, x_{ij} ($\mu g/m^3$) y los valores modelados $\hat{x}_{ij}$:

$$e_{ij} = x_{ij} - \hat{x}_{ij} = x_{ij} - \sum_{k=1}^p f_{kj} \cdot g_{ik} \quad (4.2)$$

El programa computacional desarrollado por EPA-EEUU (Environmental Protection Agency): EPA PMF 1.1. Utiliza este método de resolución, minimizando mediante iteraciones la función objetivo Q (Eberly 2005):

$$\text{Min} \left\{ Q(e) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{(e_{ij})}{\sigma_{ij}} \right]^2 \right\} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{s.a.} \quad & g_{ik} \geq 0 \\ & f_{kj} \geq 0 \end{aligned}$$

Donde σ_{ij} es la incertidumbre de la especie j de la muestra i.

PMF además supone perfiles de fuentes f_{kj} constantes y opera de modo robusto, lo que significa que los valores extremos no influyen demasiado en el ajuste de los perfiles y las contribuciones de las fuentes (Eberly 2005).

4.2. Estimación de la contribución másica de las fuentes

La contribución de las fuentes en el material particulado se obtuvo mediante una regresión lineal múltiple (RLM) de la concentración másica observada (M_i) en $(\mu g/m^3)$ usando las contribuciones de las p fuentes (g_{ik}) generadas por PMF. El intercepto de la regresión es interpretado como la concentración másica no explicada (β_0) o residual producto del ajuste. e_i corresponde al error (Hopke 1985).

$$M_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k \cdot g_{ik} + e_i \quad (4.4)$$

Dado a que los g_{ik} están normalizados con media uno, los β_k corresponden a los aportes de fuentes en $(\mu g/m^3)$.

4.3. Estimación del aporte del suelo a partir de los datos de óxidos

Además de la caracterización de las fuentes a partir de las concentraciones elementales, se estimó el aporte del suelo al $MP_{10-2.5}$. El método usado es la suma de óxidos, el cual es una estimación de la masa de ciertos óxidos presentes en el polvo natural (Andrews, Saxena et al. 2000). Suponiendo que el polvo del suelo está compuesto solamente por una combinación de los siguientes óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO y K_2O , la concentración másica del polvo está dada por:

$$[Polvo] = 2,14 \cdot [Si] + 1,89 \cdot [Al] + 1,43 \cdot [Fe] + 1,67 \cdot [Ti] + 1,4 \cdot [Ca] + 1,2 \cdot [K] \quad (4.5)$$

Los coeficientes de esta ecuación corresponden a la estequiometría de los respectivos óxidos que además contabilizan la masa de oxígeno.

4.4. Aplicación del método

4.4.1. Criterio de selección de elementos considerados

Siguiendo a (Paatero and Hopke 2003) en sus recomendaciones de elegir aquellas especies que no tengan mucho error en sus mediciones, se incluyeron en el análisis los elementos con una razón señal a ruido mayor a 2 (“Fuertes”). Los elementos con una razón señal a ruido entre 0.1 y 2 (“Débiles”) no se incluyeron en el análisis salvo ciertos elementos que debido a sus posibles efectos adversos en la salud y mortalidad (Lippmann, Ito et al. 2006) son relevantes. Estos son castigados en el PMF con un incremento de sus incertidumbres en un factor de 3. Los elementos con una razón señal a ruido inferior a 0.1 (“Malos”) fueron descartados.

La razón señal a ruido calculada por PMF para la especie j está definida como:

$$1/2 \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_{ij}^2} \right)^{1/2} \quad (4.6)$$

En el menú “Species Categorization” del programa EPA-PMF se despliega esta información para cada elemento y da al usuario la opción de definirlo como “Strong”, “Weak” o “Bad”.

4.4.2. Definición de los escenarios

En el análisis PMF del $MP_{2.5}$ se definieron los siguientes escenarios:

- *Escenario 1*: Solo elementos tipo “Strong” que coincidiesen en ambas estaciones de monitoreo y en ambas temporadas.
- *Escenario 2*: Mismos elementos considerados en el *Escenario 1* más la inclusión elementos químicos de interés por sus posibles efectos adversos en salud: Ni y V.
- *Escenario 3*: Mismos elementos considerados en el *Escenario 1* más la inclusión de los compuestos C_{elem} y C_{org} .
- *Escenario 4*: Mismos elementos considerados en el *Escenario 2* más la inclusión de los compuestos C_{elem} , C_{org} .

A su vez, para el análisis del $MP_{10-2.5}$ se definió solo un escenario:

- *Escenario 1*: Solo elementos tipo “Strong” que coincidiesen en ambas estaciones de monitoreo.

Debido a que el fenómeno de contaminación es altamente estacional en Santiago (Jorquera 2002a; Jorquera 2002b), la información de $MP_{2.5}$ fue particionada en 2 temporadas del año: una cálida (desde el 1 de septiembre hasta el 15 de abril) y otra fría (desde 16 de abril hasta el 31 de agosto). Para el $MP_{10-2.5}$ dada la poca cantidad de filtros analizados, no fue posible realizar la partición en dos temporadas, se analizó la data completa en cada estación de monitoreo.

5. RESULTADOS

5.1. Elementos seleccionados

Al aplicar el criterio de selección para el análisis de $MP_{2.5}$, 15 elementos son “Strong”: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Br y Pb. El elemento Cl cumple con el criterio de selección, fue descartado posteriormente debido a que generaba problemas en la estimación de las fuentes. Su histograma no se ajusta bien a una distribución normal. Ver histograma anexo B.

Finalmente, 14 elementos se consideraron para el estudio del $MP_{2.5}$ (*Escenarios 1, 2, 3 y 4*): Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Br y Pb. Para el *escenario 2 y 4*, los elementos Ni y V fueron agregados.

Aplicando el mismo criterio para el estudio del $MP_{10-2.5}$, 22 elementos fueron seleccionados: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Mo, Ba y Pb. Debido a la poca cantidad de observaciones obtenidas el análisis del $MP_{10-2.5}$, solo 10 elementos: Al, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, As y Pb se usaron para el análisis (*Escenario 1*) para obtener los grados de libertad suficientes para el análisis PMF. Estos elementos son trazadores de fuentes de emisión.

5.2. Descripción de los datos

Las tablas 5-1 y 5-2 muestran las concentraciones promedio de los principales elementos químicos, C_{elem} , C_{org} , $MP_{2.5}$ y $MP_{10-2.5}$ en los días analizados para las 2 estaciones de monitoreo. Además muestran las razones señal a ruido de los elementos químicos, calculados para PMF.

Las concentraciones promedio de $MP_{2.5}$ en la estación La Paz son mayores que los valores medidos en Las Condes; esto se debe principalmente a su ubicación, en el centro de la ciudad, donde se concentra la mayor cantidad de contaminantes y se encuentra cercana a calles congestionadas, a diferencia de la estación Las Condes, que está ubicada en un sector residencial. El $MP_{2.5}$ en la temporada fría aumenta debido a los constantes efectos de inversión térmica y pobre ventilación en esos meses, además

aumentan las emisiones residenciales. La mayoría de las concentraciones elementales aumentan en esta temporada, salvo algunos elementos traza como Al, Si y V.

La concentración promedio de $MP_{10-2.5}$ es también mayor en la estación La Paz que en la estación Las Condes atribuido al tráfico en las calles cercanas y a las actividades de construcción. Las mayores concentraciones promedio son Al y Ca.

	Promedio						Razón señal a ruido			
	La Paz			Las Condes			La Paz		Las Condes	
Temporada	Fría	Cálida	Año	Fría	Cálida	Año	Fría	Cálida	Fría	Cálida
<i>Elementos(ng/m^3)</i>										
Al	130	150	140	84	130	107	8,3	9,8	5,8	9,4
As	15	6,2	11	13	5,7	9,4	30	17	26	16
Br	17	5,1	11	16	4,2	10	14	4,4	12	3,5
Ca	160	130	145	88	98	93	59	49	36	39
Cu	38	21	30	23	14	19	26	15	16	11
Fe	500	320	410	280	200	240	120	93	83	65
K	337	303	320	280	194	237	119	124	108	93
Mn	23	12	18	15	8,4	12	9,1	4,8	5,9	3,3
Ni	0,79	0,37	0,58	0,45	0,32	0,39	2,3	1,1	1,3	0,95
P	50	41	46	39	39	39	13	11	10	10
Pb	41	16	29	25	11	18	14	5,9	8,2	4
S	1200	950	1075	950	950	950	77	76	76	76
Si	250	280	265	160	240	200	18	20	13	18
Ti	15	13	14	9,1	10	9,6	14	12	8,5	9,7
V	0,24	0,48	0,36	0,18	0,41	0,30	1,6	2,8	1,2	2,1
Zn	115	48	82	59	29	44	70	37	42	23
N° of samples	67	52	119	67	50	117				
<i>Compuestos (ug/m^3)</i>										
C_{elem}	9	3	6	1,7	1,3	1,5	49	17	9,2	6,9
C_{org}	17	7,1	12,1	9,1	5,6	7,4	5,9	2,6	5,9	3,6
$MP_{10-2.5}$	N.A.	N.A.	34	N.A.	N.A.	29				
$MP_{2.5}$	55	24	41	42	19	32				

Notas: En negrita aparecen las razones señal a ruido ≥ 2 . Las concentraciones de C_{elem} y C_{org} para La Paz, son de la estación de monitoreo Parque O'Higgins. Los promedios se calcularon con los días analizados.

Tabla 5-1: Concentraciones promedio y razón señal a ruido MP Fino.

	<i>Promedio</i>		<i>Razón señal a ruido</i>	
	<i>La Paz</i>	<i>Las Condes</i>	<i>La Paz</i>	<i>Las Condes</i>
<i>Temporada</i>	<i>Año</i>	<i>Año</i>	<i>Año</i>	<i>Año</i>
<i>Elementos (ng/m³)</i>				
<i>Al</i>	1300	1200	48	45
<i>As</i>	1,9	1,6	6,8	4,9
<i>Ca</i>	1300	1200	190	180
<i>Cl</i>	280	120	100	71
<i>Cu</i>	40	29	35	23
<i>Fe</i>	1900	1500	190	180
<i>K</i>	394	332	133	124
<i>Mn</i>	42	34	18	14
<i>Pb</i>	17	9,2	7,2	3,7
<i>S</i>	310	280	68	64

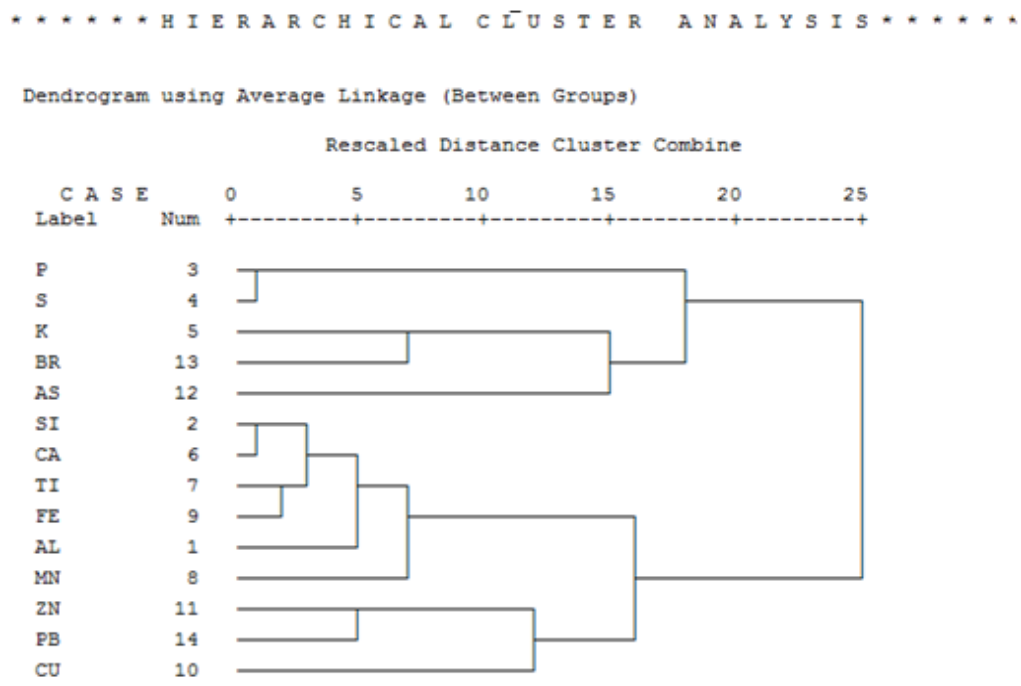
Nota: En negrita aparecen las razones señal a ruido ≥ 2 .

Tabla 5-2: Concentraciones promedio y razón señal a ruido MP Grueso.

5.3. Asociaciones entre elementos

La aplicación del análisis cluster para las fracciones fina y gruesa se resumen en forma de dendogramas (que se muestran a continuación). Los dendogramas son explicados para la estación de monitoreo Las Condes:

a) Las Condes MP_{2.5} temporada fría.



b) Las Condes MP_{2.5} temporada cálida.

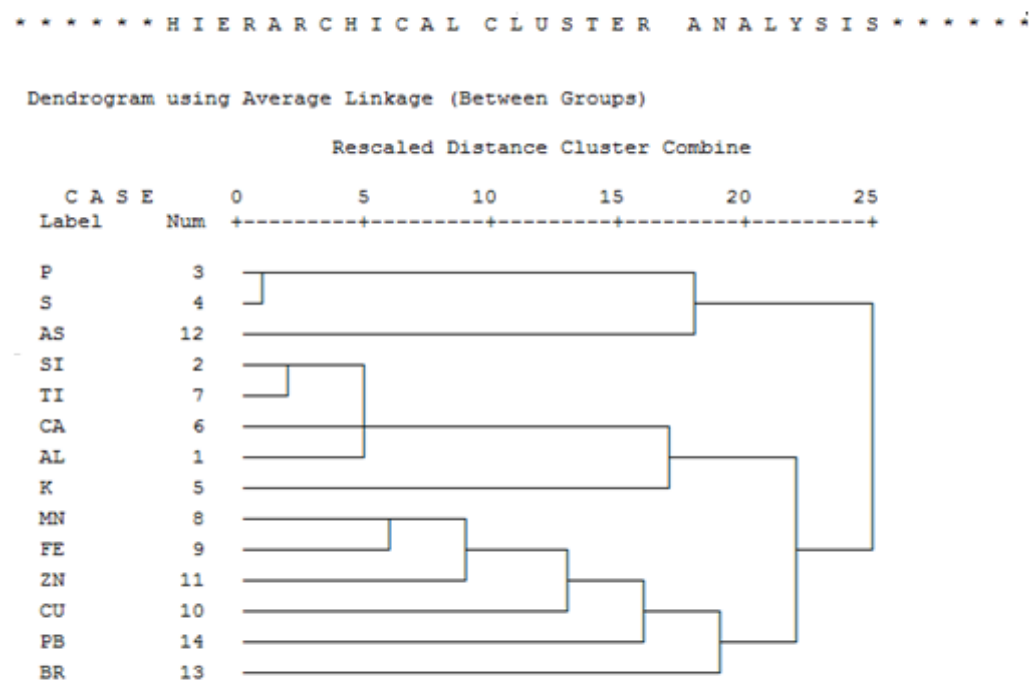


Figura 5-1: Dendogramas MP Fino Las Condes por temporadas, escenario 1.

3) Las Condes $MP_{10-2.5}$ temporada anual.

***** H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S *****

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

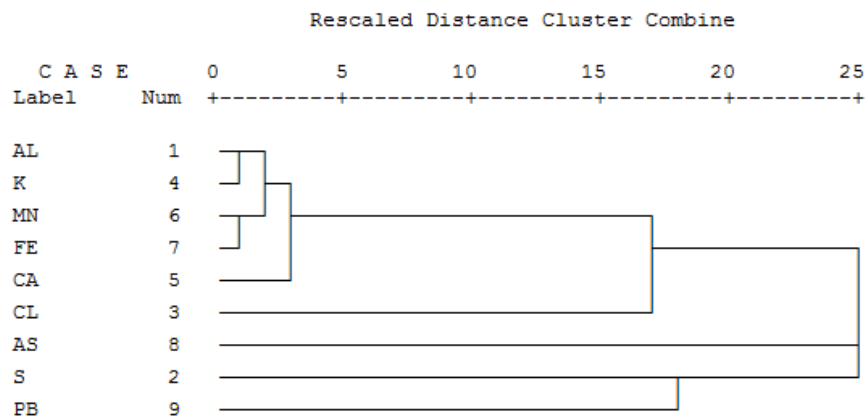


Figura 5-2: Dendrograma MP Grueso Las Condes, escenario 1.

El $MP_{2.5}$ de la temporada fría de estación Las Condes (Fig. 5-1a) muestra las siguientes agrupaciones de elementos (clusters) una distancia cercana a 15: Cluster 1: Si, Ca, Ti, Fe y Al; Cluster 2: Zn, Pb y Cu; Cluster 3: S y P; Cluster 4: K y Br; Cluster 5: As. Luego, los clusters tienden a juntarse, por ejemplo, agrupaciones como: {Si, Ca, Ti, Fe, Al} tienden a unirse con {Cu, Zn, Pb, Mn}. Lo mismo ocurre entre las agrupaciones {K, Br} y As. Para la temporada cálida se ve un similar patrón de asociamiento (Fig. 5-1b).

Los elementos {Si, Ca, Ti, Fe, Al} son constituyentes del polvo natural y poseen una alta correlación entre ellos. En este estudio, por ejemplo, los pares del conjunto {Al, Si, Ti} tienen un $\rho > 0.9$.

El K es un elemento que tiene una muy baja correlación con estos elementos ($\rho < 0.4$), por lo que debe provenir de otra fuente dominante.

Los elementos del conjunto {Zn, Pb, Cu} están relacionados con los vehículos y el uso de bencina. El Cu es componente de los frenos y el Zn está presente en los neumáticos. El par {Pb, Zn} tiene una alta correlación ($\rho > 0.8$), mientras que el par {Zn, Cu} posee un $\rho < 0.7$, sugiriendo que el Cu proviene de más fuentes. El Mn es aditivo del

diesel. Tiene una alta correlación con el Zn ($\rho > 0.7$). Ambos elementos además son parte de las emisiones de procesos metalúrgicos.

El conjunto {S, P} tienen un $\rho > 0.9$. El S no tiene una elevada correlación con ningún otro elemento. Desde que el diesel ha disminuido su contenido de azufre, esto significa que éste proviene de fuentes estacionarias en Santiago, tal como lo concluyó el Inventario de Emisiones para Santiago del año 2005 (CONAMA 2007).

El {As} no tiene una alta correlación con ningún otro elemento, es decir, posee el carácter de trazador.

