

UCH - FC
Q. Ambiental
012
C.1



**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**“ANÁLISIS CONJUNTO DE LA COMPOSICIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO
2,5 EN CIUDADES DE CHILE”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Carolina Elizabeth Olave Seguel

Director de Seminario de Título : Dr. Héctor Jorquera González
Profesor Patrocinante : Dr. Raúl Morales Segura

Mayo de 2010
Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata:

CAROLINA ELIZABETH OLAVE SEGUEL

“ANÁLISIS CONJUNTO DE LA COMPOSICIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO
2,5 EN CIUDADES DE CHILE”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental.

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Dr. Héctor Jorquera González
Director Seminario de Título

Dr. Raúl Morales Segura
Profesor Patrocinante

Dr. Manuel Leiva Guzmán
Corrector

Dr. Rodrigo Seguel
Corrector

The image shows four handwritten signatures in blue ink, each written over a horizontal line. The signatures are: Héctor Jorquera González, Raúl Morales Segura, Manuel Leiva Guzmán, and Rodrigo Seguel. To the right of the signatures is a circular stamp that reads "FACULTAD DE CIENCIAS" at the top, "BIBLIOTECA CENTRAL" in the middle, and "U. DE CHILE" at the bottom.

Santiago de Chile, Mayo de 2010

RESEÑA



Mi nombre es Carolina Elizabeth Olave Seguel, nací en Santiago.

Mi enseñanza básica la realicé en el Mary Anne School, donde me destacué por ser una alumna muy aplicada, obteniendo siempre el primer lugar en rendimiento, también fui inquieta y desordenada.

En 7° básico ingrese al Liceo N°1 Javiera Carrera, donde conocí realmente la vida de colegio con docentes excelentes que fueron formando en mi toda clase de inquietudes para mi futuro. Me eduque en uno de los pocos colegios para señoritas que aún existen donde me enseñaron desde tejer, bordar, cocinar y pintar hasta francés, inglés, deportes y ciencias.

El año 2002 ingrese a la Universidad de Chile a la carrera de Química Ambiental, donde pase momentos felices y reconfortantes, pero también de mucho esfuerzo y dedicación. Realicé mi unidad de investigación “Estudio de competencia en el proceso de absorción y persistencia de dos fungicidas en suelo Diguillín y Maipo”, que posteriormente presenté como poster en el II Congreso Iberoamericano y VI Congreso Argentino de Química Analítica en Buenos Aires. También realice ayudantías de pregrado (Química de Suelos, Contaminación de suelos, Análisis Instrumental II y Química de Aguas) y la ayudantía de Química de un postítulo (Estudio y comprensión de la naturaleza).

“Me siento feliz de haber estudiado en esta prestigiosa casa de estudios y de poder contribuir a mejorar las condiciones medioambientales de nuestro planeta. Mi carrera recién comienza, espero responder a los desafíos profesionales, entregando lo mejor de mí”

***“A mi amado hijo Benjamin, mi mayor motivación...
... y gracias a Dios a quien debo todo lo que soy”***



AGRADECIMIENTOS

Lograr acceder a la educación superior y obtener un título profesional es complejo, sobretodo en mi país donde las desigualdades son tan marcadas. A la vez es una de las etapas más cálidas y bellas en la formación como profesional.

Así, el cumplimiento de mi carrera universitaria no hubiera sido posible sin la incondicional compañía, apoyo e inmenso amor de Benjamin, Ricardo, Elisabeth e Ivonne; mi hijo, mi esposo, mi madre y mi hermana. Sus valores, sus enseñanzas, sus consejos y simplemente su existencia son los pilares fundamentales de mi desarrollo personal e intelectual, los cuales me permiten estar hoy escribiendo este trabajo. Al igual que ellos, mi sobrino Martín es parte fundamental de mi persona, a través de su entusiasmo, alegría y comprensión, ellos me han brindado la compañía emocional necesaria para salir adelante.

Mención aparte merece mi amado hijo Benjamin, el que me ha entregado los años más hermosos de mi vida, despertando en mí los más fuertes y cálidos sentimientos.

Quiero agradecer también profunda y sinceramente a los Profesores Sylvia Copaja y Héctor Bravo con los cuales pasé momentos felices compartiendo consejos y también múltiples convivencias. Gracias por todo su cariño y enseñanzas que ha dejado huella en mi formación personal y profesional.

Quisiera mencionar cariñosamente a: Juan Carlos (bibliotecario), Patricia y Margarita (asistente social y secretaria), Tatiana (enfermera), Natalia (secretaria), Don Emilio, funcionarios y auxiliares; los cuales con una sonrisa y un trato gentil, me hicieron más llevadero los años de permanencia en la Universidad.

Agradezco también a los Profesores Héctor Jorquera y Raúl Morales, profesionales, que hicieron posible la realización de este trabajo.

Finalmente agradezco la amabilidad y gentileza del equipo del Área de soluciones ambientales de DICTUC, en especial a Álvaro Espejo y Héctor Escobar.



INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras	xi
Lista de Abreviaturas	xiv
Glosario	xv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
1. INTRODUCCION	1
1.1. Características Material Particulado	2
1.2. Fuentes de emisión de MP2,5	3
1.3. Efectos en la salud del Material Particulado	4
1.4. Chile y la contaminación atmosférica	5
1.5. Hipótesis	7
1.6. Objetivo General	7
1.6.1. Objetivos Específicos	7
2. ANTECEDENTES GENERALES	9
2.1. Correlaciones	9
2.1.1. Bromo y Plomo en emisiones vehiculares	9
2.1.2. Elementos de la Corteza Terrestre	10
2.1.3. Industrias	11
2.2. Azufre	12
2.3. Quema de Biomasa	13
2.4. Análisis Gravimétrico	14
2.4.1. PIXE	14
2.4.2. FRX	15
3. MATERIALES Y METODOS	16
3.1 Materiales	16
3.2 Método	24
3.2.1 Preparación de Datos	24



3.2.2. Creación de la base de datos requerida	25
3.2.3. Trabajo estadístico de los datos	25
3.2.4. Análisis de MP2,5	26
3.2.4.1. Correlaciones	26
3.2.4.2. Sulfatos marinos y no marinos	26
3.2.4.3. Quema de Biomasa	27
3.2.4.4. Balance de Masa para MP2,5	27
4. RESULTADOS	30
4.1. Caracterización de las ciudades en estudio	30
4.1.1. Ciudad de Iquique	30
4.1.2. Ciudad de Tocopilla	31
4.1.3. Ciudad de Calama	31
4.1.4. Ciudad de Viña del Mar	32
4.1.5. Ciudad de Valparaíso	33
4.1.6. Ciudad de Santiago	34
4.1.7. Ciudad de Rancagua	35
4.1.8. Ciudad de Temuco	36
4.2. Resultados del análisis de los filtros de MP2,5	37
4.2.1. Reporte de los filtros ciudad de Iquique	37
4.2.2. Reporte de los filtros ciudad de Tocopilla	38
4.2.3. Reporte de los filtros ciudad de Calama	41
4.2.4. Reporte de los filtros ciudad de Viña del Mar	46
4.2.5. Reporte de los filtros ciudad de Valparaíso	47
4.2.6. Reporte de los filtros ciudad de Santiago	48
4.2.7. Reporte de los filtros ciudad de Rancagua	60
4.2.8. Reporte de los filtros ciudad de Temuco	61
4.3. Concentraciones de MP2,5	62
4.4. Correlaciones más significativas	63
4.4.1. Transporte	64
4.4.2. Polvo Natural (suelo)	66
4.4.2.1. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Iquique	67
4.4.2.2. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Calama	68