El $MP_{10-2.5}$ la estación Las Condes (Fig. 5-2) muestra las siguientes agrupaciones: Cluster 1: Al, K, Mn, Fe y Ca; Cluster 2: Cl; Cluster 3: As; Cluster 4: S; Cluster 5: Pb. Los elementos del Cluster 1 tienen por lo general una muy alta correlación ($\rho > 0.8$). Los elementos {Cl}, {As}, {S} y {Pb} aparecen independientes y constituyen clusters por ellos mismos. El Na que no fue considerado en el análisis presenta una elevada correlación con el Cl ($\rho = 0.8$), lo que hace pensar que es cloruro del aerosol marino (masas de aire costero).

5.4. Perfiles de fuentes identificados

5.4.1. Fracción fina

Para las temporadas cálida y fría de ambas estaciones de monitoreo se encontraron a través de la metodología PMF, 5 fuentes de emisión de composiciones similares, salvo para la estación La Paz, Escenarios 3 y 4, donde en la temporada fría se encontraron solo 4 fuentes independientes. Los resultados en ng/m^3 se muestran en las tablas 5-3 y 5-4.

<i>Temp.</i>	<i>Fría</i>					<i>Cálida</i>				
<i>Fuentes</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Al</i>	4,1	58	8,3	4,8	7,6	31	90	0	0	3,7
<i>As</i>	0	0	0	13	0,0	0	0	0	5,7	0
<i>Br</i>	6,6	0	1,2	2,1	5,4	1,8	0	0,60	0,40	1,3
<i>Ca</i>	12	62	9,5	0	4,8	31	56	7,9	0,10	0
<i>Cu</i>	6,7	5,2	3,8	3,8	2,1	6,9	1,6	2,5	0,80	1,2
<i>Fe</i>	69	150	30	8,7	17	88	86	10	5,5	11
<i>K</i>	90	22	41	11	116	31	52	0	11	100
<i>Mn</i>	6,1	6,9	1,5	0	0	4,8	2,3	1,1	0	0,20
<i>Ni</i>	0,30	0	0,10	0	0	0,10	0	0,10	0	0,10
<i>P</i>	0,30	4,7	24	7,4	2,3	6,4	2,4	23	5,7	1,2
<i>Pb</i>	12	1,4	3,2	5,2	2,1	6,1	0,40	1,6	1,5	1,2
<i>S</i>	0	64	647	159	78	110	61	644	138	0
<i>Si</i>	14	113	17	7,7	8,5	57	161	7,2	3,8	12
<i>Ti</i>	2,0	5,2	1,1	0,30	0,60	3,4	6,1	0,40	0	0,60
<i>V</i>	0	0	0,10	0	0,10	0	0,20	0,20	0	0
<i>Zn</i>	41	0	6,6	6,0	4,9	20	0,90	5,6	0,70	1,6
<i>C_{elem}</i>	370	388	441	68	350	640	277	235	9,1	61
<i>C_{org}</i>	2158	2334	1574	581	2307	2600	1140	815	218	561

Tabla 5-3: Perfiles de fuentes MP Fino Las Condes, escenario 4.

<i>Temp.</i>	<i>Fría</i>				<i>Cálida</i>				
<i>Fuentes</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Al</i>	20	79	6,2	18	41	76	4,7	14	8,4
<i>As</i>	4,1	1,8	5,1	3,5	0	0,10	0	6,1	0
<i>Br</i>	10	0,50	1,6	3,9	2,4	0,30	0,60	1	0,50
<i>Ca</i>	34	103	0,50	20	57	66	0	3,2	0,50
<i>Cu</i>	18	9,7	5,6	5,3	12	3,7	2,8	1,3	0
<i>Fe</i>	157	279	40	26	168	143	0,9	1,2	0
<i>K</i>	109	53	8,8	166	0	78	0	0	225
<i>Mn</i>	12	8,4	1,8	0	8,2	3,3	0,20	0	0
<i>Ni</i>	0,50	0,10	0	0,10	0,20	0,10	0,10	0	0

<i>P</i>	1,9	4,2	29	15	6,9	1,9	21	9,5	1,6
<i>Pb</i>	25	5,7	8,0	2,3	9,7	1,5	0,90	3,3	0,40
<i>S</i>	0	11	796	360	90	0	576	231	55
<i>Si</i>	45	167	3,1	34	89	164	5,1	16	7,2
<i>Ti</i>	4,2	8,5	0,30	1,8	5,3	6,7	0,20	0,70	0,30
<i>V</i>	0	0	0,10	0,20	0	0,20	0,30	0	0
<i>Zn</i>	68	23	19	4,4	32	7,7	2,8	3,5	1,3
<i>C_{elem}</i>	3562	2479	1954	572	2278	0	318	115	153
<i>C_{org}</i>	6597	4221	370	4431	3085	605	1401	738	939

Tabla 5-4: Perfiles de fuentes MP Fino La Paz, escenario 4.

El C_{elem} y C_{org} se generan a partir de procesos de combustión, además el C_{elem} es uno de los principales trazadores del combustible diesel. Estos compuestos están presentes significativamente en las fuentes (1, 2, 3 y 5) descritas a continuación:

- Fuente 1: Vehículos 1

En esta fuente predominan los elementos: Br, Mn, Zn, Cu, Ni y Pb. Br y Pb son trazadores típicos de emisiones vehiculares (Kavouras, Koutrakis et al. 2001). Cu y Zn son componentes de los frenos y desechos de neumáticos de los vehículos. Los compuestos C_{elem} y C_{org} predominan en esta fuente, esto es típico de fuentes de transporte (Chow, Watson et al. 2004).

- Fuente 2: Vehículos 2

Este perfil contiene elementos como de polvo natural como Al, Fe, Si, Ti y Ca todos trazadores de polvo de calle suspendido por fuentes móviles y Mn, Cu, C_{elem} y C_{org} de emisiones vehiculares y desechos de vehículos. Estas dos fuentes bajan los fines de semana y son mayores en otoño e invierno, sugiriendo una emisión estacionaria a lo largo de todo el año; no fue posible separar claramente el polvo de calles de emisiones y componentes vehiculares.

- Fuente 3: Sulfatos

Esta fuente se identifica por el elemento S correspondiendo a sulfatos secundarios. Esta fuente no cambia los fines de semana, típico de las emisiones de las grandes industrias. Más del 90% de las emisiones de SO_2 en la ciudad de Santiago provienen de la industria (CONAMA 2007). Esta fuente además contiene P, V y C_{elem} . El V proviene del aceite industrial. En la temporada fría de la estación La Paz (Escenarios 3 y 4) este perfil además contiene As. En los demás casos analizados, se encontró como una fuente independiente denominada Arsénico.

- Fuente 4: Arsénico

El perfil Arsénico está dominado por elementos que provienen de emisiones industriales fuera de la ciudad e ingresan a la cuenca por la influencia del viento. En la estación Las Condes, el perfil está dominado por el elemento As, que proviene de fundiciones de Cu, y es una mezcla con S, Fe, Pb y Zn en menores proporciones (Hedberg, Gidhagen et al. 2005). Una posibilidad es que esta pluma externa, de carácter regional, provenga de alguna fundición cercana a Santiago. Existen dos grandes fundiciones que emiten As en Chile Central (Gidhagen, Kahelin et al. 2002). Esta fuente no tiene estacionalidad semanal.

- Fuente 5: Biomasa

El elemento que es trazador de quema de biomasa o combustión de leña, es el K. El C_{org} y C_{elem} también están presente en esta fuente, en particular, en la temporada fría, donde es el segundo contribuyente de carbono total después del transporte. Esta fuente no decrece los fines de semana. En la temporada fría de la estación La Paz, esta corresponde a la fuente 4. (Ver tabla 5-4).

5.4.2. Fracción gruesa

Los resultados PMF para el $MP_{10-2.5}$ logran identificar 6 perfiles de fuentes de características similares en composición, cuyas concentraciones en ng/m^3 se muestran en la tabla 5-5.

Tres de estas fuentes coinciden con los perfiles encontrados en el $MP_{2.5}$: Transporte (Fuentes 1 y 2), Sulfatos (Fuente 3) y Arsénico (Fuente 4). Las otras 2 encontradas: Regional (Fuente 5) y Polvo Construcción (Fuente 6) se describen a continuación:

	<i>Las Condes</i>						<i>La Paz</i>					
<i>Fuentes</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Al</i>	48	521	151	169	225	52	410	338	0	91	77	399
<i>As</i>	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0,60	1,2	0	0
<i>Ca</i>	401	141	69	188	0	372	284	106	302	65	92	476
<i>Cl</i>	0	4,9	0,70	1,3	84	25	29	35	11	4,2	177	20
<i>Cu</i>	11	0	2,6	13	1,4	1	1,3	0	0	32	4,3	2,4
<i>Fe</i>	267	480	178	288	213	39	669	197	331	125	122	420
<i>K</i>	8	131	53	58	57	26	111	105	11	32	23	113
<i>Mn</i>	3,9	13	4,7	5,5	5,4	1,6	13	6,8	5,7	2,7	2,5	12
<i>Pb</i>	4,3	0,30	1,8	2,8	0	0	9,4	0,10	7,0	0	0,30	0
<i>S</i>	0	0	164	48	0	71	0	112	195	0,0	0	0

Tabla 5-5: Perfiles de fuentes MP Grueso ambas estaciones, escenario 1.

- Fuente 5: Regional (Costero)

Esta fuente contiene al elemento Cl casi en su totalidad. El Cl es el principal trazador del aerosol marino que viene del océano (110 km. al oeste de Santiago). Este llega a la cuenca producto de la acción de los vientos, y se intensifica en los meses de primavera y verano.

- Fuente 6: Polvo Construcción

Este perfil es identificado como polvo de construcción y de demoliciones. El elemento trazador es el Ca que proviene del yeso (CaSO_4) y cemento utilizado en construcciones de edificios y viviendas en general.

5.5. Contribución másica de las fuentes

5.5.1. Fracción fina

La figura 5-3 muestra las concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y aportes promedio por temporadas de las fuentes para las 2 estaciones de monitoreo (Escenario 4).

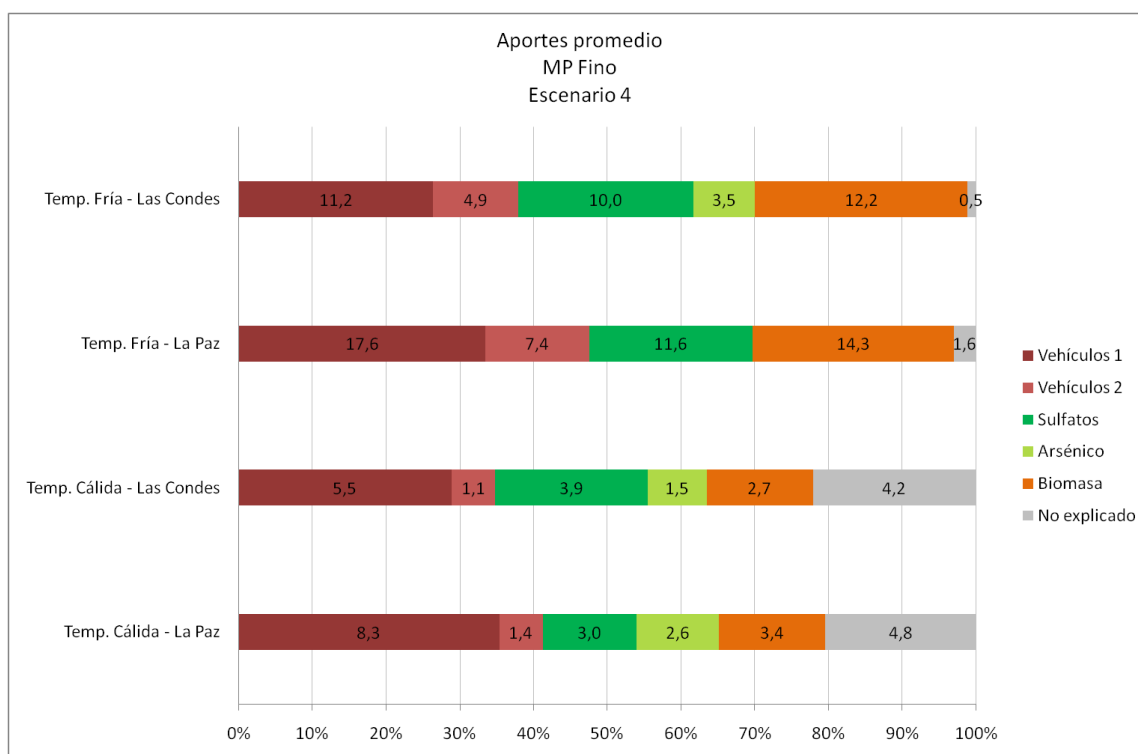


Figura 5-3: Aportes promedio MP Fino por temporadas, escenario 4.

Al realizar la regresión lineal múltiple (RLM), el modelo logra explicar durante la temporada fría de Las Condes y La Paz casi todo el $\text{MP}_{2.5}$ en las cinco fuentes encontradas, obteniendo un bajo no explicado (1%, $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y (3%, $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$),

respectivamente. No sucede lo mismo para la temporada cálida de ambas estaciones, donde el no explicado alcanza el 20% en ambos casos.

En la temporada fría, los perfiles de fuentes que más aportan en promedio a la contaminación de $MP_{2.5}$ en Las Condes son las fuentes relacionadas con el transporte: Vehículos 1 y Vehículos 2 con 11.2 y 4.9 $\mu g/m^3$ respectivamente, representando ambas un 38% del $MP_{2.5}$. En un segundo lugar se encuentra la Biomasa con casi un 30% (12.2 $\mu g/m^3$) y los Sulfatos en un tercer lugar con un 24% (10 $\mu g/m^3$). Para la temporada cálida en este sector, las concentraciones promedio de cada fuente bajan considerablemente y las fuentes vehiculares representan el mayor porcentaje (35%) con una concentración conjunta de 6.6 $\mu g/m^3$ seguido de una fuente no explicada (22%, 4.2 $\mu g/m^3$) y Sulfatos (21%, 3.9 $\mu g/m^3$). La fuente Arsénico representa un 8% en ambas temporadas.

Para la temporada fría del sector céntrico, casi el 50% del aporte promedio de $MP_{2.5}$ es atribuible al transporte, con una concentración total de 25 $\mu g/m^3$ seguido de la fuente Biomasa (27%, 14.3 $\mu g/m^3$) y Sulfatos (22%, 11.6 $\mu g/m^3$). El aporte de Arsénico en la temporada fría, está fusionado con esta fuente de Sulfatos ya que su trazador, el As se encuentra en esta fuente.

En este gráfico se observa la alta estacionalidad de la fuente Biomasa aumentando considerablemente su participación en los meses fríos. Este resultado solo pudo obtenerse particionando la información en temporadas fría y cálida; de otra manera la estacionalidad obtenida por PMF para el año completo era baja. Esto está soportado por el inventario de emisiones para Santiago (Ver sección 6.3)

5.5.2. Fracción gruesa

Los resultados de las concentraciones y el aporte promedio anual de las fuentes encontradas para la fracción gruesa se muestran en la figura 5-4:

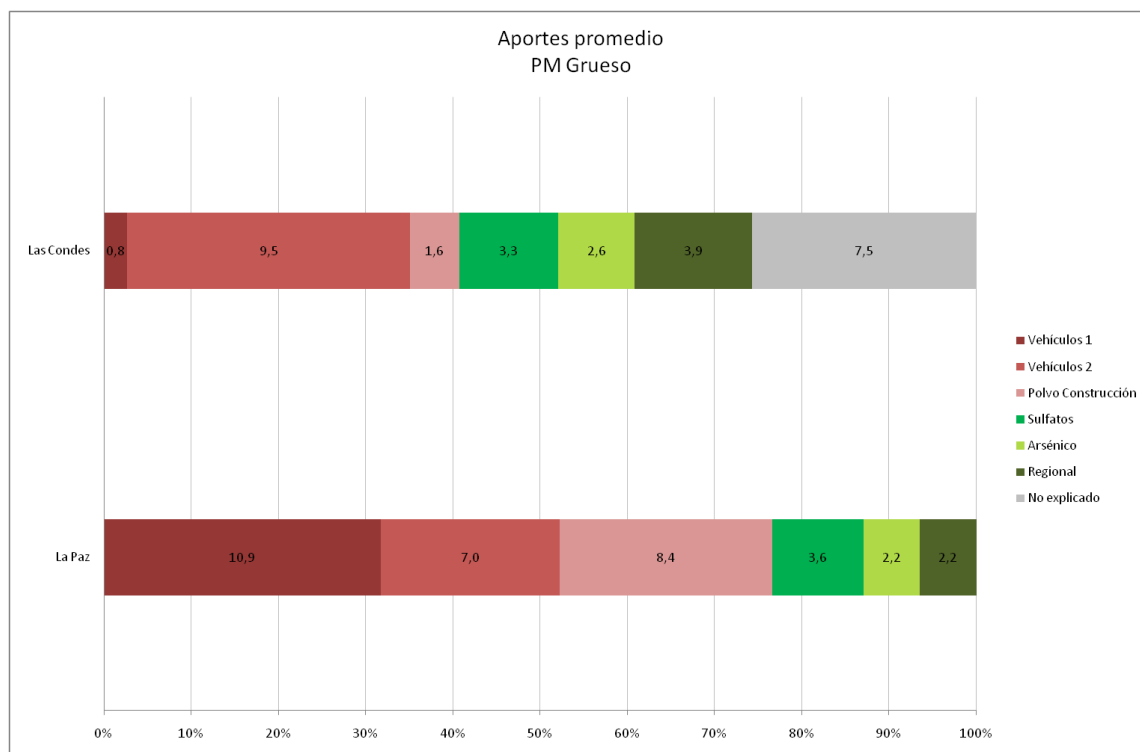


Figura 5-4: Aporte promedio MP Grueso, escenario 1.

Como se observa en la figura 5-4, el modelo logra explicar alrededor del 75% del total observado $MP_{10-2.5}$ en la estación Las Condes. El resto de la concentración se atribuye al no explicado. Para la estación La Paz, el 100% de esta fracción fue explicada por el método PMF debido a que β_0 (de la ecuación 4.4) era levemente negativo y no significativo, por eso se removió en la regresión (MLR). El aporte de las fuentes prácticamente no cambió mucho con respecto al valor ajustado.

Los principales contribuyentes al $MP_{10-2.5}$ son aquellos que contienen elementos de “polvo fugitivo local”, provenientes del polvo natural suspendido (Polvo Calle) y de las construcciones y demoliciones de viviendas (Polvo Construcción). La estación La Paz alcanza una concentración de polvo fugitivo de $15.4 \mu g/m^3$, esto representa el 50% del $MP_{10-2.5}$ en este sector. La concentración máscica de polvo fugitivo es un poco menor en Las Condes con $11.1 \mu g/m^3$ (38%). La mayor diferencia en estas estaciones está dada por la contribución de Polvo Construcción: 24% en La Paz y un 6% en Las Condes. Este último valor, para esta estación parece ser demasiado bajo, ya que el sector ha

experimentado un rápido crecimiento urbano. Quizás esto explica en parte el 25% de la concentración másica no explicada en los resultados de MLR.

La contribución de Vehículos, identificado por su elevado contenido de Pb, es mayor en el sector céntrico con $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (32%), que en Las Condes, donde es de solamente $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3%). Esta diferencia se da debido a que en La Paz este perfil además tiene elementos de polvo de calle en alta concentración, no así en Las Condes, donde las fuentes si están separadas y la contribución de polvo de calle es mucho mayor representando $9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (32%).

Las concentraciones de Sulfatos y Arsénico en el $\text{MP}_{10-2.5}$ son similares en ambas estaciones: Los Sulfatos contribuyen con $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Las Condes y La Paz, respectivamente y el Arsénico con $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta similitud espacial es característica de fuentes regionales de alta escala de contaminación.

La contribución de polvo regional es mayor en Las Condes que en La Paz con $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (13%) y $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7%), respectivamente. La diferencia está dada por la mayor concentración de elementos de polvo en el perfil de fuente de Las Condes.

5.6. Aporte del suelo

El aporte del suelo estimado a partir del método Suma de Óxidos y su comparación con la fuente de “polvo fugitivo local” (Polvo Calle más Polvo Construcción) para el $\text{MP}_{10-2.5}$ se muestra en el gráfico de la estación Las Condes (figura 5-5):

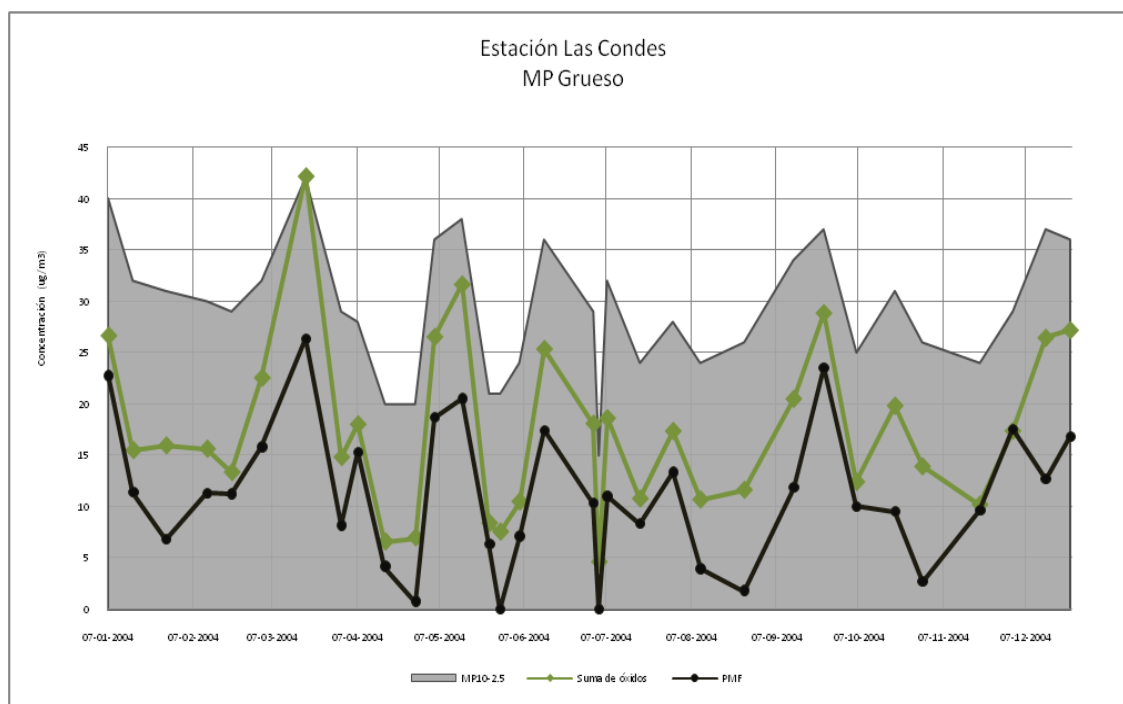


Figura 5-5: Suma de Óxidos MP Grueso Las Condes, escenario 1.

Las series identificadas como: Suma de óxidos y PMF, muestran una correlación significativa ($\rho = 0.89$) y la serie suma de óxidos es en promedio un 36% mayor que la estimada por PMF. Esto se debe a que en el método Suma de Óxidos considera que la concentración total de los elementos de la corteza provienen de fuentes de polvo. En los resultados de PMF, fuentes regionales (Arsénico y Regional o Costero) incluyen elementos de la corteza en sus perfiles de fuentes. En Las Condes y en La Paz, 22% y 13% del $MP_{10-2.5}$, respectivamente, provienen de afuera de la ciudad.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1. Fracción fina

Para esta fracción analizada, se realizó un análisis de sensibilidad dado los distintos escenarios estudiados. La inclusión de C_{elem} y C_{org} (Escenarios 3 y 4), mejoraron los perfiles de fuentes, especialmente aquellos relacionados a fuentes móviles o transporte que contienen la mayor parte de estos compuestos. Cinco fuentes se encontraron en estos dos sitios y temporadas, exceptuando la estación La Paz durante la temporada fría, donde solo cuatro fuentes independientes pudieron ser encontradas Escenarios 3 y 4, dado que la fuente Arsénico no se pudo encontrar como fuente separada. Polvo resuspendido no pudo separarse completamente de las emisiones y desechos vehiculares por lo que Vehículos 1 y Vehículos 2 son fuentes mezcladas. Esta mezcla ha sido encontrada también en otros estudios de importantes ciudades, como Bangkok, Tailandia (Chueinta, Hopke et al. 2000).

Hemos encontrado que las fuentes estimadas por PMF son significativamente diferentes entre temporadas fría y cálida. Se aplicó un test estadístico de medias usando la función bootstrap de PMF para estimar medias y desviaciones estándares para todos los elementos de cada fuente. Al aplicar el test por elemento, la mayoría son significativamente diferentes, con un nivel de confianza de 95%. Esto justifica la aplicación de PMF separado por temporadas. Además la estacionalidad de la fuente Biomasa se vio favorecida a diferencia de realizar la corrida para el año completo en PMF- Ver sección 6.3.

6.2. Fracción gruesa

Seis fuentes fueron encontradas para el $MP_{10-2.5}$. Cuatro de estas fuentes ya fueron identificadas en el $MP_{2.5}$. Las nuevas fuentes encontradas son características de este tipo de fracción: Regional (o aerosol marino el cual es rico en NaCl) y Polvo Construcción, ambas fuentes dominadas por partículas gruesas. Las fuentes móviles, principalmente, polvo suspendido de las calles, son las que más contribuyen con un

35% y 52% en Las Condes y La Paz, respectivamente. El segundo lugar no está claro: Polvo Construcción es 24% en La Paz y solo un 6% en Las Condes, mientras que el polvo Regional es 13% en Las Condes y 7% en La Paz. Sulfatos son el tercer contribuyente con 11% y 10% en Las Condes y La Paz, respectivamente.

6.3. Inventario de emisiones

La tabla 6-1, compara las contribuciones de fuentes para los contaminantes primarios, provenientes del inventario de emisiones hecho para Santiago durante el año 2005 (CONAMA 2007) y los resultados de este trabajo.

Claramente la fuente de polvo de calle está sobreestimada en las fracciones fina y gruesa del MP_{10} . Si se reducen estas emisiones, las emisiones de quema de biomasa (fino) y polvo construcción (grueso) suben, concordando así con lo obtenido en este trabajo.

La contribución de Vehículos en la fracción gruesa se asemeja entre el inventario y lo obtenido. Se usó el resultado de Las Condes debido a que en esta estación el polvo se encontraba separado de las emisiones vehiculares.

Para la fracción fina, la fuente vehicular tiene una contribución de aerosoles secundarios (por ejemplo, nitrato de amonio) que no fue considerada en el inventario. Pese a eso, hay consistencia entre los dos resultados.

Fuente primaria	% Emisión Año 2005 (Inventario de emisiones de Santiago)	% Obtenido en este trabajo
Fracción MP _{2.5}		
Quema de Biomasa	11	22
Vehículos	20	31 ⁽¹⁾
Polvo de Calle	43	10
Fracción MP _{10-2.5}		
Construcción	8	16
Vehículos	2	3 ⁽²⁾
Polvo de Calle	86	26

(1): Este porcentaje incluye MP_{2.5} secundario.

(2): Resultado solamente de Las Condes.

Tabla 6-1: Comparación contribuciones entre inventario de emisiones y modelo.

7. PERSPECTIVAS DE TRABAJO FUTURO

Las perspectivas de trabajo futuro se relacionan directamente con los resultados obtenidos en esta investigación, por ejemplo, las series de fuentes estimadas se pueden asociar con el riesgo en salud de la ciudad de Santiago, ya sea con las admisiones hospitalarias por causas respiratorias y/o cardiovasculares, la mortalidad, etc. de cada grupo o segmento de la población (sexo, edad).

Además se pueden asociar los elementos químicos directamente con el riesgo en la salud de las personas, conociendo aquellos que son perjudiciales para la salud y su(s) principal(es) fuente(s) emisora(s). Sabiendo esto, el Estado puede tomar las medidas de necesarias para mejorar la calidad de aire que respiramos en esta ciudad.

ANEXOS

ANEXO A: DATOS ORIGINALES MP FINO

Las Condes (ng/m³)

Fecha	AL	AS	BR	CA	CU	FE	K	MN	NI
04-01-2004	106,9	0,0	1,0	69,0	3,7	124,6	155,5	3,8	0,1
10-01-2004	244,4	1,5	1,0	136,5	12,0	237,6	160,5	7,6	0,0
22-01-2004	151,3	2,7	2,8	111,0	12,3	196,1	213,0	7,3	0,1
31-01-2004	145,4	0,0	2,2	104,5	7,6	183,6	179,8	7,9	0,1
06-02-2004	144,5	2,4	4,9	129,1	18,5	200,2	378,7	9,1	0,4
18-02-2004	159,0	4,1	3,4	118,2	11,7	215,3	256,8	8,5	0,1
24-02-2004	174,7	3,6	6,4	119,6	10,8	221,0	224,2	7,9	0,4
05-03-2004	127,9	3,6	3,4	122,3	17,9	240,8	207,9	13,5	0,4
07-03-2004	111,0	25,5	3,7	82,6	9,3	149,8	152,2	2,9	0,0
09-03-2004	156,9	7,1	4,3	141,6	15,6	281,7	191,6	8,8	0,4
11-03-2004	130,6	6,2	7,0	113,7	22,7	233,1	217,1	13,8	1,0
13-03-2004	108,0	3,6	4,0	88,8	12,0	192,8	183,0	8,8	0,4
15-03-2004	149,2	3,9	2,8	115,8	10,8	226,3	139,8	7,0	0,1
17-03-2004	188,1	11,9	5,8	114,9	13,2	251,8	242,6	10,3	0,1
21-03-2004	200,2	8,6	8,4	125,6	15,0	245,3	549,7	6,1	0,4
25-03-2004	248,2	5,6	5,8	157,6	11,4	328,0	521,2	12,6	0,4
27-03-2004	229,3	4,7	7,6	130,3	13,8	280,2	441,5	8,8	0,7
29-03-2004	113,1	1,5	5,8	96,5	11,1	190,7	169,7	8,8	0,4
02-04-2004	139,8	1,2	6,4	111,9	22,4	323,5	119,0	15,3	0,7
03-04-2004	101,5	1,5	10,8	77,9	21,8	194,0	117,2	8,8	0,7
04-04-2004	55,0	0,0	6,7	53,8	18,8	142,1	133,2	4,3	0,4
06-04-2004	62,4	7,7	7,9	77,9	19,4	199,0	134,4	10,0	0,1
07-04-2004	92,9	7,1	6,4	101,3	15,6	214,2	137,7	11,5	0,7
09-04-2004	114,0	7,4	4,3	84,7	11,4	205,9	273,4	7,9	0,4
10-04-2004	88,8	6,2	4,3	53,8	7,9	129,4	252,7	3,8	0,4
11-04-2004	71,3	5,0	4,0	48,8	8,2	105,7	221,3	2,6	0,1
12-04-2004	112,2	1,8	4,3	98,3	23,0	240,5	161,4	12,6	0,1
13-04-2004	122,9	5,0	2,2	77,9	14,4	211,2	133,2	14,1	0,4
16-04-2004	44,9	5,6	8,4	61,6	20,0	173,5	127,3	8,2	0,1
19-04-2004	84,0	14,5	5,8	96,8	18,8	234,9	123,7	11,8	0,4

24-04-2004	60,9	5,0	11,4	55,9	15,9	173,2	213,9	8,5	0,4
25-04-2004	39,6	10,1	14,1	44,4	14,4	132,3	224,2	5,5	0,1
26-04-2004	76,6	14,5	14,1	81,4	45,2	239,9	189,3	11,5	0,4
27-04-2004	95,3	16,0	13,5	98,6	24,2	302,8	309,0	19,2	0,4
01-05-2004	96,8	28,8	19,4	81,1	23,3	251,2	381,6	8,8	0,4
02-05-2004	72,8	16,3	13,2	63,9	13,5	170,6	387,8	5,2	0,1
03-05-2004	79,9	10,1	17,3	85,3	15,9	215,6	320,9	12,9	0,4
04-05-2004	132,0	7,7	15,9	135,4	17,3	339,8	229,0	16,5	0,1
06-05-2004	133,8	24,0	16,7	126,2	29,8	335,4	298,9	17,4	0,7
07-05-2004	138,6	21,3	16,2	157,6	28,3	407,1	268,1	17,4	0,7
08-05-2004	239,0	13,0	8,7	111,9	24,2	310,5	249,1	10,3	0,7
09-05-2004	57,1	17,2	17,3	46,7	44,0	180,1	423,1	5,5	0,7
11-05-2004	70,1	16,0	20,6	70,1	26,2	242,3	451,6	15,6	1,0
12-05-2004	84,3	11,6	22,4	99,5	22,4	317,9	416,9	17,1	0,7
14-05-2004	130,6	5,3	11,4	176,9	17,0	315,5	194,3	20,4	0,4
16-05-2004	111,3	17,2	24,8	105,4	36,3	278,5	624,7	10,0	0,1
18-05-2004	181,8	13,0	22,1	200,9	37,2	550,0	437,3	31,3	0,7
24-05-2004	64,5	7,7	15,0	58,3	11,4	200,2	195,8	9,1	0,1
26-05-2004	86,4	4,7	15,6	118,5	15,3	291,5	160,5	12,3	0,1
27-05-2004	80,5	21,3	20,0	89,1	20,6	266,9	257,1	15,3	0,4
28-05-2004	62,7	26,7	25,9	74,9	28,9	279,4	408,0	17,4	1,0
30-05-2004	60,9	19,3	29,8	52,4	17,0	189,6	369,8	7,0	0,1
31-05-2004	69,2	21,9	33,9	87,0	23,9	311,7	403,3	14,4	0,4
01-06-2004	79,3	14,2	19,7	76,4	16,2	257,1	235,8	12,1	0,1
02-06-2004	90,0	11,6	16,7	103,9	23,0	378,4	221,0	19,8	0,1
03-06-2004	140,9	11,6	12,9	134,5	21,8	470,8	273,1	41,1	0,4
04-06-2004	104,8	16,0	21,5	139,8	36,3	381,0	342,8	21,2	0,4
05-06-2004	56,2	8,6	20,3	56,2	19,4	177,1	400,0	8,8	1,0
06-06-2004	56,5	12,2	31,0	44,1	16,2	172,4	396,7	7,0	0,7
07-06-2004	55,9	12,7	12,3	51,2	19,1	148,1	279,7	5,2	0,0
12-06-2004	66,5	1,8	8,4	71,9	11,7	209,4	151,9	6,1	0,1
15-06-2004	164,9	9,8	15,6	201,5	33,6	578,1	277,3	32,8	1,6
17-06-2004	109,5	19,6	16,5	101,9	25,0	328,6	325,0	17,1	0,1
18-06-2004	87,9	20,5	22,7	106,0	33,6	389,9	304,0	21,8	0,7
23-06-2004	100,6	17,2	21,2	108,7	28,3	418,7	317,0	28,7	1,0

25-06-2004	82,0	20,7	15,9	95,9	34,8	371,5	310,2	23,0	1,0
26-06-2004	63,6	12,7	18,8	58,0	21,2	247,3	281,1	12,1	0,4
29-06-2004	52,3	17,2	20,3	65,7	20,6	215,3	333,3	8,5	0,1
30-06-2004	84,6	15,1	22,7	85,3	31,6	371,8	351,4	27,5	1,0
01-07-2004	79,3	9,8	15,3	87,3	23,3	364,7	258,6	21,8	1,0
03-07-2004	81,1	16,6	13,5	75,2	25,9	264,5	336,9	16,5	0,4
04-07-2004	53,2	14,2	20,3	47,0	52,6	167,3	249,4	6,4	0,1
05-07-2004	60,9	13,0	10,2	79,3	17,9	255,6	189,3	13,8	0,7
06-07-2004	78,4	12,4	15,0	95,0	27,4	307,8	230,2	15,3	1,0
08-07-2004	92,6	9,5	20,3	111,0	28,3	413,3	358,2	27,2	0,7
09-07-2004	114,9	16,6	23,9	149,3	33,3	453,9	499,0	34,0	1,3
10-07-2004	67,1	7,7	20,6	80,2	15,3	224,5	328,6	7,3	0,1
11-07-2004	41,1	16,3	17,6	44,4	21,2	147,2	344,6	5,5	0,7
15-07-2004	63,9	5,0	18,5	57,1	13,8	214,4	261,9	8,8	0,1
20-07-2004	82,0	9,8	18,5	82,6	31,3	260,1	245,0	15,0	0,1
24-07-2004	106,6	3,0	10,8	108,7	22,4	313,4	233,7	15,6	0,7
26-07-2004	94,1	4,4	13,5	101,6	29,5	327,4	240,2	20,9	0,4
01-08-2004	31,6	10,4	12,0	28,9	16,5	151,0	251,2	5,5	0,1
06-08-2004	88,2	8,0	6,1	84,1	12,6	251,2	176,2	13,2	0,1
08-08-2004	41,6	6,8	6,1	36,7	17,0	123,5	182,4	3,5	0,1
09-08-2004	40,8	6,5	16,2	31,3	16,5	202,9	251,8	12,1	0,1
11-08-2004	65,1	9,5	10,5	68,4	18,8	228,7	192,8	10,0	0,1
12-08-2004	83,4	6,2	7,0	115,8	15,0	290,9	158,4	15,0	0,7
13-08-2004	58,5	7,4	12,9	59,8	20,9	236,7	231,6	14,7	1,0
14-08-2004	35,4	11,9	5,8	41,4	14,7	145,7	147,2	8,8	0,0
19-08-2004	50,8	0,0	7,3	56,5	13,2	182,4	166,7	9,1	0,1
23-08-2004	111,6	8,0	9,0	125,9	20,9	334,8	216,2	12,3	0,4
24-08-2004	90,0	22,2	6,1	88,2	21,8	245,0	187,5	15,9	0,1
28-08-2004	63,0	12,7	7,6	56,5	16,2	187,2	194,9	9,4	0,1
31-08-2004	121,7	11,0	4,6	117,3	21,8	318,8	191,6	17,1	0,7
01-09-2004	85,5	16,3	5,8	183,1	19,4	234,6	194,0	11,2	0,4
10-09-2004	91,1	7,7	9,3	88,8	17,9	254,5	264,8	13,8	0,1
15-09-2004	81,4	29,9	6,4	65,4	21,8	209,4	210,0	11,2	0,7
20-09-2004	59,7	12,4	4,3	54,1	10,8	114,6	97,7	2,9	0,1
22-09-2004	96,8	9,8	5,5	92,4	15,3	221,0	163,5	10,3	0,1