4.4.2.3. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Tocopilla	68
4.4.2.4. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Viña del Mar	69
4.4.2.5. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Valparaíso	70
4.4.2.6. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Santiago año 1999	70
4.4.2.7. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Santiago año 2004	71
4.4.2.8. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Rancagua	72
4.4.2.9. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Temuco	72
4.4.3. Industrias	74
4.4.3.1. Correlaciones Industrias ciudad de Iquique	74
4.4.3.2. Correlaciones Industrias ciudad de Calama	75
4.4.3.3. Correlaciones Industrias ciudad de Tocopilla	75
4.4.3.4. Correlaciones Industrias ciudad de Viña del Mar	76
4.4.3.5. Correlaciones Industrias ciudad de Valparaíso	76
4.4.3.6. Correlaciones Industrias ciudad de Santiago año 1999	77
4.4.3.7. Correlaciones Industrias ciudad de Santiago año 2004	77
4.4.3.8. Correlaciones Industrias ciudad de Rancagua	78
4.4.3.9. Correlaciones Industrias ciudad de Temuco	78
4.5. Sulfatos y Azufre	80
4.5.1. Azufre en MP2,5	80
4.5.2. Sulfatos marinos y no marinos	82
4.6. Quema de Biomasa	83
4.7. Balance de masa para los filtros de MP2,5	84
5. DISCUSION	86
5.1. Concentraciones de MP2,5	86
5.2. Correlaciones	86
5.2.1. Transporte	86
5.2.2. Polvo Natural (suelo)	88
5.2.3. Industrias	89
5.3. Sulfatos y Azufre	91
5.4. Quema de Biomasa	91
5.5. Balance de MP2,5	92

6. CONCLUSIONES	94
7. BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	101
ANEXO I	i
ANEXO II	xxviii





INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 : Fuentes de Contaminantes y Elementos trazadores de MP2,5	3
Tabla 2 : Sitios de monitoreo Ciudad de Santiago años 1996, 1998 y 1999	16
Tabla 3 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Iquique, año 1998	21
Tabla 4 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 1	39
Tabla 5 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 2	39
Tabla 6 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 3	40
Tabla 7 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 1, 2 y 3	41
Tabla 8 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 1	42
Tabla 9 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 2	42
Tabla 10 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 3	43
Tabla 11 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 4	44
Tabla 12 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 5	44
Tabla 13 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 1, 2, 3, 4 y 5	45
Tabla 14 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Viña del Mar, año 1998	46
Tabla 15 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Valparaíso, año 1998	47
Tabla 16 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 1	48

Tabla 17 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 2	49
Tabla 18 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 3	49
Tabla 19 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 1, 2 y 3	50
Tabla 20 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 1	51
Tabla 21 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 2	52
Tabla 22 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 3	52
Tabla 23 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 4	53
Tabla 24 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 5	54
Tabla 25 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 1, 2, 3, 4 y 5	54
Tabla 26 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1999, sitio 1	55
Tabla 27 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1999, sitio 2	56
Tabla 28 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1999, sitio 1 y 2	57
Tabla 29 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 2004, sitio 1	58
Tabla 30 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 2004, sitio 2	58
Tabla 31 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 2004, sitio 1 y 2	59
Tabla 32 : Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Rancagua, año 1998	60



Tabla 33 :	Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Temuco, año 1998	61
Tabla 34 :	Concentración Media Anual de MP2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ de las diferentes ciudades en estudio.....	62
Tabla 35 :	Concentración Media Anual de MP2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la ciudad de Santiago en las diferentes campañas.....	62
Tabla 36 :	Total de concentraciones de elementos del MP2,5	63
Tabla 37 :	Valores de correlación de Br/Pb para las ciudades en estudio	66
Tabla 38 :	Valores de correlaciones de polvo natural para ciudades de Chile	62
Tabla 39 :	Valores de correlaciones referentes a fuentes industriales para las ciudades en estudio	63
Tabla 40-a :	Estimación para el Balance de Masa de los filtros [$\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$] a partir de las composiciones elementales	84
Tabla 40-b :	Estimación de Balance de Masa para los filtros [$\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$] a partir de las composiciones elementales	64



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 : Mapa de Chile con las ciudades en estudio	8
Figura 2 : Fundamento método PIXE	14
Figura 3 : Fundamento método FRX	15
Figura 4 : Ubicación de las Estaciones de Monitoreo en la Ciudad de Santiago año 1996, 1998 y 1999	17
Figura 5 : Ubicación de las Estaciones de Monitoreo en la Ciudad de Santiago año 2004	18
Figura 6 : Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Iquique	19
Figura 7 : Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Viña del Mar	20
Figura 8 : Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Valparaíso	20
Figura 9 : Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Rancagua	21
Figura 10 : Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Temuco	21
Figura 11 : Ubicación de los sitios de Monitoreo en la Ciudad de Tocopilla	22
Figura 12 : Ubicación de las Estaciones de Monitoreo en la Ciudad de Calama	23
Figura 13 : Br/Pb, ciudad de Iquique	64
Figura 14 : Br/Pb, ciudad de Calama	64
Figura 15 : Br/Pb, ciudad de Tocopilla	64
Figura 16 : Br/Pb, ciudad de Viña del Mar	64
Figura 17 : Br/Pb, ciudad de Valparaíso	65
Figura 18 : Br/Pb, Santiago año 1999	65
Figura 19 : Br/Pb, Santiago año 2004	65
Figura 20 : Br/Pb, ciudad de Rancagua	65
Figura 21 : Br/Pb, ciudad de Temuco	65
Figura 22 : Al/Si, ciudad de Iquique	67
Figura 23 : Ca/Si, ciudad de Iquique	67
Figura 24 : K/Fe, ciudad de Iquique	67
Figura 25 : Fe/Si, ciudad de Iquique	67
Figura 26 : Al/Si, ciudad de Calama	68
Figura 27 : Ca/Si, ciudad de Calama	68
Figura 28 : K/Fe, ciudad de Calama	68
Figura 29 : Fe/Si, ciudad de Calama	68

Figura 30 : Al/Si, ciudad de Tocopilla	68
Figura 31 : Ca/Si, ciudad de Tocopilla	68
Figura 32 : K/Fe, ciudad de Tocopilla	69
Figura 33 : Fe/Si, ciudad de Tocopilla	69
Figura 34 : Al/Si, ciudad de Viña del Mar	69
Figura 35 : Ca/Si, ciudad de Viña del Mar	69
Figura 36 : K/Fe, ciudad de Viña del Mar	69
Figura 37 : Fe/Si, ciudad de Viña del Mar	69
Figura 38 : Al/Si, ciudad de Valparaíso	70
Figura 39 : Ca/Si, ciudad de Valparaíso	70
Figura 40 : K/Fe, ciudad de Valparaíso	70
Figura 41 : Fe/Si, ciudad de Valparaíso	70
Figura 42 : Al/Si, Santiago año 1999	70
Figura 43 : Ca/Si, Santiago año 1999	70
Figura 44 : K/Fe, Santiago año 1999	71
Figura 45 : Fe/Si, Santiago año 1999	71
Figura 46 : Al/Si, Santiago año 2004	71
Figura 47 : Ca/Si, Santiago año 2004	71
Figura 48 : K/Fe, Santiago año 2004	71
Figura 49 : Fe/Si, Santiago año 2004	71
Figura 50 : Al/Si, ciudad de Rancagua	72
Figura 51 : Ca/Si, ciudad de Rancagua	72
Figura 52 : K/Fe, ciudad de Rancagua	72
Figura 53 : Fe/Si, ciudad de Rancagua	72
Figura 54 : Al/Si, ciudad de Temuco	72
Figura 55 : Ca/Si, ciudad de Temuco	72
Figura 56 : K/Fe, ciudad de Temuco	73
Figura 57 : Fe/Si, ciudad de Temuco	73
Figura 58 : Ni/V, ciudad de Iquique	74
Figura 59 : Cu/As, ciudad de Iquique	74
Figura 60 : Ni/V, ciudad de Calama	75
Figura 61 : P/S, ciudad de Calama	75
Figura 62 : Cu/As, ciudad de Calama	75