26-09-2004	79,3	2,4	1,3	62,4	12,9	164,9	193,1	7,3	0,7
28-09-2004	115,2	8,0	3,7	95,6	15,6	239,3	156,4	10,6	0,4
30-09-2004	134,7	13,6	2,8	102,2	15,3	239,3	195,5	11,5	0,1
08-10-2004	58,5	3,9	2,2	79,3	10,5	131,8	85,8	5,5	0,1
10-10-2004	33,6	0,0	4,0	34,3	12,3	83,7	125,2	1,4	0,1
14-10-2004	58,8	4,7	3,1	59,8	13,5	135,9	104,2	6,7	0,1
16-10-2004	51,1	2,1	2,5	53,5	13,2	123,7	88,8	5,5	0,1
22-10-2004	609,0	0,6	2,5	238,8	49,4	329,7	177,4	15,6	0,1
24-10-2004	98,9	0,0	1,3	65,7	5,5	118,4	106,3	3,8	0,4
05-11-2004	126,4	6,2	1,6	107,5	8,4	225,7	145,4	8,2	0,1
17-11-2004	128,8	8,6	2,8	98,6	13,2	215,9	108,0	8,8	0,4
23-11-2004	77,8	5,3	1,6	68,1	12,6	140,1	84,3	8,8	0,7
26-11-2004	86,7	0,9	1,9	69,3	7,6	149,2	74,0	5,2	0,4
29-11-2004	164,1	3,6	2,2	112,5	7,3	197,8	105,4	7,0	0,1
11-12-2004	163,5	0,0	1,3	100,4	9,9	199,9	202,0	5,5	0,4
20-12-2004	126,4	2,4	0,7	92,7	6,7	160,2	170,3	4,3	0,0
29-12-2004	131,8	8,3	3,4	98,0	13,2	196,4	390,2	8,8	1,0

Fecha	P	PB	S	SI	TI	V	ZN	C _{elem} *	C _{org} *
04-01-2004	24,8	0,3	668,7	209,3	7,7	0,3	6,5	0,8	4,9
10-01-2004	24,2	10,7	612,7	403,4	17,4	0,6	16,9	1,4	5,9
22-01-2004	33,1	4,4	838,3	292,5	12,4	0,6	25,8	1,5	5,8
31-01-2004	19,2	5,0	500,7	289,3	11,5	0,0	19,0	1,2	4,3
06-02-2004	57,7	13,0	1517,3	298,2	13,9	0,9	24,0	2,7	7,6
18-02-2004	21,2	10,1	563,5	308,6	12,1	0,3	25,2	1,2	4,7
24-02-2004	54,1	7,4	1480,0	320,4	13,3	0,9	25,5	1,6	6,5
05-03-2004	66,9	17,8	1887,5	264,7	11,2	0,6	43,6	1,2	5,6
07-03-2004	47,3	7,1	1290,6	232,1	8,2	0,6	10,1	0,4	4,4
09-03-2004	53,0	11,9	1350,2	322,2	13,0	0,9	38,2	1,1	5,4
11-03-2004	134,5	17,2	3631,2	264,1	12,7	1,2	54,8	1,8	7,1
13-03-2004	58,6	17,5	1498,6	226,2	9,1	0,3	35,0	1,3	5,8
15-03-2004	49,7	5,9	1286,7	307,4	11,5	0,6	26,4	1,7	5,7
17-03-2004	30,7	11,0	816,0	356,6	13,3	0,9	31,7	0,4	4,0
21-03-2004	55,9	10,1	1273,4	379,4	15,7	0,9	17,5	0,3	5,3

25-03-2004	34,0	9,8	730,4	481,1	20,4	0,9	31,1	0,4	4,8
27-03-2004	38,1	13,0	936,1	426,8	17,4	1,5	25,2	0,2	4,6
29-03-2004	46,1	7,7	1228,6	197,4	10,0	0,3	20,7	1,0	4,8
02-04-2004	22,4	25,8	434,9	243,0	14,8	0,0	77,1	2,1	7,3
03-04-2004	21,2	18,7	391,9	161,8	9,4	0,3	35,3	1,1	7,1
04-04-2004	20,4	10,1	494,4	120,0	5,6	0,6	27,9	1,1	7,5
06-04-2004	49,4	9,2	1292,1	149,4	7,4	0,3	45,3	1,3	6,3
07-04-2004	40,2	15,7	971,1	203,9	8,8	0,6	36,2	1,2	5,5
09-04-2004	36,1	16,3	731,9	241,6	10,9	0,3	22,5	1,6	5,7
10-04-2004	33,1	8,9	748,8	162,4	7,1	0,6	12,4	1,4	5,5
11-04-2004	26,9	8,3	617,7	138,4	4,7	0,0	11,0	1,0	4,1
12-04-2004	18,6	11,3	312,5	208,7	9,4	0,0	46,2	1,7	6,9
13-04-2004	20,4	11,0	375,6	172,2	8,2	0,0	43,9	2,4	8,9
16-04-2004	36,4	13,3	900,2	96,3	6,8	0,3	33,5	1,3	6,5
19-04-2004	35,2	12,2	858,1	164,8	7,1	0,0	33,5	1,2	5,6
24-04-2004	22,4	15,4	533,3	111,2	5,3	0,0	35,0	1,2	7,1
25-04-2004	39,0	16,9	1001,9	81,5	5,0	0,3	20,5	1,1	7,5
26-04-2004	42,0	35,9	1190,4	139,9	7,4	0,6	35,3	1,5	8,5
27-04-2004	88,5	32,9	2248,2	180,8	12,1	0,3	73,5	1,9	9,5
01-05-2004	54,1	23,4	1378,3	179,9	8,5	0,6	49,5	1,8	10,5
02-05-2004	31,9	10,4	826,1	148,2	8,2	0,3	27,0	1,4	10,0
03-05-2004	34,6	11,9	748,2	144,9	7,1	0,0	48,0	1,4	8,8
04-05-2004	23,0	21,9	461,8	262,0	13,3	0,0	53,6	5,9	15,0
06-05-2004	50,9	30,2	1185,1	270,3	13,0	0,3	70,5	2,1	9,6
07-05-2004	52,7	43,3	1201,4	286,0	13,0	0,6	77,7	2,7	10,4
08-05-2004	33,1	21,6	878,9	244,5	11,8	0,0	39,7	1,9	9,1
09-05-2004	85,6	29,0	2398,5	85,4	5,6	0,3	47,7	3,0	14,3
11-05-2004	82,0	31,1	2284,1	118,9	7,4	0,3	81,2	2,4	11,3
12-05-2004	69,0	31,7	1731,0	198,6	10,6	0,3	97,5	3,5	12,0
14-05-2004	20,6	21,3	410,0	262,9	13,0	0,3	45,3	1,6	7,6
16-05-2004	82,9	25,5	2133,8	209,9	11,2	1,2	59,6	2,6	15,3
18-05-2004	51,2	35,6	1139,1	387,7	19,2	0,0	117,1	3,4	14,7
24-05-2004	26,6	18,1	561,1	111,7	6,2	0,3	42,4	0,8	6,4
26-05-2004	13,8	16,0	366,7	171,0	9,4	0,3	47,7	1,0	7,4
27-05-2004	37,8	26,7	885,7	156,8	9,7	0,0	66,1	1,0	7,7

28-05-2004	109,9	40,3	2841,3	133,4	10,9	0,6	110,9	1,4	9,5
30-05-2004	53,5	27,3	1279,9	92,8	5,9	0,3	50,4	0,8	9,3
31-05-2004	45,5	24,6	1372,4	134,3	9,1	0,0	55,4	1,9	12,3
01-06-2004	25,1	16,3	541,3	126,3	7,1	0,0	39,1	1,2	8,0
02-06-2004	24,8	27,0	535,6	197,1	10,9	0,0	60,8	0,6	7,9
03-06-2004	23,6	19,6	413,2	269,1	15,7	0,0	47,7	0,6	4,4
04-06-2004	31,3	32,0	665,8	216,4	12,7	0,0	79,4	1,8	10,6
05-06-2004	44,1	26,4	1130,2	99,0	5,9	0,3	45,6	1,7	8,9
06-06-2004	28,7	18,7	787,0	71,7	5,0	0,0	37,9	1,8	9,6
07-06-2004	23,0	13,6	546,0	90,4	5,9	0,0	30,2	1,5	8,1
12-06-2004	3,5	12,2	132,5	148,5	8,5	0,0	43,0	0,9	6,3
15-06-2004	18,3	30,5	359,3	332,0	19,2	0,0	99,6	1,6	12,2
17-06-2004	35,8	24,3	807,4	210,1	9,4	0,0	73,2	1,4	9,1
18-06-2004	31,6	34,7	687,4	195,0	12,7	0,0	102,9	1,9	11,5
23-06-2004	19,8	42,1	371,1	205,7	12,1	0,0	111,4	1,7	11,4
25-06-2004	28,7	46,2	649,2	169,8	13,0	0,0	127,2	1,8	10,9
26-06-2004	29,8	29,6	736,0	125,1	6,8	0,0	62,5	1,7	9,9
29-06-2004	53,8	25,8	1292,4	84,2	6,2	0,3	45,9	1,8	10,4
30-06-2004	51,8	46,5	1382,8	139,9	10,6	0,0	104,3	2,0	11,6
01-07-2004	37,5	34,4	753,5	161,8	9,1	0,0	75,3	1,7	10,5
03-07-2004	36,9	25,8	722,1	150,9	8,5	0,3	66,7	1,9	10,2
04-07-2004	25,1	29,9	587,5	87,1	5,9	0,0	34,1	1,4	7,4
05-07-2004	28,1	14,2	574,2	141,7	7,1	0,0	37,9	1,6	9,2
06-07-2004	31,9	32,6	754,1	148,2	10,3	0,0	63,7	1,5	9,0
08-07-2004	25,7	39,4	562,3	197,7	12,1	0,6	101,7	2,1	12,4
09-07-2004	19,2	42,7	531,5	230,6	16,0	0,0	111,4	2,0	11,0
10-07-2004	10,9	22,5	241,6	126,0	8,0	0,0	79,7	1,6	9,3
11-07-2004	32,5	24,9	856,3	70,5	5,0	0,6	75,3	1,7	8,6
15-07-2004	22,7	21,3	559,4	121,5	7,4	0,0	44,2	1,5	8,5
20-07-2004	18,3	34,1	442,3	145,2	6,5	0,6	59,6	1,2	7,5
24-07-2004	11,2	24,0	212,3	220,8	10,9	0,3	65,5	1,2	6,8
26-07-2004	48,8	24,0	1314,6	180,2	11,2	0,0	74,4	1,5	7,9
01-08-2004	53,0	16,3	1527,4	53,1	4,4	0,6	29,3	1,8	8,6
06-08-2004	15,6	12,7	396,0	165,4	8,2	0,0	26,1	1,1	5,8
08-08-2004	50,0	9,8	1282,6	67,3	4,4	0,0	21,3	1,6	7,8

09-08-2004	50,6	13,6	1304,2	74,1	4,4	0,0	25,5	1,6	8,2
11-08-2004	59,2	16,0	1555,0	131,3	6,8	0,6	39,7	1,3	6,6
12-08-2004	23,6	17,5	525,6	181,7	8,0	0,0	49,8	1,4	7,8
13-08-2004	39,3	23,4	945,9	117,4	9,1	0,0	59,3	1,3	7,4
14-08-2004	39,6	14,8	1026,8	81,2	4,4	0,0	37,9	1,4	6,7
19-08-2004	43,8	12,7	997,4	105,2	5,9	0,6	33,8	1,1	5,5
23-08-2004	30,7	19,9	674,4	227,0	12,7	0,3	51,9	1,6	8,2
24-08-2004	45,5	24,3	1089,9	179,6	9,4	0,0	45,9	1,4	7,4
28-08-2004	59,2	19,9	1344,8	118,9	6,5	0,0	53,6	1,6	7,8
31-08-2004	40,8	17,5	846,6	236,5	12,1	0,0	47,4	1,4	6,5
01-09-2004	54,1	13,9	1131,1	179,6	12,1	0,0	56,6	1,7	8,1
10-09-2004	28,4	15,7	653,0	179,3	10,0	0,0	43,3	1,5	7,2
15-09-2004	79,6	29,0	2043,7	167,8	8,8	0,6	51,6	1,8	7,8
20-09-2004	40,5	11,3	1005,4	115,9	4,7	0,0	18,1	1,2	4,6
22-09-2004	42,9	15,7	984,1	217,6	9,7	0,3	36,2	1,3	5,2
26-09-2004	28,1	8,9	583,7	166,9	7,4	0,0	27,6	1,5	5,6
28-09-2004	45,2	11,9	1114,2	244,2	12,1	0,3	30,5	1,3	5,1
30-09-2004	38,7	14,8	971,4	274,5	12,1	0,0	36,8	1,4	5,5
08-10-2004	33,4	8,3	838,0	99,3	5,6	0,3	19,3	1,1	4,2
10-10-2004	20,6	10,7	509,3	65,8	2,3	0,0	15,4	1,4	5,2
14-10-2004	30,7	5,9	757,6	107,9	5,6	0,3	29,9	1,4	5,6
16-10-2004	19,2	25,2	442,3	112,6	6,5	0,0	20,5	0,8	4,3
22-10-2004	32,5	9,2	857,8	497,1	22,2	0,9	29,6	1,3	5,4
24-10-2004	8,8	3,3	298,2	188,2	8,5	0,0	8,3	0,3	2,9
05-11-2004	31,6	8,9	528,8	252,5	10,3	0,0	21,3	0,7	4,1
17-11-2004	44,4	14,8	1046,9	254,9	10,6	0,3	31,4	2,4	6,5
23-11-2004	47,6	2,4	1220,3	150,9	6,5	0,9	25,8	1,1	3,4
26-11-2004	32,2	5,3	787,6	173,4	7,4	0,0	21,6	1,3	4,2
29-11-2004	35,5	8,6	928,1	288,7	12,1	0,6	17,5	1,6	5,5
11-12-2004	25,4	10,1	642,1	313,3	12,4	0,6	19,6	1,1	6,2
20-12-2004	18,0	3,6	463,6	255,2	8,8	0,3	13,9	1,0	4,9
29-12-2004	50,6	9,8	1371,5	253,4	10,9	0,3	34,4	1,3	6,3

*Nota: C_{elem} y C_{org} están en µg/m³.

La Paz (ng/m³)

Fecha	AL	AS	BR	CA	CU	FE	K	MN	NI
07-01-2004	128,7	1,2	0,4	89,1	11,5	215,6	384,4	7,4	0,0
22-01-2004	136,2	2,4	2,8	107,3	19,2	219,7	369,5	8,8	0,7
03-02-2004	141,3	0,6	4,6	124,0	11,8	249,3	791,7	6,8	0,4
09-02-2004	241,2	6,6	2,8	172,6	15,7	365,0	1428,1	10,3	0,4
24-02-2004	129,0	0,0	4,9	103,4	13,0	221,2	242,7	8,6	0,4
03-03-2004	165,4	13,4	3,1	166,4	28,2	372,5	316,7	15,4	0,1
05-03-2004	85,5	2,1	3,4	86,1	13,3	183,6	174,7	7,1	0,4
09-03-2004	155,0	8,4	4,6	164,3	21,6	342,1	484,7	10,9	0,7
11-03-2004	121,3	4,8	6,1	108,2	35,7	280,9	306,9	14,5	1,3
13-03-2004	95,6	5,1	3,7	64,6	20,1	163,1	247,2	6,2	0,4
17-03-2004	229,9	18,5	5,8	170,0	23,1	349,8	353,1	10,3	0,4
19-03-2004	263,9	12,8	9,4	199,2	27,3	486,5	681,6	13,0	0,4
21-03-2004	162,8	6,0	9,1	113,0	14,2	270,2	612,1	8,0	0,7
23-03-2004	254,0	10,4	6,4	184,3	18,1	412,8	674,7	11,5	0,4
27-03-2004	218,5	7,2	5,8	127,0	16,0	313,4	383,2	9,1	0,4
01-04-2004	211,4	7,5	10,9	245,4	46,7	617,4	229,0	29,7	1,0
03-04-2004	100,7	2,4	4,9	121,6	23,1	303,9	179,5	6,8	0,1
07-04-2004	232,6	3,0	5,8	283,3	39,5	708,4	423,5	22,3	0,4
08-04-2004	254,9	8,1	6,4	275,9	36,0	692,0	401,4	20,8	0,7
10-04-2004	140,1	3,9	8,5	118,6	18,9	335,2	395,8	6,2	0,4
12-04-2004	160,7	1,5	4,9	178,6	22,8	473,6	248,1	21,7	0,4
16-04-2004	115,3	8,1	7,3	160,1	35,7	516,6	240,9	33,3	0,7
19-04-2004	192,6	25,1	10,3	261,0	47,3	674,4	414,0	25,9	0,7
23-04-2004	118,6	4,8	6,4	148,2	22,5	411,3	170,2	12,7	0,4
26-04-2004	146,6	20,3	8,8	190,5	41,6	569,4	340,0	20,2	0,4
28-04-2004	75,9	9,2	10,0	97,8	27,0	289,0	355,8	10,6	0,1
01-05-2004	88,8	16,1	10,3	94,2	29,7	303,0	601,3	8,8	0,7
03-05-2004	106,4	4,5	8,2	145,5	29,1	484,7	297,0	12,7	0,7
04-05-2004	184,5	26,0	10,0	242,8	53,9	753,8	379,1	30,3	1,6
05-05-2004	156,8	32,2	19,2	158,0	41,3	462,0	474,8	19,0	1,0
08-05-2004	71,2	25,7	11,2	66,1	45,2	232,3	446,5	8,8	0,7
10-05-2004	135,6	20,6	20,7	143,7	43,4	386,2	485,3	18,7	0,7
11-05-2004	62,2	9,2	14,2	63,4	16,9	204,5	436,3	10,0	0,7

12-05-2004	107,0	14,3	20,1	150,3	31,8	469,5	527,0	20,5	0,7
14-05-2004	144,0	17,3	15,7	237,7	40,7	692,0	373,7	25,9	1,3
15-05-2004	115,3	20,0	25,5	114,5	33,9	298,5	586,7	11,2	1,0
16-05-2004	100,1	27,7	54,2	90,3	34,8	248,7	688,7	7,4	0,7
19-05-2004	38,0	7,5	5,5	42,6	18,6	141,3	261,5	10,0	0,7
22-05-2004	72,4	6,9	9,4	81,6	29,7	270,8	200,3	8,3	0,4
24-05-2004	114,7	7,8	10,6	151,2	39,2	556,6	213,2	22,0	0,7
25-05-2004	135,9	17,6	15,7	216,8	40,1	731,1	256,1	35,1	0,4
26-05-2004	171,7	23,9	13,6	300,9	50,0	842,7	313,4	36,3	0,4
28-05-2004	89,7	26,0	24,6	106,7	47,0	480,8	370,1	19,3	0,4
29-05-2004	78,0	25,4	21,6	105,2	37,4	412,2	385,6	13,6	0,4
01-06-2004	52,4	10,1	2,2	60,2	16,6	201,2	104,9	10,6	0,4
02-06-2004	54,5	11,3	0,7	74,2	17,2	243,6	97,4	17,8	0,4
04-06-2004	87,3	11,3	11,8	114,2	27,6	343,3	498,7	22,0	1,6
06-06-2004	84,3	20,6	47,9	86,1	42,2	300,6	582,2	7,4	0,7
08-06-2004	168,7	18,2	31,8	227,2	70,3	706,3	638,3	42,6	3,4
11-06-2004	175,6	11,3	33,0	209,6	42,2	714,7	336,7	27,6	1,0
12-06-2004	170,2	8,1	20,4	258,6	49,1	806,3	407,4	32,4	0,4
14-06-2004	55,9	1,5	3,4	87,3	17,2	220,6	108,2	10,9	1,0
17-06-2004	143,4	26,3	32,7	243,1	63,4	806,6	414,3	47,0	1,0
18-06-2004	126,1	15,8	16,9	189,9	57,4	793,2	335,5	35,4	1,3
21-06-2004	165,7	13,7	36,6	228,1	62,2	875,5	409,5	56,6	1,9
23-06-2004	196,5	25,7	26,1	252,6	67,6	846,0	398,4	50,0	1,9
24-06-2004	188,1	30,4	55,0	186,1	89,7	835,5	509,1	55,4	2,5
27-06-2004	69,7	15,2	24,3	83,4	27,3	401,7	407,1	14,5	0,4
29-06-2004	78,0	16,1	22,5	107,0	45,2	485,0	278,8	25,6	1,3
01-07-2004	127,0	14,3	24,9	155,9	58,0	590,6	375,5	34,5	1,3
03-07-2004	77,1	13,7	15,7	116,9	39,2	453,3	369,5	17,5	0,4
05-07-2004	156,5	26,3	20,7	215,0	54,7	722,2	356,4	37,5	0,7
06-07-2004	89,1	15,2	16,6	137,4	47,0	436,0	368,0	33,6	0,4
07-07-2004	102,8	5,7	20,1	143,1	38,3	395,2	402,3	27,6	0,4
08-07-2004	172,0	15,8	22,2	235,0	53,6	657,4	526,1	39,6	1,9
10-07-2004	166,9	13,4	26,1	227,8	45,5	628,8	547,9	23,8	0,4
12-07-2004	62,2	18,2	21,9	112,7	30,3	402,9	335,8	23,8	0,7
15-07-2004	72,1	9,8	14,5	91,2	31,8	362,9	209,6	17,5	0,7

19-07-2004	135,6	14,0	13,9	174,7	39,2	488,8	246,3	22,3	0,7
20-07-2004	95,0	2,4	9,4	148,8	19,5	333,1	178,0	21,7	0,7
22-07-2004	241,5	13,4	16,0	328,4	39,5	871,9	266,0	35,4	1,6
24-07-2004	131,4	11,9	15,1	159,2	38,9	552,7	271,6	19,9	0,7
28-07-2004	188,1	19,7	7,9	212,3	38,0	574,5	200,3	18,7	0,4
30-07-2004	266,6	12,8	16,9	346,9	47,0	1047,1	285,4	33,6	1,0
31-07-2004	100,1	15,5	6,7	108,5	27,6	354,9	200,9	12,4	0,4
05-08-2004	189,9	21,5	12,1	181,0	33,0	564,6	197,4	20,5	0,1
06-08-2004	232,3	12,2	7,6	284,5	33,6	823,9	251,1	40,5	0,7
09-08-2004	118,3	8,7	19,5	156,8	39,2	551,8	271,9	26,5	1,0
10-08-2004	80,1	3,6	7,0	90,0	18,1	311,3	138,6	13,0	0,7
11-08-2004	107,3	9,8	7,0	139,5	32,1	493,6	169,0	16,3	0,7
12-08-2004	88,5	6,3	5,5	116,0	22,8	354,9	173,8	16,6	0,7
13-08-2004	153,8	12,8	15,1	147,0	35,4	443,5	253,7	15,1	0,7
19-08-2004	187,2	3,3	13,6	133,9	14,5	307,2	159,8	9,4	0,4
21-08-2004	108,2	15,8	14,8	133,3	42,2	386,8	318,2	8,3	0,0
22-08-2004	96,2	3,9	11,8	109,7	24,6	348,0	285,1	7,1	0,0
24-08-2004	212,3	15,5	7,6	216,5	34,2	591,5	302,4	44,4	0,1
28-08-2004	213,2	11,0	11,5	161,0	25,8	368,9	334,3	14,8	0,7
31-08-2004	92,6	4,2	4,6	111,2	20,7	290,4	241,8	12,7	0,4
01-09-2004	157,1	14,9	10,0	189,4	37,1	488,0	316,1	25,0	0,1
08-09-2004	120,4	6,3	5,5	114,5	27,9	320,6	203,9	13,3	0,7
09-09-2004	150,2	4,2	7,3	159,5	20,1	342,7	252,3	21,4	0,4
10-09-2004	102,5	8,7	6,1	112,7	23,4	314,0	284,5	12,1	0,1
11-09-2004	301,2	16,7	18,1	160,7	25,2	341,8	257,3	10,0	0,4
13-09-2004	143,4	12,2	8,2	123,4	35,1	274,3	243,0	12,1	0,4
15-09-2004	197,7	34,9	13,9	175,0	38,0	482,3	400,5	23,2	0,7
16-09-2004	84,6	17,0	6,1	64,0	19,2	161,9	221,8	5,0	0,1
17-09-2004	41,6	3,9	2,8	28,2	14,5	76,8	76,5	2,0	0,1
20-09-2004	161,0	3,9	1,6	70,6	11,8	155,0	85,5	8,3	0,1
22-09-2004	262,7	13,7	6,4	144,6	34,2	444,1	330,1	20,2	0,4
24-09-2004	154,7	4,5	4,6	136,5	25,5	373,7	308,3	23,2	0,1
25-09-2004	123,1	3,6	8,2	76,3	15,4	209,6	279,1	7,4	0,1
27-09-2004	111,7	5,4	3,1	88,8	18,6	258,2	277,9	8,3	0,0
28-09-2004	161,0	12,2	4,0	150,0	29,4	367,7	352,8	26,2	0,0

29-09-2004	189,9	1,5	7,0	110,0	17,8	312,5	282,1	13,0	0,7
30-09-2004	158,6	12,8	5,2	142,5	26,1	374,9	300,3	16,3	0,1
06-10-2004	40,7	1,2	1,3	45,8	9,4	152,3	81,6	5,9	0,7
08-10-2004	30,6	2,4	1,3	33,0	10,3	109,0	73,5	7,1	0,7
10-10-2004	42,8	0,9	4,6	52,7	10,0	134,4	128,7	5,0	0,0
16-10-2004	44,6	0,0	1,3	53,3	16,9	137,1	72,7	10,6	0,1
20-10-2004	75,9	0,0	2,2	55,7	13,6	138,3	106,1	6,2	0,4
24-10-2004	93,8	0,3	0,2	64,0	4,9	128,7	100,4	3,2	0,1
30-10-2004	129,0	0,0	3,7	117,4	11,2	248,7	184,2	6,2	0,4
05-11-2004	186,0	2,1	2,8	144,9	26,1	677,7	140,4	17,8	0,7
17-11-2004	173,2	4,2	2,2	148,5	15,7	416,3	138,9	10,3	0,4
23-11-2004	63,1	3,0	1,3	62,3	7,3	150,5	132,6	3,8	0,4
29-11-2004	154,4	2,1	1,9	104,9	9,7	286,6	119,8	5,9	0,7
02-12-2004	155,9	0,3	1,6	108,2	17,2	234,7	129,9	10,0	0,1
14-12-2004	184,2	0,3	1,6	178,6	10,9	311,3	159,5	9,4	0,1
20-12-2004	210,8	3,9	3,7	184,6	11,2	428,0	379,7	11,5	0,1

Fecha	P	PB	S	SI	TI	V	ZN	C _{elem} *	C _{org} *
07-01-2004	35,4	12,8	823,8	275,1	11,9	0,3	32,2	4,6	9,0
22-01-2004	31,2	6,3	825,6	310,0	11,6	0,6	39,7	1,0	6,4
03-02-2004	19,3	13,4	565,4	261,4	14,9	0,3	29,8	1,7	9,4
09-02-2004	53,9	12,2	1325,0	461,5	19,0	0,6	34,3	1,0	4,9
24-02-2004	58,1	6,3	1518,4	264,9	11,3	0,6	20,6	0,7	4,0
03-03-2004	47,6	24,5	1081,9	343,7	16,7	0,6	76,1	3,4	8,5
05-03-2004	36,3	9,0	921,7	188,9	7,1	0,3	32,8	0,5	3,8
09-03-2004	67,0	14,9	1675,6	348,8	18,7	1,5	41,5	1,6	6,0
11-03-2004	95,7	14,9	2337,0	227,0	11,3	1,8	62,7	1,0	5,0
13-03-2004	90,3	9,2	2467,7	183,8	8,3	1,2	41,8	0,5	4,0
17-03-2004	38,1	17,9	762,0	456,8	17,3	0,9	37,9	0,9	3,9
19-03-2004	39,3	20,6	853,9	512,0	19,3	0,6	71,6	4,0	8,9
21-03-2004	64,6	10,4	1609,6	294,2	13,7	1,5	30,7	5,4	11,3
23-03-2004	58,1	11,9	1367,4	473,8	18,7	0,9	44,8	2,9	7,4
27-03-2004	75,1	8,1	1851,0	409,3	17,0	2,4	26,9	3,6	9,3
01-04-2004	32,4	33,4	558,0	455,3	25,0	0,6	154,5	3,6	7,2

03-04-2004	24,1	11,9	550,8	215,7	9,5	0,0	53,1	4,7	8,5
07-04-2004	39,6	24,8	732,8	504,8	27,1	1,2	67,7	4,7	8,6
08-04-2004	36,0	30,4	702,4	566,9	22,9	0,3	65,0	5,7	9,8
10-04-2004	37,5	14,6	718,5	279,3	12,8	0,9	29,2	3,1	6,5
12-04-2004	23,8	17,6	357,5	347,0	19,3	0,0	72,2	3,0	5,6
16-04-2004	42,9	31,6	933,0	259,3	13,4	0,0	76,1	2,0	4,5
19-04-2004	56,9	28,9	1312,8	426,0	20,8	0,0	124,1	5,7	10,5
23-04-2004	23,8	17,0	460,7	231,2	11,0	0,3	56,7	4,3	8,2
26-04-2004	67,9	27,4	1643,4	318,3	17,3	0,3	142,0	5,6	10,8
28-04-2004	75,1	29,2	1919,3	155,1	9,2	0,0	80,0	2,2	6,2
01-05-2004	49,4	17,6	1216,4	201,7	8,0	0,6	58,5	8,6	19,6
03-05-2004	40,2	23,6	803,2	237,5	14,3	0,0	68,0	6,5	12,3
04-05-2004	51,8	32,8	970,0	396,2	20,8	0,0	121,4	9,7	15,6
05-05-2004	65,5	29,5	1677,4	291,8	17,3	1,5	111,0	7,6	14,6
08-05-2004	111,2	25,7	2914,0	134,6	7,1	0,6	85,0	8,4	16,2
10-05-2004	90,0	54,0	2398,5	251,2	13,7	0,3	102,0	4,9	12,5
11-05-2004	67,9	16,4	1765,7	125,6	8,6	0,3	108,3	5,7	13,6
12-05-2004	75,4	33,4	1851,3	225,0	14,0	0,3	99,6	5,8	12,7
14-05-2004	44,9	45,3	975,4	372,6	20,2	0,6	120,8	12,1	18,5
15-05-2004	68,5	34,6	1671,4	217,5	10,4	0,6	75,8	8,7	19,2
16-05-2004	127,9	33,4	3478,2	144,4	8,9	1,8	67,1	6,8	19,2
19-05-2004	67,6	18,5	1767,2	71,9	4,4	0,0	51,9	7,8	16,9
22-05-2004	26,5	23,6	494,1	144,7	6,8	0,0	56,1	4,5	8,9
24-05-2004	42,6	28,9	876,3	223,8	13,1	0,3	96,1	8,8	13,6
25-05-2004	58,1	33,1	1146,9	294,2	18,4	0,0	144,1	12,6	17,6
26-05-2004	56,9	40,6	1123,0	382,8	25,3	0,0	191,8	16,6	21,7
28-05-2004	112,1	54,0	3014,6	146,2	9,5	0,6	124,7	4,9	10,1
29-05-2004	71,5	51,0	1778,5	161,4	9,8	0,9	118,7	11,3	18,0
01-06-2004	24,7	19,7	509,9	92,2	6,8	0,0	51,0	17,6	24,7
02-06-2004	23,5	14,9	411,2	133,4	7,1	0,0	57,3	14,7	21,3
04-06-2004	51,8	31,3	1121,5	168,6	12,8	0,9	104,4	13,1	21,7
06-06-2004	48,8	39,4	1103,1	129,5	7,1	0,3	96,1	6,1	32,2
08-06-2004	49,1	82,0	890,0	324,0	22,0	0,0	207,4	8,2	21,4
11-06-2004	27,0	51,3	546,0	331,2	19,9	0,0	154,2	10,9	18,1
12-06-2004	31,5	63,8	575,9	371,7	24,4	0,0	137,8	14,7	29,1

14-06-2004	15,4	15,5	216,7	124,4	6,8	0,0	41,2	11,4	21,8
17-06-2004	52,7	89,8	1082,5	314,8	25,0	0,3	256,9	16,4	25,6
18-06-2004	59,6	48,0	1044,6	282,2	16,7	0,0	202,3	14,9	21,6
21-06-2004	19,6	91,6	585,7	357,1	24,1	0,3	249,4	14,3	27,0
23-06-2004	46,1	72,8	841,7	407,8	26,2	0,0	242,0	10,8	20,4
24-06-2004	23,8	158,1	1155,9	302,5	21,7	0,0	307,9	14,5	28,7
27-06-2004	55,1	51,3	1282,7	139,3	10,4	0,0	79,1	7,8	18,2
29-06-2004	49,7	61,2	1381,7	151,6	8,9	0,3	162,0	5,5	9,6
01-07-2004	44,1	69,2	1026,7	233,3	16,4	0,0	177,8	13,7	21,6
03-07-2004	42,9	38,2	893,0	179,3	11,6	0,0	89,8	12,7	25,1
05-07-2004	58,1	57,6	1234,9	327,9	19,6	0,3	181,7	10,4	17,7
06-07-2004	38,4	37,9	816,3	226,7	13,7	0,3	113,4	12,6	21,5
07-07-2004	25,6	39,1	537,4	208,8	13,1	0,0	128,9	7,1	15,2
08-07-2004	42,9	53,4	810,7	367,0	23,2	0,6	171,3	9,7	20,5
10-07-2004	34,2	56,4	724,7	355,9	22,6	0,3	134,6	14,2	28,1
12-07-2004	47,9	52,5	1196,4	136,9	10,1	0,0	133,4	8,9	15,7
15-07-2004	45,8	40,3	1055,9	134,9	8,0	0,0	93,7	8,8	14,2
19-07-2004	42,0	35,8	709,5	302,8	14,9	0,9	127,1	5,9	10,2
20-07-2004	23,2	32,5	526,6	212,1	11,0	0,3	90,4	9,0	16,3
22-07-2004	13,6	65,6	277,8	488,1	27,1	0,0	149,2	9,1	19,1
24-07-2004	34,2	42,4	875,4	267,0	16,7	0,3	96,7	11,3	19,6
28-07-2004	33,9	32,2	758,8	339,8	17,3	0,0	87,7	3,5	6,6
30-07-2004	35,4	41,2	749,8	595,2	29,2	0,0	140,8	12,6	19,3
31-07-2004	64,9	35,5	1588,8	207,4	11,9	0,3	70,1	12,4	20,7
05-08-2004	39,0	23,6	842,9	299,5	20,8	0,0	77,0	7,9	19,2
06-08-2004	32,4	36,4	772,5	444,5	23,2	0,0	104,1	8,8	16,0
09-08-2004	73,3	50,7	1858,8	221,4	13,1	0,0	118,1	6,9	12,6
10-08-2004	62,9	24,8	1607,6	175,1	8,6	0,6	59,1	7,4	13,8
11-08-2004	49,7	30,1	1081,3	215,1	14,0	0,0	84,4	4,1	8,5
12-08-2004	48,8	22,7	1035,6	188,6	12,5	0,0	103,8	7,9	15,2
13-08-2004	59,0	37,0	1449,7	208,5	12,2	0,0	101,1	4,8	9,2
19-08-2004	27,0	10,4	639,7	216,9	11,3	0,3	42,1	2,7	6,6
21-08-2004	37,8	32,8	1017,7	221,4	10,4	0,3	98,5	6,9	12,9
22-08-2004	52,4	31,0	1198,2	179,3	11,0	0,0	83,5	8,1	16,1
24-08-2004	53,6	31,9	1150,5	354,7	23,8	0,0	80,9	7,5	14,4