Figura 63 : Ni/V, ciudad de Tocopilla	75
Figura 64 : Cu/As, ciudad de Tocopilla	75
Figura 65 : Ni/V, ciudad de Viña del Mar	76
Figura 66 : Cu/As, ciudad de Viña del Mar	76
Figura 67 : Ni/V, ciudad de Valparaíso	76
Figura 68 : Cu/As, ciudad de Valparaíso	76
Figura 69 : Ni/V, Santiago año 1999	77
Figura 70 : Cu/As, Santiago año 1999	77
Figura 71 : Ni/V, Santiago año 2004	77
Figura 72 : P/S, Santiago año 2004	77
Figura 73 : Cu/As, Santiago año 2004	77
Figura 74 : Ni/V, ciudad de Rancagua	78
Figura 75 : Cu/As, ciudad de Rancagua	78
Figura 76 : Ni/V, ciudad de Temuco	78
Figura 77 : Cu/As, ciudad de Temuco	78
Figura 78 : Comparación de Azufre total por ciudad	80
Figura 79 : Comparación de Azufre total en Santiago	81
Figura 80 : Estimación Aerosoles Marinos	82
Figura 81 : Distribución de aportes de Potasio en las ciudades en estudio	83

ABREVIATURAS

MP2,5	:	Material Particulado de diámetro promedio menor a 2,5 μm .
OMS	:	Organización Mundial de la Salud.
EPA	:	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
OC	:	Carbono Orgánico.
EC	:	Carbono Elemental.
Ng	:	Nanogramos
μg	:	Microgramos
m^3N	:	Metro cúbico normal
PIXE	:	Particle Induced X-Ray Emission
FRX	:	Fluorescencia de Rayos X
CONAMA	:	Comisión Nacional del Medio Ambiente
SESMA	:	Servicio de Salud del Medio Ambiente
CENMA	:	Centro Nacional del Medio Ambiente

GLOSARIO

Material Particulado 100% respirable: Material Particulado de diámetro aerodinámico promedio igual o inferior a 2,5 micrómetros.

Material Particulado respirable: Partículas sólidas o líquidas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 micrómetros.

m³N: Metro cúbico que se encuentra a 25°C de temperatura y a 760 mm de Hg de presión.

Programa S-Plus: Programa estadístico computacional, que permite establecer correlaciones entre elementos y determinar sus parámetros estadísticos.

Biomasa: Materia Orgánica de origen animal o vegetal.

RESUMEN

El Material Particulado constituye uno de los principales problemas de contaminación atmosférica en las ciudades más pobladas de Chile. Debido a su alto impacto tóxico en la salud de la población, el MP2,5 ha sido objeto de diferentes estudios y de la aplicación de normativas tendientes a controlar emisiones en muchas partes del mundo.

La composición química del Material Particulado es muy diversa y ella constituye un criterio para poder determinar el origen de éste.

En este trabajo se presenta un estudio de una compilación de datos referente a la composición química de MP2,5. El análisis de la composición del MP2,5 permite establecer mediante elementos trazadores las diferentes fuentes emisoras como el transporte, fuentes fijas, fuentes naturales, combustión de biomasa, etc. Además entender similitudes, diferencias, tendencias temporales, etc. Para cumplir estos objetivos, se recolectaron datos de diferentes monitoreos de la composición química del MP2,5, obtenidos en diferentes ciudades de Chile: Iquique, Calama, Tocopilla, Viña del Mar, Valparaíso, Santiago, Rancagua y Temuco.

Las emisiones vehiculares son fuentes predominantes de Pb y Br en MP2,5 en las ciudades de Iquique, Santiago, Rancagua y Temuco. El aporte del suelo también ha sido identificado como fuente principal de Al, Si, Ca, Fe y minoritariamente de K en todas las ciudades en estudio. Las ciudades con fundiciones de Cu, refinерías de petróleo (y/o combustión de Diesel) y actividades portuarias fueron fuentes de Cu, As, Ni, V, P y S. Estas son Calama, Tocopilla, Viña del Mar, Santiago y Rancagua. El azufre es una contribución importante al MP2,5. El aporte de sulfatos marinos fue mínimo, en las ciudades costeras.

Las concentraciones media anuales de MP2,5 de las ciudades sobrepasan los valores de referencia medio ambientales de USA, Europa y la OMS.

El balance de Biomasa para MP2,5 fue estimado acercándose bastante a los valores medidos en las respectivas campañas de monitoreo, tomando en cuenta las consideraciones de cálculo.

El estudio muestra la necesidad de elaborar la norma correspondiente en Chile para el MP2,5, que permita mejorar la calidad del aire y el efecto en la salud de las personas.

ABSTRACT

The fine and coarse mode aerosol constitutes one of the main problems of air pollution in the cities in Chile. Due to their high impact in the health of the population, the PM_{2.5} has been object of different studies and the application of air quality standards to control emissions in many parts of the world.

The chemical composition of particulate matter is very diverse and constitutes a criterion to assess the origin of this.

In this work a study of a compilation of data appears referring to the chemical composition of PM_{2.5}. The analysis of the composition of the PM_{2.5} allows to establish by means of tracer elements the different sources and processes like the transport, fixed sources, natural sources, temporary combustion of biomass, etc. In addition to understand similarities, differences, etc.

In order to fulfill these objectives, data of chemical composition of the PM_{2.5}, obtained at different cities of Chile were collected: Iquique, Calama, Tocopilla, Viña del Mar, Valparaíso, Santiago, Rancagua and Temuco.

Transport emissions were dominant sources of Pb and Br in PM_{2.5} in the cities of Iquique, Santiago, Rancagua and Temuco. The contribution of soil dust was identified as a like source of Al, Si, Ca, Fe and K in all the cities in study. The cities with copper smelters or, oil refineries of (and/or presence of Diesel engine) or harbor activities were sources of Cu, As, Ni, V, P and S. These are Calama, Tocopilla, Viña del Mar, Santiago and Rancagua. Sulphur is an important contribution to the PM_{2.5}. The marine sulphate contribution was minimal, in cities coastal.

The annual concentrations of PM_{2.5} of all the cities exceeded the half environmental values of reference of the USA, Europe and according to the WHO.

The mass balance for PM_{2.5} was considered approaching enough the values measured in the respective campaigns of monitoring, taking into account the calculation considerations.

The study shows the necessity to elaborate the corresponding air quality standard in Chile for the PM_{2.5}, which allows improving the quality of the air and the effect in the health of the people.

1. INTRODUCCION

La calidad del aire se considera un requisito básico para la salud humana y el bienestar. A pesar de la introducción de tecnologías más limpias en la industria, la contaminación del aire sigue siendo un gran riesgo para la salud (WHO Regional Publications, European series, N° 23).

La contaminación atmosférica antropogénica ha existido al menos desde la utilización del fuego y ha aumentado rápidamente desde que comenzó la industrialización.

La contaminación atmosférica la componen varias sustancias: gaseosas, líquidas, sólidas y entre estas últimas, el llamado Material Particulado.

El Material Particulado atmosférico comprende a las partículas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire, ya sean estas partículas sedimentables o en suspensión (aerosoles), pudiendo ser de origen natural o antropogénico. El Material Particulado presenta un impacto negativo en la salud de las personas y produce daños a la flora y fauna, particularmente cuando este es menor a $2,5 \mu\text{m}$ de diámetro. De ahí el interés en comprender y establecer su composición, así como sus fuentes, difusión y posibles efectos.

Los rasgos climáticos y geomorfológicos, así como las actividades propias de cada ciudad determinan el contenido y proporción relativa de elementos comprendidos en el MP_{2,5}.

1.1. Características Material Particulado

El Material Particulado suspendido en el aire, es una mezcla de sustancias, típicamente en varios estados de agregación o fases. Los aerosoles, dependiendo de sus características físicas (tamaño) y químicas (toxicidad) pueden ser dañinos para la salud de las personas (Morales R., 2006).