28-08-2004	81,3	27,4	1916,1	271,5	15,8	0,0	71,0	8,0	15,1
31-08-2004	40,8	13,7	899,6	193,9	13,4	0,3	60,0	6,4	11,9
01-09-2004	75,1	37,0	1635,9	322,8	20,2	0,6	106,2	6,1	12,1
08-09-2004	23,8	11,9	553,2	234,2	10,7	0,0	58,2	1,9	4,7
09-09-2004	23,5	20,6	500,7	294,2	15,5	0,0	58,8	3,2	7,7
10-09-2004	33,0	16,7	715,5	217,2	11,0	0,0	57,3	3,7	7,9
11-09-2004	43,8	27,4	990,0	332,1	15,5	0,0	82,9	5,6	11,2
13-09-2004	70,6	32,5	1687,8	235,1	12,5	0,9	62,7	5,0	11,6
15-09-2004	86,7	54,0	1998,4	342,8	21,4	0,0	115,2	7,3	13,6
16-09-2004	78,7	21,2	2112,7	147,7	6,5	0,0	35,5	7,0	14,3
17-09-2004	49,7	7,8	1345,6	44,2	2,3	0,3	15,5	1,7	5,1
20-09-2004	26,8	6,6	619,4	159,9	7,1	0,0	24,5	3,0	6,3
22-09-2004	42,6	18,2	850,0	336,2	16,7	0,0	68,3	3,9	8,1
24-09-2004	29,4	20,3	516,2	280,7	15,2	0,0	66,8	5,1	10,1
25-09-2004	36,3	19,7	878,4	173,3	7,4	0,0	43,6	5,4	10,5
27-09-2004	49,7	12,2	1100,1	190,9	9,5	0,0	46,5	2,0	5,3
28-09-2004	44,4	14,3	821,4	317,1	15,5	0,0	60,9	4,2	8,9
29-09-2004	28,5	20,6	664,2	246,1	11,0	0,6	52,8	4,4	9,1
30-09-2004	45,8	23,9	963,4	330,3	15,8	0,0	62,4	4,0	8,4
06-10-2004	36,0	11,6	872,1	87,7	4,7	0,3	30,7	2,8	5,9
08-10-2004	24,1	7,5	601,5	54,0	3,2	0,0	19,7	3,2	5,9
10-10-2004	16,6	8,1	376,9	93,4	4,7	0,6	19,7	1,9	4,9
16-10-2004	15,1	18,5	361,4	94,9	4,1	0,6	25,4	1,8	4,9
20-10-2004	20,5	7,5	484,9	125,6	5,9	0,0	34,9	1,0	4,8
24-10-2004	9,7	3,6	238,4	188,3	6,5	0,9	10,4	0,5	3,2
30-10-2004	25,0	9,0	518,6	261,1	11,6	0,6	19,7	1,8	6,1
05-11-2004	28,5	29,2	500,4	402,2	14,9	0,0	61,5	1,1	4,2
17-11-2004	41,7	17,9	831,6	315,7	18,1	0,0	34,6	2,7	6,3
23-11-2004	41,1	2,4	1084,9	142,3	5,9	1,2	21,8	0,6	2,9
29-11-2004	27,0	9,8	625,4	309,4	11,9	0,0	25,4	1,5	5,0
02-12-2004	25,9	9,5	567,2	310,6	12,5	0,3	34,3	1,3	3,9
14-12-2004	16,3	7,2	375,7	389,0	17,6	0,0	43,9	1,5	4,8
20-12-2004	18,1	8,7	478,0	418,6	22,6	0,9	43,6	1,4	5,9

*Nota: C_{elem} y C_{org} están en µg/m³.

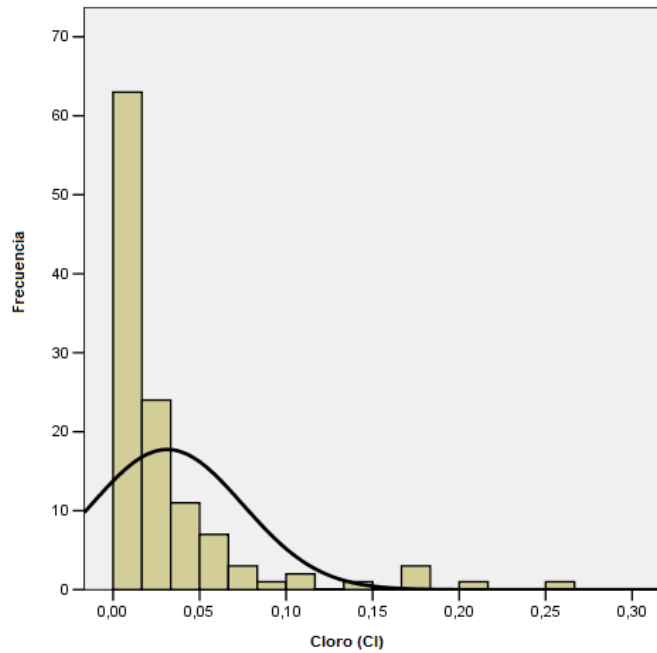
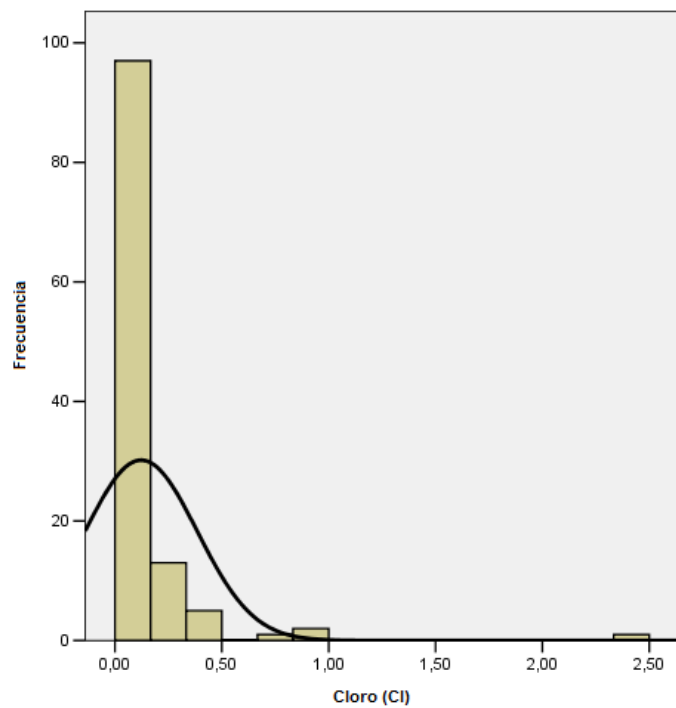
ANEXO B: DATOS MP GRUESO (SELECCIÓN)

Las Condes (ng/m³)

Fecha	AL	AS	CA	CL	CU	FE	K	MN	PB	S
07-01-2004	1554,2	0,0	1334,2	104,1	20,6	1730,6	423,0	43,7	8,8	220,5
16-01-2004	1145,0	0,0	939,6	150,4	17,6	1295,9	348,2	33,4	6,8	353,9
28-01-2004	1218,1	0,0	920,1	311,6	14,6	1272,1	321,9	29,9	4,0	210,9
12-02-2004	1157,0	0,0	1014,9	172,5	20,4	1277,4	345,7	31,7	6,5	293,8
21-02-2004	1061,4	0,0	856,0	101,4	17,9	1171,0	329,0	31,2	6,5	366,4
03-03-2004	1408,8	4,3	1344,5	83,1	31,2	1642,8	380,3	39,5	9,5	299,1
19-03-2004	2023,1	4,8	1688,1	141,9	34,9	2338,5	547,9	54,7	8,0	262,6
01-04-2004	1078,0	0,5	1137,8	154,9	28,7	1458,1	290,2	31,9	13,3	212,3
07-04-2004	1218,3	2,0	1415,6	46,3	34,4	1539,2	347,0	33,7	8,8	274,3
17-04-2004	656,8	2,3	697,1	22,6	28,9	946,6	208,6	20,7	7,8	242,5
28-04-2004	670,3	1,5	782,7	32,1	24,2	975,1	224,1	21,4	8,8	553,1
05-05-2004	1516,1	1,5	1767,7	100,1	41,9	1981,1	429,6	46,5	14,8	280,1
15-05-2004	1676,6	3,8	1628,8	80,9	47,4	2153,8	483,9	50,5	13,3	252,0
25-05-2004	735,1	2,0	902,1	41,3	27,7	1154,5	214,1	23,4	6,0	180,0
29-05-2004	706,1	3,3	744,4	39,6	31,9	1114,5	230,6	23,7	10,8	443,2
05-06-2004	882,0	3,8	837,0	61,4	29,2	1145,5	280,2	26,4	7,3	273,8
14-06-2004	1462,8	1,8	1929,1	111,7	41,4	1997,9	398,3	44,0	14,3	267,3
02-07-2004	1197,6	0,3	1421,8	91,1	43,9	1839,0	336,5	39,0	15,5	256,5
04-07-2004	521,6	3,0	523,9	26,8	34,9	811,4	162,0	15,2	8,5	151,9
07-07-2004	1197,3	0,8	1472,9	90,6	44,9	1765,6	353,7	41,5	16,3	278,6
19-07-2004	877,8	1,8	1125,3	66,9	29,7	1229,6	249,9	25,4	8,0	216,5
31-07-2004	1209,3	1,0	1093,5	72,9	30,2	1543,9	308,4	35,5	12,8	147,2
10-08-2004	881,3	0,8	894,8	65,9	27,9	1274,1	249,4	28,2	10,0	400,2
26-08-2004	902,3	0,8	1023,2	54,1	31,2	1321,7	286,7	30,2	14,5	655,7
13-09-2004	1312,2	3,3	1215,1	112,2	36,4	1574,2	380,0	36,0	11,0	315,4
24-09-2004	1590,0	2,5	1854,5	68,4	33,9	1915,8	432,1	44,7	9,5	245,0
06-10-2004	981,4	0,0	998,9	26,6	23,9	1212,8	287,2	31,2	10,8	417,0
20-10-2004	1316,4	1,3	1252,7	280,1	25,9	1506,1	367,0	35,0	6,0	232,4
30-10-2004	1090,0	1,8	966,6	325,9	24,9	1213,3	305,7	30,4	3,0	197,9
20-11-2004	925,1	2,5	628,5	53,6	14,9	975,1	251,6	22,2	4,0	241,0
02-12-2004	1230,9	1,0	1133,8	85,1	17,6	1404,3	327,5	31,7	3,5	164,2
14-12-2004	1550,2	0,0	1372,5	355,4	24,2	1752,1	433,1	44,0	6,5	213,9
23-12-2004	1568,4	0,8	1734,9	305,8	25,4	1809,9	429,3	43,7	7,8	188,1

La Paz (ng/m³)

Fecha	AL	AS	CA	CL	CU	FE	K	MN	PB	S
10-01-2004	1560,2	0,2	1005,2	573,8	15,2	1653,3	423,2	41,4	10,6	186,5
28-01-2004	1275,9	0,0	900,7	353,0	18,7	1393,7	364,0	35,0	8,9	178,6
15-02-2004	1086,9	0,0	794,0	805,8	17,9	1244,0	422,5	35,0	6,4	381,3
01-03-2004	1227,2	1,2	1328,3	186,8	27,3	1635,5	383,5	39,4	12,4	200,6
15-03-2004	1905,5	0,0	1767,2	218,6	32,5	2378,5	570,2	55,2	19,0	388,8
29-03-2004	1371,5	0,0	1246,3	435,0	27,8	1681,9	427,7	40,2	12,4	278,7
05-04-2004	848,1	5,4	1026,2	206,0	133,8	1381,1	282,4	30,1	10,4	370,5
17-04-2004	991,3	1,5	994,8	131,0	29,8	1382,8	333,3	32,3	13,8	271,2
19-04-2004	1728,1	4,9	2058,7	236,2	60,1	2653,4	534,9	60,7	18,0	463,7
27-04-2004	858,9	2,2	993,1	106,3	34,0	1322,1	282,4	29,6	11,6	694,1
13-05-2004	1632,5	6,2	1948,0	138,4	61,6	2648,0	506,2	61,2	26,4	449,8
25-05-2004	1545,6	4,0	2080,2	185,5	78,9	2812,2	474,4	63,6	24,5	409,8
27-05-2004	1264,5	7,7	1411,3	144,0	55,2	1933,6	404,5	44,9	29,4	707,2
07-06-2004	1201,0	4,4	1260,4	123,5	42,1	1738,0	391,4	35,7	21,7	299,2
16-06-2004	1567,3	2,5	1840,8	198,9	57,7	2560,8	472,9	56,5	41,0	413,5
25-06-2004	1489,3	2,2	1572,6	194,9	53,5	2503,2	428,4	50,3	32,4	313,0
02-07-2004	1135,1	0,2	1405,3	143,8	58,2	2148,8	368,9	43,1	31,1	315,0
09-07-2004	1170,7	2,5	1447,1	191,5	47,3	2166,8	382,7	45,1	24,2	242,3
17-07-2004	755,0	3,0	810,8	108,0	36,9	1464,6	237,0	27,6	17,0	220,1
19-07-2004	1122,7	2,2	1276,4	140,3	45,8	1883,5	323,9	39,7	20,0	263,6
20-07-2004	541,3	0,2	831,8	228,5	22,1	953,5	168,1	21,2	9,9	172,3
22-07-2004	2155,2	4,4	2566,5	373,3	54,0	3223,5	605,8	69,3	30,1	312,8
24-07-2004	1235,4	0,5	1388,8	476,0	44,6	2006,5	392,9	42,2	19,3	370,4
26-07-2004	1373,4	5,2	1664,0	185,3	46,3	2088,3	398,3	48,6	17,3	412,5
07-08-2004	1775,3	0,2	1714,1	349,1	54,5	2656,9	506,2	54,5	25,9	310,3
20-08-2004	1089,6	0,7	1107,2	112,4	33,2	1621,7	312,3	37,5	17,3	215,7
30-08-2004	1456,9	0,0	1448,8	133,7	35,2	1943,0	399,0	42,2	18,5	252,0
23-09-2004	2004,5	0,0	1901,6	167,3	38,7	2471,1	554,9	60,9	17,5	245,3
04-10-2004	1399,6	1,7	1122,0	109,2	28,0	1656,8	408,4	41,2	9,6	251,7
14-10-2004	776,0	0,0	764,1	286,6	20,9	984,7	249,8	22,1	6,2	214,3
24-10-2004	726,8	0,0	499,6	574,8	13,5	774,2	211,3	18,9	1,0	109,6
05-11-2004	1568,3	2,5	1273,2	189,0	30,3	1907,2	444,7	44,6	10,6	180,1
26-11-2004	984,2	0,0	773,5	522,9	17,4	1187,5	295,0	26,6	7,9	267,2
11-12-2004	1374,9	0,0	900,7	673,1	15,4	1448,3	385,2	35,7	10,1	194,1
23-12-2004	1545,6	0,0	1218,6	482,9	23,6	1739,7	459,3	42,2	10,1	167,8

ANEXO C: HISTOGRAMAS CL MP FINO**- Estación Las Condes****- Estación La Paz**

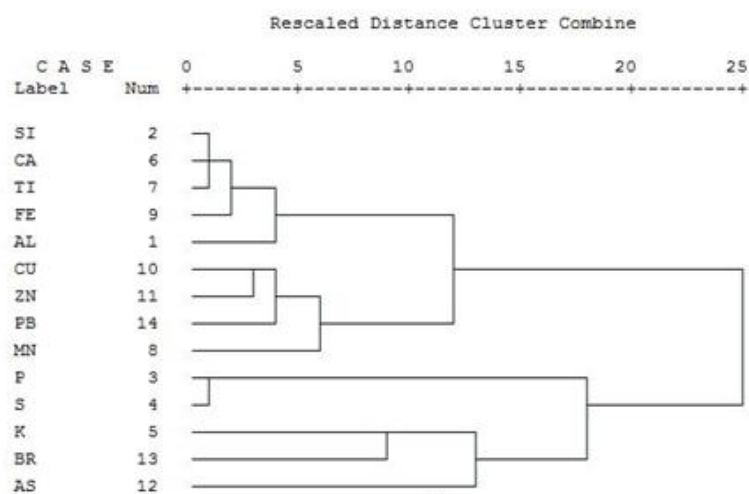
ANEXO D: DENDOGRAMAS LA PAZ (ESC. 1)

MP Fino:

- Temporada fría

*****HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS*****

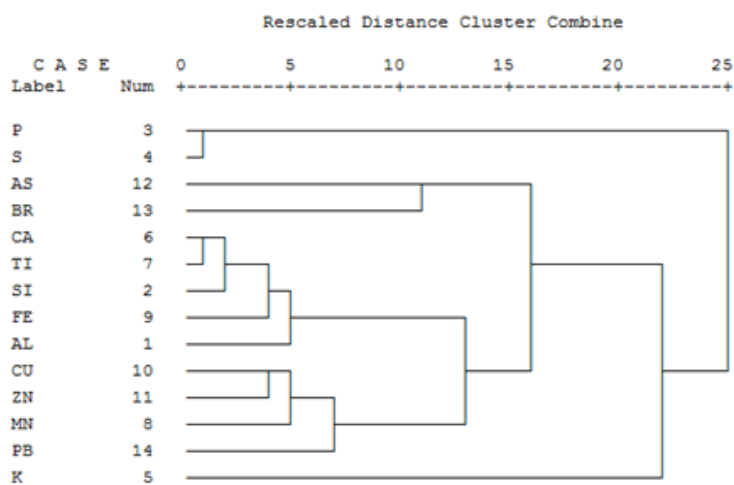
Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



- Temporada cálida

*****HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS*****

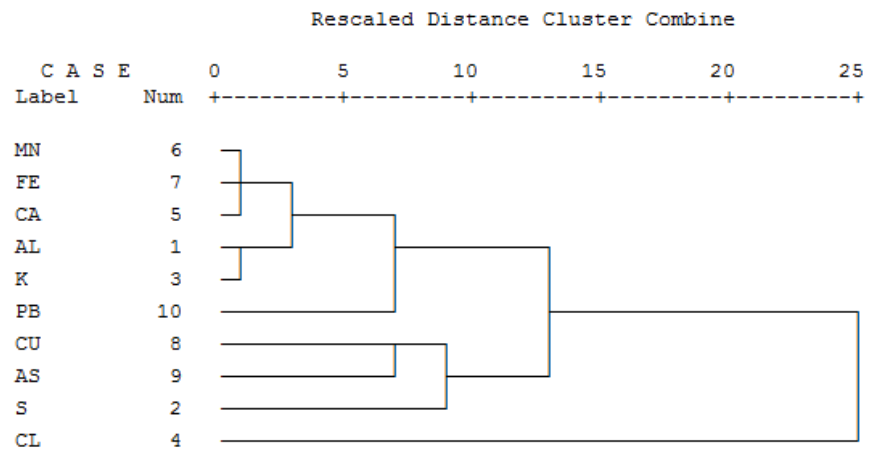
Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



MP Grueso

***** H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S *****

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



ANEXO E: RESUMEN PERFILES DE FUENTES (ESC 1, 2 Y 3) (%)

La Paz																
Elemento	Invierno												4			
	1				2				3				4			
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4
Br	0,57	0,60	0,50	0,63	0,08	0,03	0,00	0,03	0,01	0,05	0,06	0,10	0,03	0,12	0,21	0,44
Mn	0,57	0,48	0,70	0,55	0,39	0,40	0,24	0,37	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,11	0,00	0,06
Zn	0,60	0,56	0,70	0,60	0,21	0,20	0,10	0,20	0,05	0,06	0,06	0,16	0,07	0,18	0,00	0,14
Pb	0,63	0,60	0,69	0,61	0,18	0,14	0,04	0,14	0,09	0,12	0,09	0,20	0,00	0,13	0,01	0,18
Cu	0,40	0,38	0,49	0,46	0,25	0,27	0,19	0,25	0,05	0,07	0,12	0,15	0,16	0,20	0,08	0,21
Ni	0,71	0,71		0,71		0,14		0,14		0,00		0,00		0,00	0,14	0,14
Ca	0,20	0,10	0,32	0,21	0,63	0,73	0,58	0,66	0,00	0,00	0,06	0,00	0,12	0,03	0,13	0,13
Al	0,14	0,06	0,27	0,16	0,59	0,70	0,57	0,64	0,04	0,04	0,12	0,05	0,17	0,08	0,12	0,05
Fe	0,32	0,22	0,48	0,31	0,54	0,61	0,45	0,55	0,04	0,04	0,08	0,08	0,11	0,08	0,04	0,00
Si	0,16	0,07	0,28	0,18	0,63	0,74	0,60	0,67	0,01	0,01	0,08	0,01	0,14	0,05	0,13	0,04
It	0,27	0,18	0,38	0,28	0,56	0,64	0,49	0,57	0,00	0,01	0,05	0,02	0,10	0,05	0,12	0,07
P	0,11	0,13	0,05	0,04	0,08	0,09	0,11	0,08	0,52	0,64	0,62	0,59	0,10	0,10	0,04	0,23
S	0,10	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,61	0,74	0,71	0,68	0,09	0,11	0,02	0,24
V		0,00		0,00		0,00		0,00		0,33		0,33		0,33	0,33	0,67
As	0,00	0,03	0,26	0,28	0,00	0,15	0,12	0,12	0,04	0,00	0,35	0,35	0,75	0,74	0,07	0,27
K	0,23	0,30	0,00	0,32	0,19	0,18	0,24	0,16	0,03	0,09	0,15	0,03	0,05	0,00	0,44	0,61
Celem			0,55	0,42			0,19	0,29			0,17	0,23			0,09	0,07
Corg			0,30	0,42			0,25	0,27			0,06	0,02			0,38	0,28

La Paz																				
Verano																				
Elemento	1				2				3				4				5			
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4				
Br	0,44	0,45	0,50	0,50	0,02	0,09	0,06	0,06	0,13	0,13	0,13	0,13	0,33	0,26	0,23	0,21				
Mn	0,56	0,63	0,69	0,70	0,23	0,29	0,28	0,28	0,00	0,01	0,03	0,02	0,17	0,00	0,00	0,00				
Zn	0,72	0,70	0,69	0,68	0,00	0,13	0,16	0,16	0,03	0,05	0,07	0,06	0,22	0,04	0,07	0,07				
Pb	0,46	0,49	0,62	0,61	0,13	0,20	0,09	0,09	0,04	0,04	0,07	0,06	0,37	0,24	0,21	0,21				
Cu	0,47	0,52	0,60	0,61	0,18	0,23	0,18	0,18	0,14	0,12	0,14	0,14	0,19	0,09	0,06	0,06				
Ni	0,33	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	0,33	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00				
Ca	0,24	0,42	0,39	0,45	0,48	0,41	0,52	0,52	0,02	0,00	0,00	0,00	0,14	0,03	0,05	0,03				
Al	0,11	0,29	0,21	0,29	0,47	0,37	0,52	0,53	0,09	0,04	0,03	0,03	0,15	0,11	0,13	0,09				
Fe	0,27	0,45	0,49	0,54	0,47	0,42	0,46	0,46	0,02	0,00	0,01	0,00	0,15	0,03	0,03	0,00				
Si	0,11	0,31	0,23	0,32	0,53	0,42	0,58	0,58	0,08	0,03	0,02	0,02	0,11	0,06	0,10	0,06				
Ti	0,21	0,38	0,33	0,40	0,44	0,38	0,50	0,51	0,05	0,02	0,02	0,02	0,15	0,07	0,08	0,05				
P	0,16	0,12	0,11	0,17	0,06	0,06	0,05	0,05	0,68	0,58	0,51	0,52	0,05	0,25	0,22	0,23				
S	0,14	0,06	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,68	0,60	0,61	0,00	0,26	0,24	0,24				
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,40	0,75	0,75	0,60	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00				
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,98				
K	0,00	0,13	0,00	0,00	0,14	0,00	0,19	0,26	0,11	0,04	0,02	0,00	0,08	0,16	0,14	0,00				
Celem	0,82			0,80	0,00			0,00	0,13			0,11	0,03			0,04				
Corg	0,44			0,46	0,08			0,09	0,22			0,21	0,13			0,11				
	</																			

Las Condes																					
Invierno																					
Elemento	1				2				3				4				5				
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	
Br	0,43	0,40	0,36	0,43	0,01	0,00	0,09	0,00	0,09	0,10	0,00	0,08	0,09	0,15	0,16	0,14	0,38	0,35	0,39	0,35	
Mn	0,40	0,42	0,30	0,42	0,47	0,49	0,55	0,48	0,12	0,08	0,14	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Zn	0,72	0,68	0,54	0,70	0,00	0,00	0,15	0,00	0,15	0,14	0,16	0,11	0,00	0,10	0,12	0,10	0,12	0,08	0,03	0,08	
Pb	0,51	0,49	0,39	0,51	0,05	0,05	0,16	0,06	0,16	0,15	0,17	0,13	0,16	0,22	0,22	0,22	0,11	0,09	0,07	0,09	
Cu	0,30	0,30	0,23	0,31	0,23	0,24	0,29	0,24	0,19	0,17	0,19	0,18	0,19	0,19	0,16	0,18	0,10	0,10	0,14	0,10	
Ni		0,75		0,75		0,00		0,00		0,25		0,25		0,00		0,00		0,00		0,00	
Ca	0,09	0,15	0,06	0,13	0,69	0,72	0,72	0,70	0,10	0,06	0,10	0,11	0,09	0,02	0,00	0,00	0,02	0,06	0,13	0,05	
Al	0,01	0,07	0,00	0,05	0,68	0,71	0,69	0,70	0,09	0,05	0,07	0,10	0,17	0,08	0,06	0,06	0,06	0,09	0,18	0,09	
Fe	0,22	0,25	0,16	0,25	0,54	0,56	0,58	0,54	0,11	0,08	0,11	0,11	0,08	0,05	0,03	0,03	0,05	0,06	0,11	0,06	
Si	0,04	0,10	0,02	0,09	0,70	0,72	0,71	0,71	0,09	0,05	0,09	0,10	0,15	0,07	0,05	0,05	0,02	0,06	0,13	0,05	
Ti	0,18	0,22	0,13	0,22	0,55	0,58	0,60	0,57	0,12	0,09	0,11	0,12	0,09	0,04	0,03	0,03	0,05	0,07	0,13	0,07	
P	0,01	0,01	0,00	0,01	0,06	0,08	0,06	0,12	0,60	0,61	0,67	0,62	0,29	0,26	0,04	0,19	0,04	0,04	0,23	0,06	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,07	0,66	0,67	0,73	0,68	0,27	0,24	0,00	0,17	0,06	0,06	0,26	0,08	
V		0,00		0,00		0,00		0,00		0,50		0,50		0,00		0,00		0,50		0,50	
As	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
K	0,31	0,29	0,28	0,32	0,07	0,07	0,13	0,08	0,15	0,16	0,05	0,15	0,04	0,07	0,04	0,04	0,42	0,41	0,51	0,42	
Celem			0,18	0,23			0,26	0,24			0,24	0,27			0,00	0,04			0,32	0,22	
Corg			0,19	0,24			0,29	0,26			0,12	0,18			0,05	0,06			0,35	0,26	

Las Condes																					
Verano																					
Elemento	1				2				3				4				5				
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	
Br	0,44	0,38	0,44	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,08	0,12	0,15	0,15	0,13	0,07	0,10	0,29	0,43	0,37	0,32	
Mn	0,52	0,61	0,52	0,57	0,28	0,25	0,31	0,27	0,18	0,05	0,05	0,13	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,02	
Zn	0,67	0,74	0,74	0,70	0,06	0,00	0,13	0,03	0,20	0,07	0,01	0,19	0,06	0,06	0,02	0,02	0,00	0,13	0,10	0,06	
Pb	0,54	0,57	0,59	0,56	0,06	0,03	0,10	0,04	0,16	0,06	0,03	0,15	0,17	0,17	0,13	0,14	0,07	0,18	0,16	0,11	
Cu	0,49	0,54	0,52	0,53	0,15	0,11	0,16	0,12	0,19	0,11	0,09	0,19	0,10	0,08	0,07	0,06	0,07	0,16	0,16	0,09	
Ni		0,33		0,33		0,00		0,00		0,33		0,33		0,00		0,00		0,33		0,33	
Ca	0,23	0,37	0,13	0,32	0,57	0,56	0,53	0,59	0,16	0,06	0,16	0,08	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,15	0,00	
Al	0,15	0,28	0,00	0,25	0,69	0,70	0,62	0,72	0,11	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,22	0,03	
Fe	0,37	0,47	0,31	0,44	0,42	0,41	0,41	0,43	0,12	0,00	0,07	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,08	0,18	0,05	
Si	0,14	0,26	0,00	0,24	0,64	0,65	0,57	0,67	0,12	0,03	0,18	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,07	0,05	0,22	0,05	
Ti	0,24	0,34	0,12	0,32	0,56	0,56	0,51	0,58	0,12	0,02	0,13	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,07	0,08	0,22	0,06	
P	0,07	0,17	0,13	0,17	0,10	0,07	0,01	0,06	0,48	0,57	0,53	0,59	0,26	0,14	0,28	0,15	0,09	0,04	0,04	0,03	
S	0,00	0,13	0,08	0,12	0,11	0,07	0,00	0,06	0,55	0,67	0,62	0,68	0,27	0,13	0,30	0,14	0,07	0,00	0,00	0,00	
V		0,00		0,00		0,50		0,50		0,50		0,50		0,00		0,00		0,00		0,00	
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
K	0,13	0,00	0,00	0,16	0,25	0,32	0,17	0,27	0,00	0,00	0,20	0,00	0,09	0,06	0,00	0,06	0,53	0,62	0,62	0,52	
Celem			0,48	0,52			0,25	0,23			0,12	0,19			0,03	0,01		0,13	0,05		
Corg			0,44	0,49			0,23	0,21			0,10	0,15			0,05	0,04		0,18	0,11		

ANEXO F: RESULTADOS TEST DE MEDIAS (ESC. 1)

La técnica de bootstrapping se usa para encontrar mediante iteraciones los estimadores de las incertidumbres de cada uno de los elementos presentes en una determinada fuente. Para el Test de Medias, se realizaron 300 corridas de tipo bootstrap para las estaciones de invierno y verano.

Dado que existe un alto número de corridas o muestras para cada estación del año, hace el supuesto que los elementos presentes en cada fuente distribuyen Normal $N_i \sim (\mu_i, \sigma_i)$, donde i representa la estación.

El test t se define para cada elemento de una fuente en particular como:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\sigma_1^2 / N_1 + \sigma_2^2 / N_2}}$$

Con media $\mu_i = \frac{P_{75} + P_{25}}{2}$ y desviación estándar $\sigma_i = \frac{P_{75} - P_{25}}{1.349}$. Donde P_{75} representa el percentil 75 de la distribución y P_{25} representa el percentil 25 de la distribución.

Se rechaza la igualdad de medias si:

$$t \geq z(1 - \alpha)$$

Se considera un $\alpha=0.05$ que corresponde a un $z=1.96$.

Tabla resultados test de medias estación Las Condes.

Fuentes	Vehículos 1					Vehículos 2				
Estad.	μ		σ		Test t	μ		σ		Test t
Elementos	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.		Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
Al	3,8	10,8	5,6	16,1	1	49,4	88,6	5,7	22,2	1
As	0,8	0,1	1,2	0,2	1	0,5	0,1	0,7	0,1	1
Br	5,2	2,0	2,1	1,2	1	1,1	0,1	1,3	0,2	1
Ca	10,8	19,3	6,7	5,3	1	54,6	55,6	5,9	11,8	0
Cu	5,8	6,9	1,7	3,0	1	5,5	2,2	1,2	1,1	1
Fe	59,7	74,7	17,3	17,4	1	141,3	89,0	14,7	21,3	1
K	63,3	14,1	36,6	20,8	1	28,5	51,3	27,5	18,6	1
Mn	5,3	4,6	1,7	1,5	1	7,1	2,7	1,5	1,0	1
P	1,2	3,6	1,2	1,5	1	2,4	3,4	0,8	3,5	1
Pb	10,8	6,2	3,6	2,4	1	3,5	1,2	2,7	1,0	1
S	15,9	22,1	23,5	32,8	1	6,3	76,6	9,3	113,6	1
Si	12,8	21,0	12,7	25,0	1	98,2	156,4	10,4	35,3	1
Ti	1,7	2,1	0,6	0,6	1	4,8	6,1	0,4	1,4	1
Zn	35,7	21,2	11,9	9,4	1	7,1	3,5	10,5	3,3	1

Fuentes	Sulfatos					Biomasa				
Estad.	μ		σ		Test t	μ		σ		Test t
Elementos	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.		Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
Al	4,7	8,7	5,9	13,0	1	8,7	10,3	5,1	11,6	1
As	0,4	0,2	0,6	0,3	1	1,0	0,0	1,6	0,0	1
Br	1,1	0,5	1,6	0,4	1	4,7	1,0	2,1	0,5	1
Ca	5,0	12,7	5,8	6,3	1	5,9	5,0	4,6	7,3	0
Cu	3,7	2,3	0,8	1,4	1	2,1	1,1	0,9	0,6	1
Fe	20,8	19,1	12,6	15,2	0	19,5	15,5	9,3	8,8	1

K	43,4	9,4	24,8	14,0	1	100,0	82,3	38,8	30,0	1
Mn	0,9	1,2	1,2	1,0	1	0,2	0,3	0,2	0,3	1
P	24,0	18,9	1,4	1,5	1	1,7	3,0	2,3	1,5	1
Pb	3,2	1,3	1,8	1,4	1	2,1	1,0	1,4	0,7	1
S	651,6	535,4	33,9	40,3	1	54,5	51,0	53,6	61,1	0
Si	9,1	23,0	10,8	19,1	1	11,3	24,2	10,0	17,8	1
Ti	0,8	1,0	0,4	0,6	1	0,7	1,0	0,3	0,6	1
Zn	5,6	4,7	6,5	5,1	1	3,7	0,9	5,2	1,3	1

Fuentes	Arsénico				
Estad.	μ		σ		Test t
Elementos	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
Al	12,5	4,6	12,9	6,8	1
As	16,8	6,3	13,0	2,1	1
Br	3,4	0,6	3,4	0,3	1
Ca	6,6	4,1	9,8	4,2	1
Cu	5,9	1,4	3,5	0,6	1
Fe	37,2	14,2	32,5	9,1	1
K	22,4	15,0	33,2	14,6	1
Mn	1,1	0,4	1,7	0,5	1
P	9,3	9,3	3,5	1,0	0
Pb	7,1	2,1	5,7	1,2	1
S	137,0	235,0	201,6	32,0	1
Si	23,0	14,4	23,8	11,6	1
Ti	1,0	0,5	0,9	0,4	1
Zn	9,0	1,9	13,3	1,8	1

Nota: Test t = 1 significa rechazo igualdad de medias.

Tabla resultados test de medias estación La Paz.