El Material Particulado respirable se ha clasificado de acuerdo a dos rangos: MP10 y MP2,5. El MP10 se puede definir como partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras, cuyo diámetro es igual o inferior a los 10 micrómetros (10 μm).

La fracción respirable más pequeña es conocida como MP2,5 y está constituida por aquellas partículas de diámetro inferior o igual a las 2,5 micrómetros. Agrupa a partículas generalmente ácidas, que contienen hollín y otros derivados de las emisiones vehiculares e industriales. Su tamaño permite que sean 100% respirables, por lo que penetran el aparato respiratorio, depositándose en los alvéolos pulmonares donde ingresan al torrente sanguíneo. Pero además de ser más agresivas para la salud, su tamaño hace que también sean más livianas y por eso generalmente permanecen por más tiempo en el aire. Ello no sólo prolonga sus efectos, sino que facilita el que sean transportadas a grandes distancias y formen parte de la contaminación de distintos lugares.

1.2. Fuentes de emisión de MP2,5

Las principales fuentes de emisión de material particulado corresponden al producto de fenómenos naturales conocidos como fuentes naturales o biogénicas y las que provienen del desarrollo de actividades humanas, denominadas fuentes artificiales o antropogénicas.

El MP2,5 esta formado por diferentes compuestos químicos, los cuales son trazadores que permiten establecer el origen de este. Es así como por ejemplo la presencia en las partículas de elementos como el Fe, Si, Ca y Al indican un origen natural con su fuente en polvo del suelo, mientras que la presencia de Ni, Cu, V, As, Pb, Br, entre otros, indican un origen antrópico (Préndez et al., 1984; Préndez y Ortiz, 1989) y la presencia de biopolímeros y potasio corresponden a marcadores que se han utilizado con mayor amplitud como trazadores de la combustión de biomasa en el particulado atmosférico. Los biopolímeros más utilizados corresponden a los esteroides, el levoglucosano y otros (Simoneit et al., 1999; Elias et al., 1999; Simoneit et al., 2003).

Tabla 1. Fuentes de Contaminantes y Especies trazadoras de MP2,5

Fuente de Contaminación	Especies Trazadoras
Vehículos motorizados	Pb, Br
Polvo Natural (Suelo)	Si, Al, Fe, Ca
Procesos Pirometalúrgicos	Cu, As, Mo, S
Combustión de Petróleo	Ni, V
Quema de Biomasa	K, CO, Biopolímeros
Aerosoles Marinos	S, Cl, Na

1.3. Efectos en la salud del Material Particulado

La exposición a partículas puede ocasionar una gran variedad de efectos nocivos para la salud. El impacto de la contaminación atmosférica es amplio. En los seres humanos, la deposición pulmonar y la absorción de productos químicos inhalados pueden tener consecuencias directas.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos de Norte America ha identificado un número de elementos de la fracción fina como manganeso (Mn), arsénico (As), plomo (Pb) y material particulado del diesel que afectan la salud de la población urbana (EPA 1995). Por eso es importante entender la composición y aporte porcentual de las fuentes que contribuyen a la contaminación.

La acumulación de estos elementos puede producir los siguientes trastornos a la salud de la población:

- Aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar
- Muertes prematuras
- Síntomas respiratorios severos
- Irritación de ojos y nariz
- Silicosis
- Asbestosis
- Agrava el asma y las enfermedades cardiovasculares

Los sectores más sensibles de la población son los niños, los ancianos y los enfermos de asma y de enfermedades obstructivas pulmonares crónicas (Hester y

Harrison, 1998; Aranda C., 1998 Belmar R. et al, 1982). En ellos los efectos del MP2,5 se manifiestan en forma temprana, por lo que se hacen necesarias medidas más inmediatas de prevención y descontaminación.

1.4. Chile y la contaminación atmosférica

La peligrosidad de las fuentes de contaminación atmosférica existentes en Chile fue detectada muy tempranamente, ya en 1916 se promulgó la Ley 3.133 para el control de las emisiones industriales.

En la década de los 60, el Ministerio de Salud, con apoyo de la Organización Panamericana de la Salud, instaló y operó monitores de Acidez y Suciedad Atmosféricas, los que mostraron de inmediato niveles por sobre lo normal. A fines de la década siguiente, se instalaron redes basadas en métodos de medición EPA en Santiago, Valparaíso y Concepción. Sus resultados llevaron a adoptar los estándares de Calidad de Aire Federales de USA, así como a gestionar los primeros inventarios de emisiones atmosféricas y diagnósticos de calidad del aire.

Sin embargo los estudios y las normativas originalmente fueron desarrollados sobre la base de la medición de concentración total de material particulado suspendido en el aire (PTS), es decir, sin distinción de tamaño. Actualmente se consideran solamente aquellas partículas susceptibles de ingresar al sistema respiratorio.

A mediados de los años veinte, en el siglo pasado, se inició en Chile un importante proceso de migración de los habitantes desde zonas rurales hacia las urbes, buscando mejores condiciones de vida. Hoy, Chile es uno de los países más industrializados y urbanizados de América del Sur, con más de trece millones de chilenos que viven en zonas urbanas, es decir casi el 87% de la población del país.

Esto ha ocasionado graves problemas de contaminación atmosférica (Kavouras et al. 2001).

En las grandes ciudades de Chile como: Iquique, Calama, Viña del Mar, Valparaíso, Santiago, Rancagua y Temuco; la contaminación del aire se debe principalmente a los escapes de gases de los motores de combustión interna, a procesos industriales y aparatos domésticos de calefacción. Cada ciudad posee características y actividades propias que se relacionan con el tipo de recursos que poseen.

La actual norma de calidad del aire para MP10 no discrimina entre las sustancias más agresivas y aquellas menos dañinas que forman parte del material particulado grueso. Por lo anterior es necesario que el MP2,5 posea su propia norma, para lo cual la CONAMA ya se encuentra realizando los estudios necesarios para definir la norma correspondiente a este contaminante.

1.5. Hipótesis

El Material Particulado atmosférico de diámetro inferior a $2,5\mu\text{m}$ en las ciudades más pobladas de Chile, esta relacionado según su contenido y proporción relativa de elementos trazas con el tipo de fuente contaminante, dependiendo de las actividades y características propias de cada ciudad.

1.6. Objetivo general

Analizar y caracterizar el contenido del Material Particulado $2,5\mu\text{m}$ en función de sus respectivas fuentes, en diferentes ciudades de Chile: Iquique, Calama, Tocopilla, Viña del Mar, Valparaíso, Santiago, Rancagua y Temuco (ver Figura 1).

1.6.1. Objetivos específicos

- Caracterización de cada una de las ciudades en estudio
- Caracterización de las principales fuentes de emisión de MP_{2,5} de las ciudades
- Con el programa S-Plus establecer correlaciones entre elementos de MP_{2,5} como: Br/Pb, Al/Si, Ca/Si, K/Fe, Fe/Si, Ni/V, P/S, Cu/As para estimar las posibles fuentes (transporte, industrias y polvo natural)
- Estimar el aporte de sulfatos marinos y no-marinos en ciudades costeras
- Estimar la quema de biomasa según el aporte de potasio al MP_{2,5}
- Con los elementos trazas establecer balances de masa para el MP_{2,5}
- Establecer las diferencias mas relevantes del MP_{2,5} entre ciudades de Chile

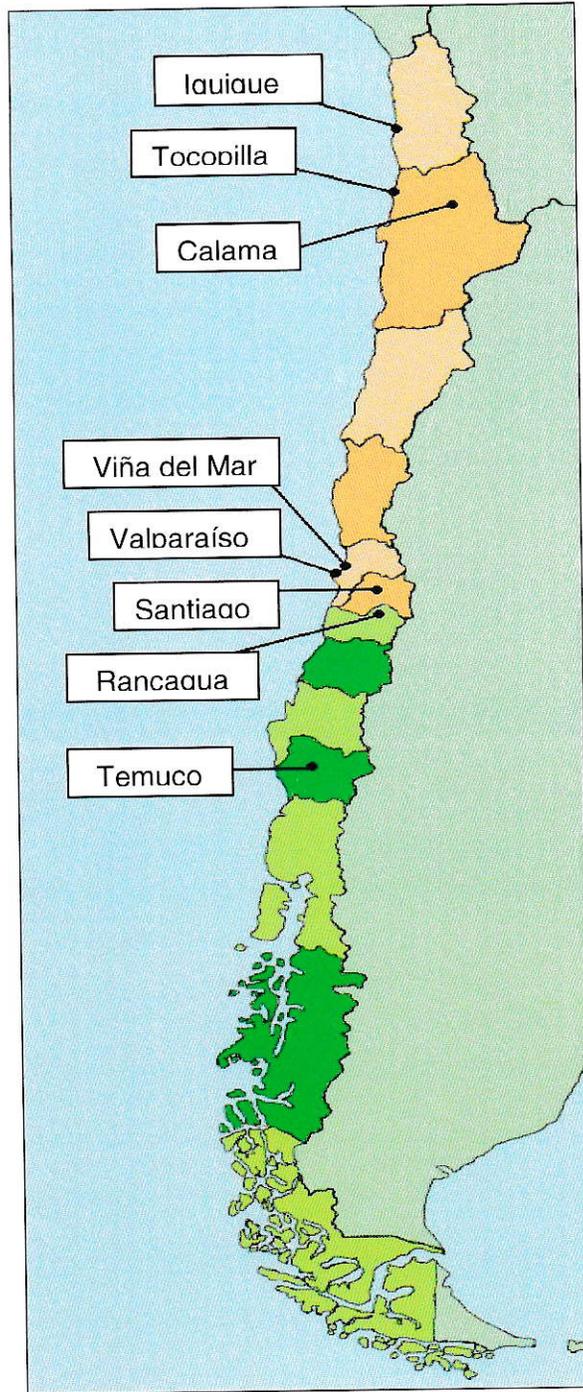


Figura 1. Mapa de Chile con las ciudades en estudio

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Correlaciones

2.1.1. Bromo y Plomo en emisiones vehiculares

Los vehículos con convertidor catalítico requieren gasolina sin plomo, lo que ha ido dominando el consumo en Chile desde los años 90.

El plomo es un metal gris azulado natural que se encuentra en cantidades pequeñas en la corteza de la Tierra. No tiene ningún sabor u olor especial, y se puede encontrar en todas partes en nuestro ambiente. La mayor parte proviene de actividades humanas como minería, fabricación y quema de combustibles fósiles. La principal vía de exposición al plomo es la ocupacional por inhalación de polvo y vapores portadores de plomo, siendo las principales fuentes de exposición las fábricas de baterías, las fundiciones de plomo, el desguace de los buques, las fábricas de pinturas, los talleres, la actividad de soldadores y las estaciones gasolineras que expenden gasolina plomada.

Es importante destacar que a fines de marzo de 2001, la Empresa Nacional del Petróleo (Enap) eliminó el plomo de la gasolina.

En individuos no expuestos ocupacionalmente a plomo, la principal fuente de contaminación ha sido las emanaciones de vehículos, productos de la combustión de gasolina que contiene tetraetilo de plomo como antidetonante. Otras fuentes de contaminación atmosférica son los humos provenientes de fundiciones de plomo, combustión de desechos sólidos, aceites, carbón, emisiones debido a la producción de hierro y acero.

El Bromo posee variados usos, sin embargo su mayor empleo (80% del consumo de Bromo) es la obtención del 1,2-dibromoetano ($\text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$), que se adiciona a la gasolina para evitar que los óxidos de Plomo se depositen en los tubos de escape (Física Category, 2007), pues reacciona con el Plomo para formar la especie PbBr_2 , volátil que sale al aire y provoca graves problemas de salud.

El Plomo y Bromo se expulsan por el tubo de escape con el resto de los gases producidos en la combustión. Las partículas grandes precipitan en el suelo o en la superficie de las aguas, las partículas más pequeñas viajarán grandes distancias a través del aire y permanecerán en la atmosfera.

Por lo tanto, los aportes de emisiones de vehículos, consisten en la emisión indirecta por los tubos de escape de los mismos, las emisiones evaporativas provenientes de las fugas del combustible que ocurren cuando está operando el motor, y de las emisiones del tanque de combustible del vehículo por aumento de la temperatura ambiente.

2.1.2. Elementos de la Corteza Terrestre

El silicio constituye un 28% de la corteza terrestre. No existe en estado libre, sino que se encuentra en forma de dióxido de silicio y de silicatos complejos. Los minerales que contienen silicio constituyen cerca del 40% de todos los minerales comunes, incluyendo más del 90% de los minerales que forman rocas volcánicas. El dióxido de silicio es el componente principal de la arena. Los silicatos (en concreto los de aluminio, calcio y magnesio) son los componentes principales de las arcillas, el suelo y las rocas (Honorato R., 2000).

El aluminio es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales. En estado natural se encuentra en muchos silicatos (feldespatos, plagioclasas y micas).

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% y, entre los metales, sólo el aluminio es más abundante. Igualmente es uno de los elementos más importantes del Universo y el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel.

En este análisis los elementos Al, Si, Ca y Fe fueron utilizados como trazadores del polvo natural, ya que estos elementos abundan en la corteza terrestre.

2.1.3. Industrias

Una de las principales fuentes de MP_{2,5} corresponde a actividades industriales como: plantas termoeléctricas, calderas, hornos, fundiciones, procesos metalúrgicos, entre otros.

Las fundiciones de cobre en Chile están ubicadas cerca de centros poblacionales, en zonas netamente agrícolas y en zonas desérticas. Los yacimientos de cobre, poseen en mayor o menor grado especies minerales portadoras de elementos contaminantes tales como el azufre, arsénico, antimonio, bismuto y otras trazas. Por esta razón el Cu y As, fueron utilizados para identificar principalmente emisiones de fundiciones de Cobre.

En ciudades costeras con actividades portuarias, el Níquel y Vanadio se correlacionan principalmente con la utilización de acero-níquel versus vanadio en la cubierta de los barcos ya que aumentan la resistencia a la corrosión, su límite de

elasticidad y alargamiento (Marsolan, S., Revista de Obras Publicas). También la relación Ni/V es utilizada para la identificación de la combustión de Petróleo y Petcoke, además del refinamiento de aceite. Esto, debido a que el petróleo es una mezcla de hidrocarburos formada a partir de fuentes no biológicas localizada profundamente en el manto terrestre, que contiene juntamente trazas de compuestos metálicos, tales como el sodio (Na), hierro (Fe), níquel (Ni), vanadio (V), plomo (Pb), potasio (K), etc.

2.2. Azufre

Una alta proporción de la masa total del MP2,5 está formada por aerosoles secundarios. Estos son compuestos que no se emiten directamente a la atmosfera, si no que se producen fundamentalmente por reacciones químicas de sustancias precursoras como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y amoníaco (NH_3). Ellos son en su mayor parte sulfatos y nitratos que se forman a partir de SO_2 y NO_x . Los sulfatos corresponden al 19% de la composición del MP2,5 (CONAMA RM-SESMA-CENMA-Universidad de Chile, 1998).

El azufre es un elemento muy abundante en la corteza terrestre, se encuentra en grandes cantidades combinado en forma de sulfuros y de sulfatos. Las fuentes emisoras donde participa el azufre pueden ser variadas tanto naturales; como la descomposición de la materia vegetal o el efecto de los volcanes, y antropogénicas; como las centrales térmicas, consumo de derivados del petróleo, craqueo del petróleo, la siderurgia, pirometalúrgica, obtención de gas natural, contenido en materiales de construcción, etc.

2.3. Quema de Biomasa

El origen de las partículas y de los compuestos químicos a ellas asociados es mayoritariamente antropogénico, estando vinculado a la quema de combustibles fósiles y de biomasa entre otras actividades humanas (Pinto, 1999; Lipmann, 2003; Lemieux, 2004; Takeshi, 2004; Cançado, 2006).