Fuentes	Vehículos 1					Vehículos 2				
Estad.	μ		σ		Test t	μ		σ		Test t
Elem.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.		Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
Al	15,3	21,3	14,3	13,8	1	71,5	57,9	6,5	10,2	1
As	1,1	0,2	1,6	0,3	1	1,1	0,1	1,6	0,2	1
Br	10,6	2,1	3,6	0,9	1	0,7	0,3	1,1	0,4	1
Ca	32,2	35,8	14,3	10,1	1	96,7	54,0	6,6	9,3	1
Cu	17,5	9,8	4,3	2,9	1	9,3	4,0	2,1	2,1	1
Fe	165,4	102,1	38,2	28,6	1	265,5	134,0	20,1	26,4	1
K	89,0	15,0	46,6	22,3	1	47,4	35,2	27,2	19,9	1
Mn	14,4	6,9	3,6	2,2	1	8,4	3,1	1,6	1,2	1
P	4,3	4,5	3,0	2,1	0	4,7	4,0	1,9	2,2	1
Pb	29,2	7,5	7,9	2,6	1	6,9	2,9	3,6	1,9	1
S	66,2	55,2	98,1	81,8	0	25,6	50,0	37,9	74,2	1
Si	34,8	37,0	26,7	33,2	0	153,3	123,8	12,7	20,0	1
Ti	4,2	3,4	1,1	0,9	1	8,0	5,4	0,6	0,9	1
Zn	79,5	34,1	23,2	13,3	1	24,0	4,9	9,5	7,2	1

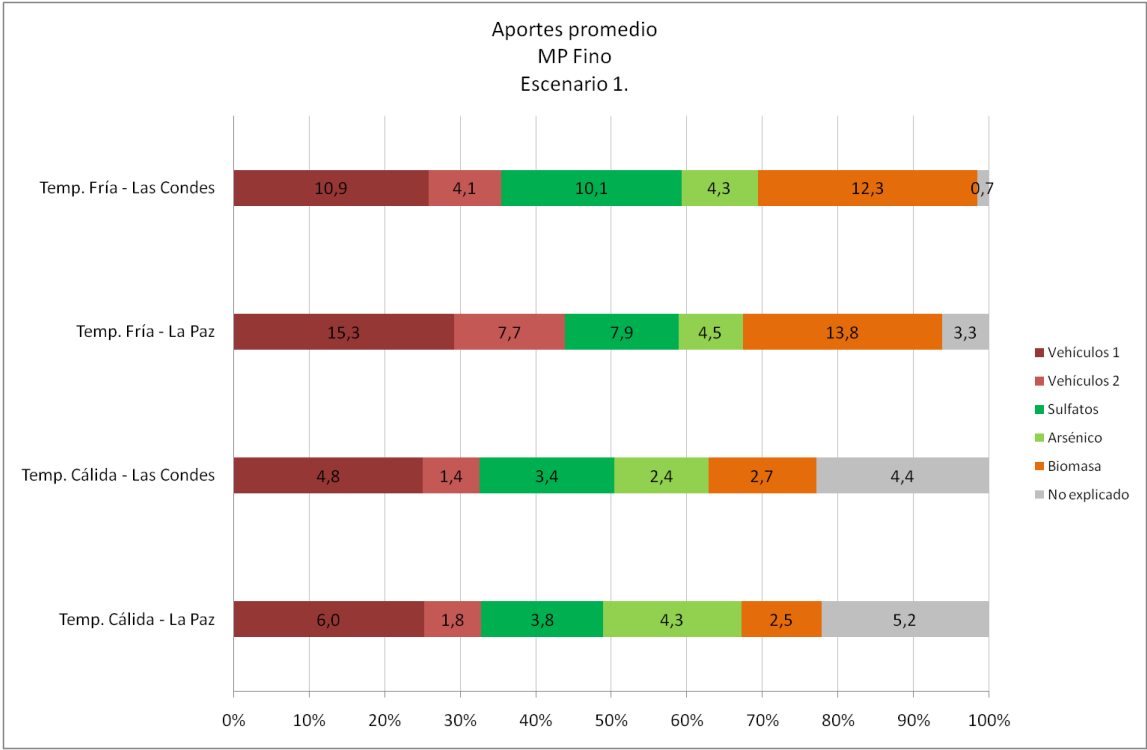
Fuentes	Sulfatos					Biomasa				
Estad.	μ		σ		Test t	μ		σ		Te
Elem.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.		Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
Al	6,0	13,2	3,1	7,5	1	11,3	26,5	7,3	7,4	1
As	0,7	0,1	1,0	0,2	1	1,9	0,1	2,8	0,2	1
Br	0,9	0,9	1,0	0,3	0	4,8	0,6	2,1	0,5	1
Ca	3,1	5,9	4,4	6,6	1	13,2	17,1	9,4	6,6	1

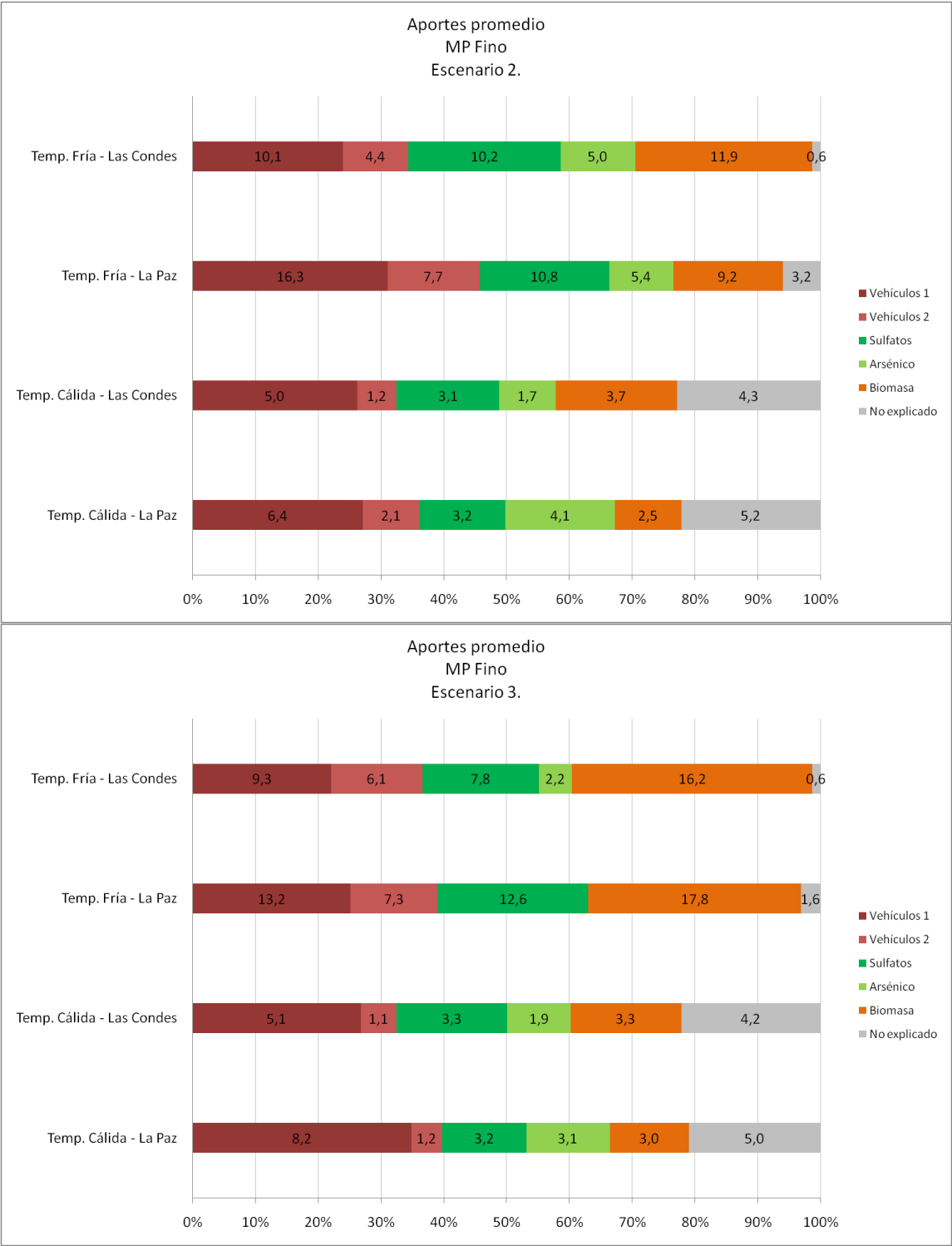
Cu	2,8	3,7	1,2	1,1	1	5,3	0,9	1,9	0,7	1
Fe	25,5	14,0	13,1	13,7	1	12,0	31,7	17,8	16,2	1
K	20,0	28,6	28,8	26,2	1	175,0	184,4	51,2	50,1	1
Mn	0,4	0,5	0,6	0,7	0	0,4	0,7	0,6	0,5	1
P	24,8	27,5	1,0	1,6	1	8,6	2,5	2,3	2,5	1
Pb	4,2	1,4	1,9	1,2	1	3,6	0,4	2,7	0,5	1
S	670,8	742,9	26,8	41,2	1	197,5	62,1	71,1	75,6	1
Si	5,5	20,8	6,7	15,9	1	24,1	48,8	15,7	16,9	1
Ti	0,3	0,9	0,4	0,7	1	1,4	2,0	0,7	0,6	1
Zn	8,3	4,2	5,6	4,0	1	6,8	2,2	6,1	3,0	1

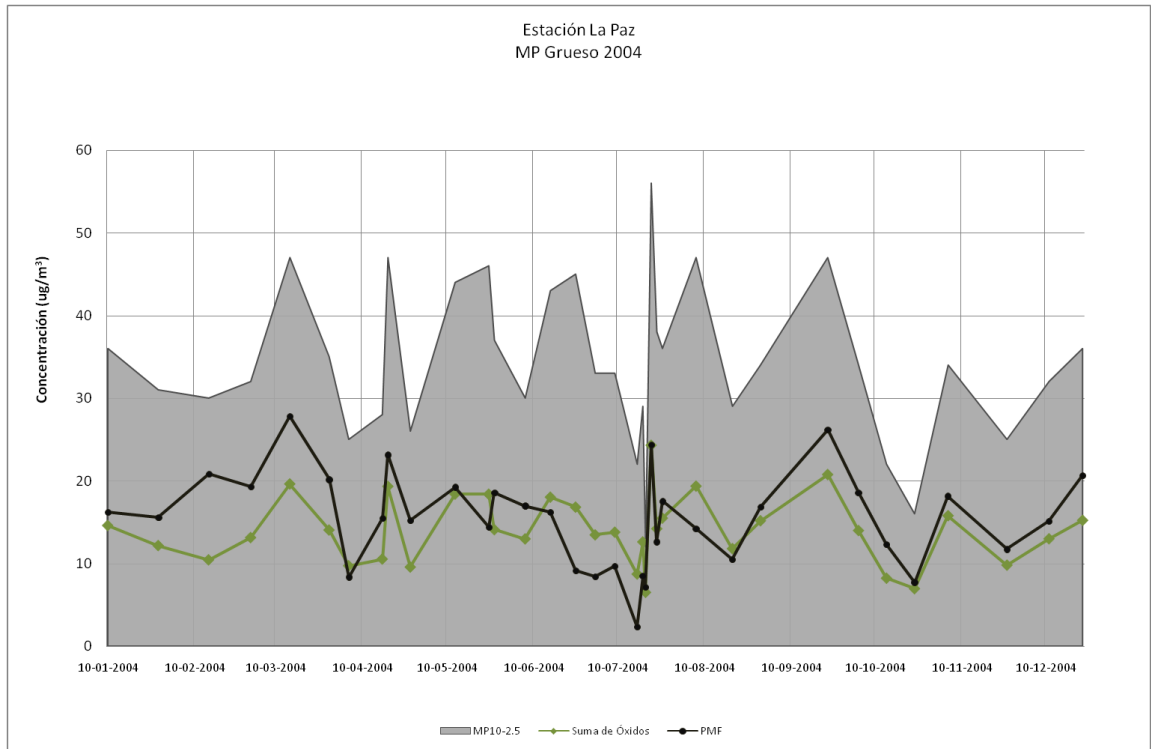
Fuentes	Arsénico				
Estad.	μ		σ		Test t
Elem.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
Al	16,5	14,3	10,1	9,4	1
As	12,6	5,3	8,2	3,4	1
Br	1,7	1,1	2,0	0,8	1
Ca	12,1	9,7	12,5	7,9	1
Cu	8,2	2,4	5,0	1,7	1
Fe	49,2	24,7	36,5	21,7	1
K	26,9	21,2	39,8	31,5	0
Mn	1,7	1,0	2,4	1,2	1
P	4,0	3,4	3,5	1,8	1
Pb	2,7	4,5	3,9	3,3	1
S	79,3	47,1	117,5	69,8	1
Si	25,4	19,2	19,8	18,6	1
Ti	1,3	1,2	1,1	0,8	0
Zn	14,9	5,9	12,2	6,5	1

Nota: Test t = 1 significa rechazo igualdad de medias.

ANEXO G: GRÁFICOS APORTES PROMEDIO MP FINO (ESC. 1, 2 Y 3)





ANEXO H: GRÁFICO SUMA DE ÓXIDOS MP GRUESO LA PAZ (ESC. 1)

BIBLIOGRAFIA

- Andrews, E., P. Saxena, et al. (2000). "Concentration and composition of atmospheric aerosols from the 1995 SEAVS experiment and a review of the closure between chemical and gravimetric measurements." Journal of the Air and Waste Management Association **50**(5): 648-664.
- Artaxo, P. (1999). Source apportionment of aerosol in Santiago de Chile, University of Sao Paulo, Brazil.
- Ayres, J., R. Maynard, et al. (2006). "Air pollution and health." Imperial College Press: 248 pp.
- Cakmak, S., R. E. Dales, et al. (2007). "Air pollution and mortality in Chile: susceptibility among the elderly." Environ Health Perspect **115**(4): 524-527.
- Cifuentes, L. A., J. Vega, et al. (2000). "Effect of the fine fraction of particulate matter vs. coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile " Journal of the Air and Waste Management Association **50**(8): 1287-1298.
- CONAMA (2007). Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana- Resumen ejecutivo, DICTUC S.A.
- Chow, J. C. and J. G. Watson (1998). Guideline on specified particulate monitoring prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, San Francisco, C.A. , Desert Research Institute, Reno N.V.
- Chow, J. C., J. G. Watson, et al. (2004). "Source profiles for industrial, mobile and area sources in the big regional aerosol visibility and observational study." Chemosphere(54): 185 - 208.
- Chueinta, W., P. K. Hopke, et al. (2000). "Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and suburban residential areas in Thailand by positive matrix factorization." Atmospheric Environment **34**: 3319-3329.
- Dockery, D. W., C. A. Pope, III, et al. (1993). "An association between air pollution and mortality in six US cities." New England Journal of Medicine **329**(24): 1753-1759 ; PL:.

- Eberly, S., Ed. (2005). EPA PMF 1.1 User's Guide. Research Triangle Park, NC 27711, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory.
- EPA (1995). Air quality criteria for particulate matter. Volume 1 of 3. Review draft: 964 p. ; PL:.
- Gidhagen, L., H. Kahelin, et al. (2002). "Anthropogenic and natural levels of arsenic in PM10 in central and northern Chile." Atmospheric Environment **36**: 3803-3817.
- Gramsch, E. (2005). Caracterización fisicoquímica, monitoreo y distribución del material particulado fino y grueso en la Región Metropolitana, Universidad de Santiago de Chile.
- Grover, B. D. and D. J. Eatough (2008). "Source apportionment of one-hour semi-continuous data using positive matrix factorization with total mass (nonvolatile plus semi-volatile) measured by R&P FDMS monitor." Aerosol Science and Technology **42**(1): 28-39.
- Health Effects Institute (2002). Understanding the health effects of components of the particulate matter mix. Progress and next steps in HEI perspectives. Cambridge, MA.
- Hedberg, E., L. Gidhagen, et al. (2005). "Source contributions to PM10 and arsenic concentrations in Central Chile using positive matrix factorization." Atmospheric Environment **39**(3): 549-561.
- Henry, R. C. (1987). "Current factor analysis models are ill-posed." Atmospheric Environment **21**(8): 1815-1820.
- Henry, R. C. (1991). Multivariate receptor models, in: Receptor modeling for quality management. P.K. Hopke, ed. Elsevier Science. Amsterdam.
- Hopke, P. K. (1985). Receptor modeling in environmental chemistry. Wiley, New York.
- Hopke, P. K., K. Ito, et al. (2006). "PM source apportionment and health effects: 1. Intercomparison of source apportionment results." J Expo Sci Environ Epidemiol **16**(3): 275-86.
- Ilabaca, M., J. Olaeta, et al. (1999). "Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illness among Children in Santiago, Chile." Journal of the Air and Waste Management Association **49**(Special Issue): 154-163.

- Jorquera, H. (2002a). "Air quality at Santiago, Chile: a box modeling approach I. carbon monoxide, nitrogen oxides and sulfur dioxide." Atmospheric Environment **36**(2): 315-330.
- Jorquera, H. (2002b). "Air quality at Santiago, Chile: a box modeling approach II. PM_{2.5}, coarse and PM₁₀ particulate matter fractions." Atmospheric Environment **36**(2): 331-334.
- Jorquera, H., G. Orrego, et al. (2004). "Trends in air quality and population exposure in Santiago, Chile 1989-2001." International Journal of Environment and Pollution **22**(4): 507-530.
- Kavouras, I. G., P. Koutrakis, et al. (2001). "Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in five chilean cities using factor analysis." Journal of the Air and Waste Management Association **51**: 451-464.
- Kim, E., P. K. Hopke, et al. (2003). "Source identification of Atlanta aerosol by positive matrix factorization." J Air Waste Manag Assoc **53**(6): 731-9.
- Kim, E., P. K. Hopke, et al. (2004). "Analysis of ambient particle size distribution using unmix and positive matrix factorization." Environmental Science and Technology **38**(1): 202-209.
- Kim, E., T. V. Larson, et al. (2003). "Source identification of PM_{2.5} in arid northwest US city by positive matrix factorization." Atmospheric Research **66**(4): 291-305.
- Laden, F., L. Neas, et al. (2000). "Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities." Environ Health Perspect **108**(10): 941-947.
- Laden, F., J. Schwartz, et al. (2006). "Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study." Am J Respir Crit Care Med **173**(6): 667-72.
- Lee, S. A., T. Hastie, et al. (2000). "Fine particulate air pollution (PM_{2.5}) and medical visits for lower respiratory track illness among children in Santiago, Chile." Invest. Med. **48**: 96A-96A.
- Lippmann, M., K. Ito, et al. (2006). "Cardiovascular effects of nickel in ambient air." Environ Health Perspect **114**(11): 1662-1669.

- Liu, W., P. K. Hopke, et al. (2003). "Origins of fine aerosol mass in the western united states using possitive matrix factorization." Journal of Geophysical Research **108**(23): 4716.
- Maykut, N. N., J. Lewtas, et al. (2003). "Source apportionment of PM_{2.5} at an urban improve site in Seattle, Washington." Environmental Science and Technology **37**(22): 5135-5142.
- O'Neill, M. S., M. L. Bell, et al. (2008). "Air pollution and mortality in Latin America: The role of education." Epidemiology **19**(5).
- Ostro, B. D., G. S. Eskeland, et al. (1999). "Air pollution and health effects: a study of medical visits among children in Santiago, Chile." Environ Health Perspect **107**(1): 69-73.
- Paatero, P. and P. K. Hopke (2003). "Discarding or downweighting high noise variables in factor analytic models." Analytica Chimica Acta **490**(1): 277-289.
- Paatero, P. and U. Tapper (1993). "Analysis of different modes of factor analysis as least squares fit problems." Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems **18**(2): 183-194.
- Paatero, P. and U. Tapper (1994). "Possitive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values." Envirometrics **5**: 111-126.
- Pope, C. A., 3rd and D. W. Dockery (2006). "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect." Journal of the Air & Waste Management Association **56**(6): 709-742.
- Romero, H., M. Ihl, et al. (1999). "Rapid urban growth, land-use changes and air pollution in Santiago, Chile." Atmospheric Environment **33**(24): 4039-4047.
- Santiago, U. d. (2006). Análisis retrospectivo de filtros de material particulado MP₁₀ y sus fracciones fina y gruesa para las estaciones MACAM II en el período 2003-2006.
- Santoso, M., P. K. Hopke, et al. (2008). "Sources identification of the atmospheric aerosol at urban and suburban sites in Indonesia by positive matrix factorization." Science of the total environment(397): 229-237.

Sax, S., P. Koutrakis, et al. (2007). "Trends in the elemental composition of fine particulate matter in Santiago, Chile, from 1998 to 2003." Journal of the Air and Waste Management Association **57**(7): 845-855.

Schwartz, J., D. W. Dockery, et al. (1996). "Is daily mortality associated specifically with fine particles?" Journal of the Air and Waste Management Association **46**(10): 927-939.

Steven, G. B., F. Anna, et al. (2007). "Source apportionment of fine particulate matter in Phoenix, AZ, using positive matrix factorization." Journal of the Air and Waste Management Association **57**(6): 741-752.