La combustión de Biomasa se refiere principalmente a la quema de materia orgánica de origen animal o vegetal. Las principales fuentes son: residuos agrícolas o forestales, y residuos sólidos urbanos.

La quema agrícola es una fuente significativa de emisiones gaseosas y de partículas que contaminan la atmósfera. Sin embargo, no ha recibido la misma atención que las procedentes de fuentes fijas y estacionarias clásicas (Scarborough et al., 2002), pese a que sus tasas de emisión son mayores que las de fuentes de combustión controladas (Lemieux, 2004).

Una vez liberado a la atmósfera, el particulado de la quema de biomasa (y en ciertos casos también del suelo), se mezcla con el procedente de otras fuentes antropogénicas y naturales, siendo difícil reconocer y cuantificar las fuentes de emisión de cada contaminante.

Los biopolímeros (esteroles y levoglucosano) y el K están altamente relacionados con la quema de biomasa, en especial madera y quemas agrícolas. El K se utilizara en este seminario de titulo como trazador de quema de biomasa.

2.4. Análisis Gravimétrico

2.4.1. PIXE

El método PIXE (Particle Induced X-Ray Emisión) es una técnica que ha sido de gran utilidad como método de análisis elemental (Artaxo et al., 1990).

Cuando un haz de partículas provenientes del acelerador incide sobre una muestra se produce, entre otros tipos de fenómenos, la excitación de los átomos de ella, acompañado por la emisión de radiación-X característica de los elementos presentes. El resultado de tal análisis es un espectro de cuentas, repartidas en un cierto número de canales, en función de la energía del fotón X de que se trate. Esta energía corresponde a la energía característica de emisión de algún átomo presente en la muestra. Las áreas de estos peaks son proporcionales a la concentración en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de determinado elemento químico presente.

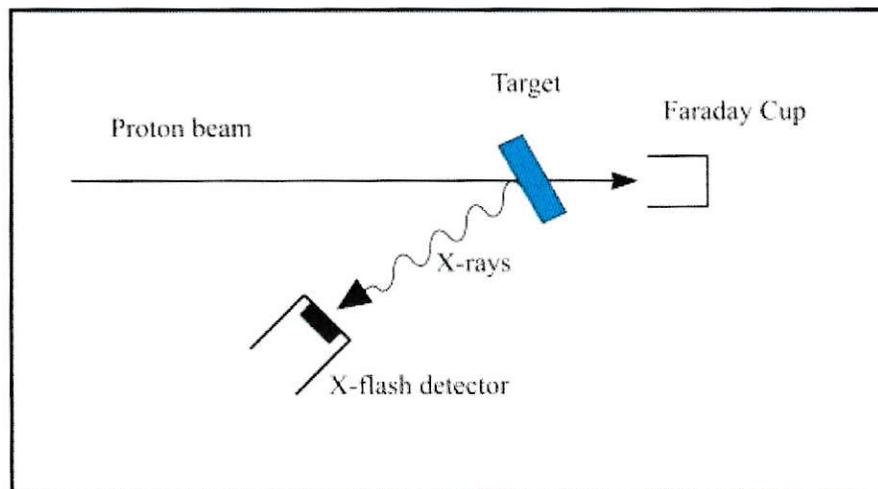


Figura 2. Fundamento método PIXE

2.4.2. FRX

La Fluorescencia de Rayos X, es una técnica analítica multielemental complementaria al análisis por activación neutrónica. Consiste en irradiar la muestra con radiación gamma o X, provocando la expulsión de un electrón interno de los átomos presentes en la matriz. El electrón expulsado es sustituido por otro, de una capa superior y este proceso genera la emisión de fotones de rayos X característicos de cada elemento presente. Esta técnica permite determinar desde el sodio ($Z=11$) hasta el U ($Z=92$), en concentraciones cuyo orden magnitud puede variar desde las ppb (partes por billón o microgramos por kilo) hasta partes por ciento.

Esta técnica analítica se aplica a diferentes muestras sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, tales como minerales, fragmentos de cerámica, arcillas, sedimentos, huesos, textiles, líquidos, etc.

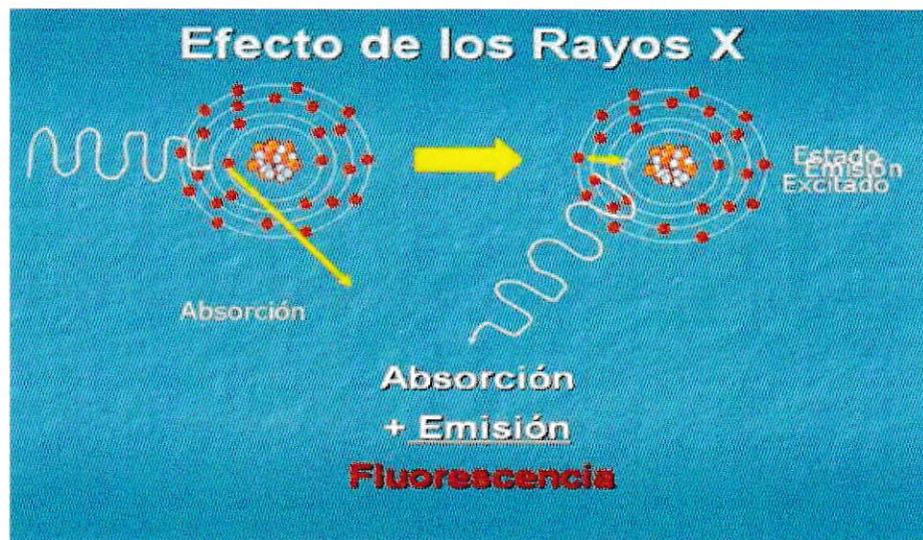


Figura 3. Fundamento método FRX

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

Los monitoreos de calidad del aire en Chile vienen siendo cada vez más frecuentes, con el fin de estimar las posibles fuentes de contaminación atmosférica y así establecer medidas efectivas para su control. Las concentraciones de los diferentes elementos utilizados para el desarrollo de este seminario provienen de diferentes estudios y publicaciones de monitoreo de calidad del aire, en las siguientes ciudades: Iquique, Calama, Tocopilla, Viña del Mar, Valparaíso, Santiago, Rancagua y Temuco. A continuación se describen las respectivas campañas de monitoreo para cada una de las ciudades en estudio, incluyendo toma de muestras y ubicación de sitios de monitoreos, la información empleada corresponde a la concentración de especies que componen el MP2,5, expresada en ng/m^3 .

- Monitoreo realizado en la ciudad de Santiago por el Profesor Paulo Artaxo para CONAMA-RM, campaña del año 1996, 1998 y 1999

Tabla 2. Sitios de monitoreo Ciudad de Santiago años 1996, 1998 y 1999

Sitios de monitoreo	Santiago año 1996	Santiago año 1998	Santiago año 1999
1	Gotuzzo		
2		O'Higgins	O'Higgins
3	Las Condes	Las Condes	Las Condes
4	Buin		
5		Pudahuel	
6		Peldehue	
7		Talagante	

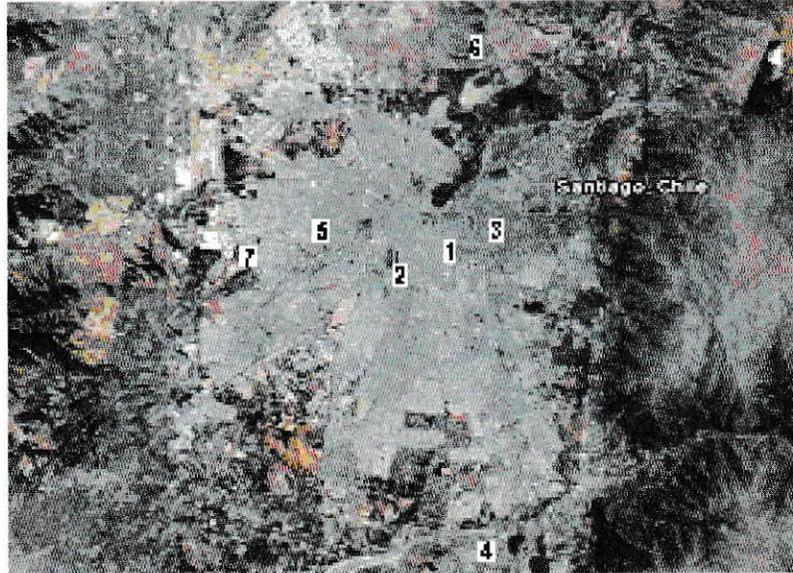


Figura 4. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo en la Ciudad de Santiago año 1996, 1998 y 1999

Las partículas finas y gruesas del aerosol fueron muestreadas con SFU usando filtros nucleoporos, el flujo fue de 17 l/min. Para recolectar las muestras segregadas del aerosol se utilizó un impactador de cascada MOUDI (Multi-Orifice Uniform Deposit Impactor). El análisis gravimétrico del modo fino y grueso fue realizado con el sistema SFU, que permite obtener la concentración total para material particulado fino. La Emisión de rayos-X inducidos por Partículas (PIXE), fue utilizada para la medida de 15 elementos trazas, en MP2,5 (Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Fe, Ni, Cu, As, Br y Pb). La irradiación fue realizada en el LAMFI - por Feixes Iónicas de Laboratório de Análise de Materiais del instituto de la física, Universidad de São Paulo.

- Ciudad de Santiago año 2004

Los datos correspondientes al material particulado de la fracción fina, fueron obtenidos de la Autoridad Sanitaria de la Región Metropolitana y corresponden a las muestras de los filtros de las estaciones de monitoreo ubicadas en los sectores de La Paz y Las Condes durante el año 2004. Los filtros fueron analizados gravimétricamente y posteriormente se obtuvo su caracterización elemental mediante la técnica FRX (Fluorescencia de rayos X). Este procedimiento fue realizado por el Desert Research Institute (DRI, www.dri.edu), Reno, NV. El mismo laboratorio también proporcionó las incertidumbres experimentales asociadas a las mediciones de cada elemento.

Finalmente, 14 son los elementos considerados para el estudio del MP2,5; Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Br y Pb. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3

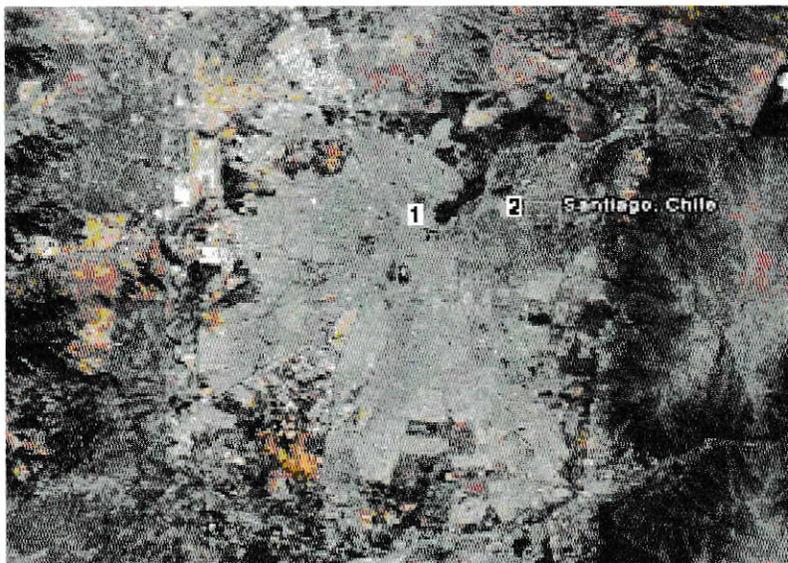


Figura 5. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo en la Ciudad de Santiago año 2004

- Monitoreo realizado por Kavouras, Koutrakis, Cereceda-Balic y Oyola, en las ciudades de Iquique, Viña del Mar, Valparaíso, Rancagua y Temuco el año 1998. Source Apportionment of PM10 and PM2.5 in Five Chilean Cities, Using Factor Analysis

Las especies fueron detectadas en las muestras del aerosol usando FRX (Fluorescencia de rayos X) y dichas muestras fueron recogidas usando un impactador de Harvard. Para la medición de las masas de MP2,5 se utilizó análisis gravimétrico. Los respectivos datos entregados por el análisis gravimétrico, se expresan en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 25 filtros. El análisis elemental (FRX) fue realizado por el Desert Research Institute (DRI, www.dri.edu), Reno, NV.

Las Figuras 5, 6, 7, 8 y 9 que se muestra a continuación contienen la ubicación de la estación de monitoreo, para cada ciudad de este monitoreo.

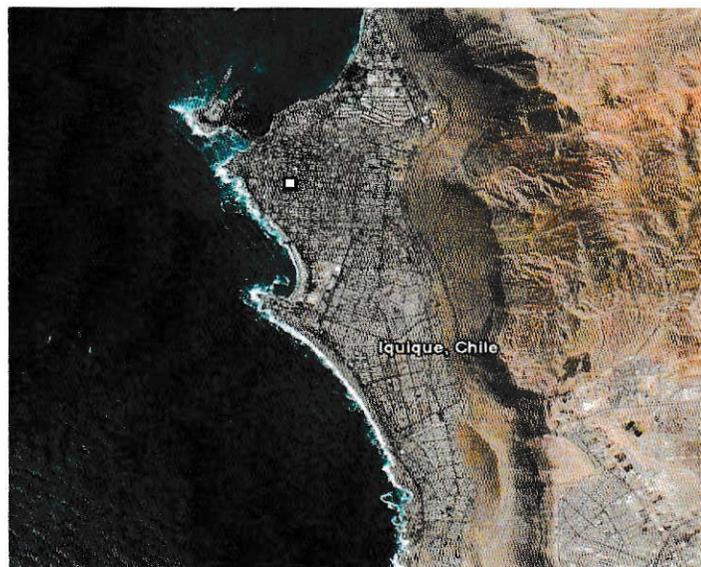


Figura 6. Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Iquique



Figura 7. Ubicación del sitio monitoreo en la Ciudad de Viña del Mar

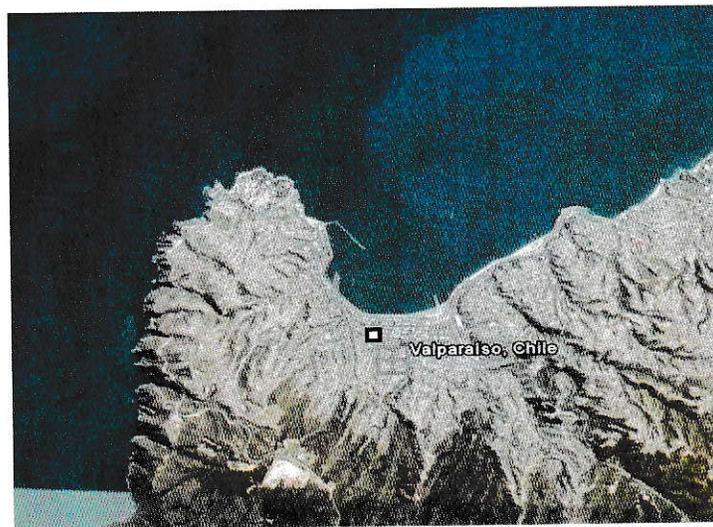


Figura 8. Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Valparaíso



Figura 9. Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Rancagua



Figura 10. Ubicación del sitio de Monitoreo en la Ciudad de Temuco

➤ Datos de Monitoreo realizado en la ciudad de Tocopilla, año 2006

El monitoreo se realizó entre el 13 de Marzo y el 17 de Abril de 2006, se midieron 16 elementos (Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Br y Pb), en la fracción de MP2,5. Las muestras fueron monitoreadas en tres sitios, cerca del Hospital (sitio 1), en lugar de acopio de fertilizantes (sitio 2) y en el sector sur de la ciudad cerca de las termoelectricas Electroandina y Norgener (sitio 3). Se utilizaron filtros de Teflón-membrana de 47mm de diámetro (Gelman, Ann Arbor, MI) con tamaño de poro de 2 μm para MP2,5 y para el análisis elemental. Los filtros fueron almacenados a $25\pm 2^\circ\text{C}$.

Los elementos se caracterizaron mediante la técnica FRX (Fluorescencia de rayos X). Las muestras fueron recogidas usando impactadores de Harvard con un flujo de 10 l/min. Los datos se expresan en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 104 filtros.

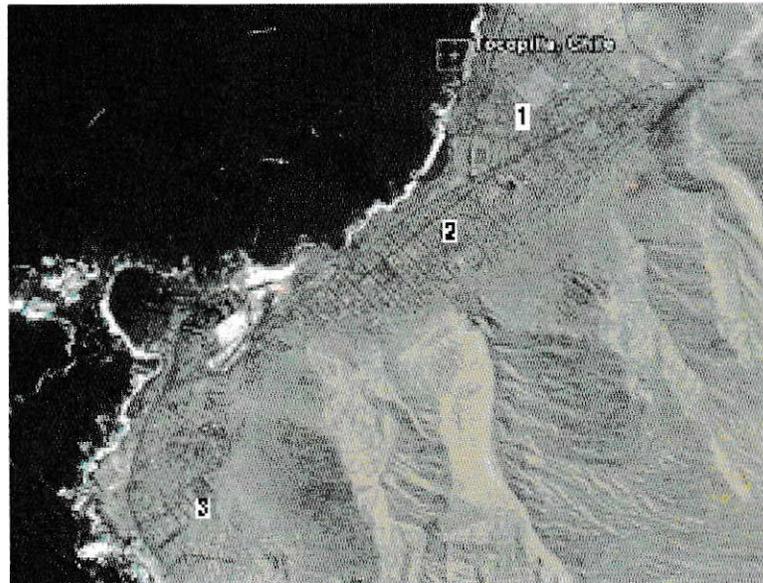


Figura 11. Ubicación de los sitios de Monitoreo en la Ciudad de Tocopilla

➤ Datos de Monitoreo realizado en la ciudad de Calama, año 2007

El monitoreo se realizó entre el 13 de Octubre y el 31 de Diciembre de 2007. La medición del MP2,5, fue recolectada con impactadores de Harvard conectados a Red eléctrica. Las muestras se recolectaron en 5 sitios: Universidad del Mar (sitio 1), Liceo A-25 (sitio 2), Escuela Chuquicamata (sitio 3), Centro de Capacitación y Recreación (sitio 4), Estación San José, Codelco Norte (sitio 5).

El envío por parte del DRI (laboratorio de EEUU) de los filtros de cuarzo tratados, se utilizó para la medición del Carbono Orgánico y Elemental. Las muestras del aerosol fueron determinadas usando FRX (Fluorescencia de rayos X). Se utilizaron equipos con protocolo EPA, para MP2,5 USEPA RFP50498-118. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 53 filtros.

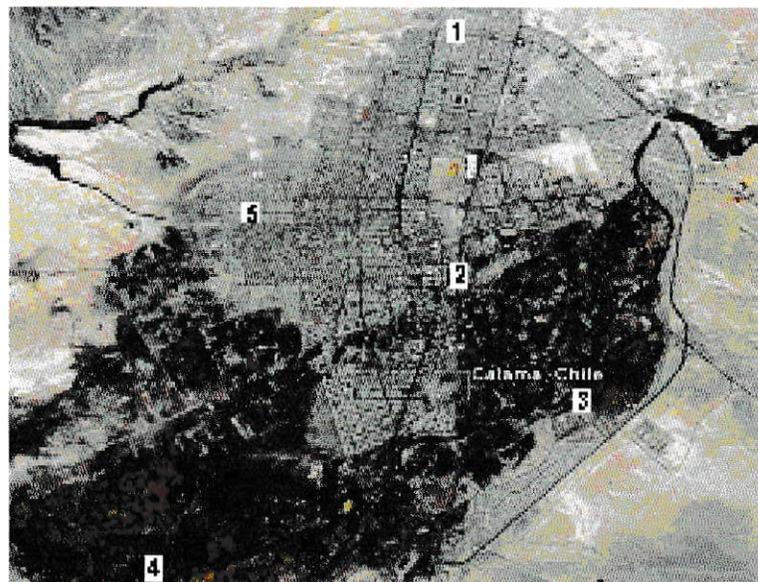


Figura 12. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo en la Ciudad de Calama

- Otros Materiales no menos importantes son los siguientes:
 - Software estadístico computacional, el S-Plus, V.6.2.
 - Guía de Calidad de Aire para Europa (Air Quality Guidelines for Europe)
 - Microsoft Office Excel

3.2. Método

Se comparó las ciudades medidas con igual método, en este caso la técnica FRX fue empleada en: Iquique, Tocopilla, Calama, Viña del Mar, Valparaíso, Santiago año 2004, Rancagua, Temuco. El método PIXE se utilizó en la ciudad de Santiago para los años 1996, 1998 y 1999.

La mayoría de los estudios de monitoreo se encontraban en formato en papel, por lo que se procedió a digitalizar cada valor; además en las ciudades de Iquique, Viña del Mar, Valparaíso, Rancagua y Temuco, se tenían pocas muestras disponibles para el análisis, sólo el reporte de 26 filtros que correspondían a un informe de avance del proyecto respectivo.

3.2.1. Preparación de datos

Para la creación de la base de datos hay que asignar valores a datos medidos bajo límites de detección, codificar valores perdidos, incluir incertidumbre analítica de las mediciones, etc. Para encontrar una combinación lineal entre elementos es necesario tener en cuenta que las concentraciones son positivas.

Antes de utilizar el S-Plus V.6.2, es necesario preparar los datos de manera apropiada. Los valores bajo el límite de detección o iguales a cero "0" se remplazan por DL/2; los valores nulos, no se utilizan en el análisis, codificándose como 'NA' en ambiente S-Plus.

3.2.2. Creación de la base de datos requerida

Es importante determinar un promedio, del aporte total que genera cada especie química, de esta forma se eliminan algunas especies que en su totalidad no tienen demasiada relevancia. Hay que considerar que puede haber especies químicas que en la generalidad de la respectiva campaña no tengan un aporte relevante, pero si en un día determinado, los cuales deben ser incluidos.

La base de datos se graba en archivo Excel para posteriormente ser ingresada al software S-Plus.

3.2.3. Trabajo estadístico de los datos

Las concentraciones de los diferentes elementos a relacionar se ingresaron al programa S-Plus, donde se obtuvo el gráfico de dispersión correspondiente y un reporte especificando los parámetros obtenidos.

Para la determinación de Aerosoles, Quema de Biomasa y Balance de Masa de los filtros del MP2,5 se utilizó el programa Excel.

3.2.4. Análisis de MP2,5

Para el análisis de MP2,5 se realizaron varias etapas, primeramente se caracterizaron cada una de las ciudades en estudio, luego se trabajó con los reportes de los filtros correspondientes.

3.2.4.1. Correlaciones

Se correlacionaron elementos con el programa S-Plus, para estimar el aporte de fuentes vehiculares, naturales e industriales. Se trabajó con un valor de referencia para la correlación Br/Pb ($0,33 \pm 0,06$), Al/Si ($0,38 \pm 0,18$), Ca/Si ($0,64 \pm 0,07$) y Ni/V ($0,38 \pm 0,03$) (Kavouras et al., 2001). A partir de estas correlaciones se establecieron similitudes y diferencias de las estimaciones de fuentes de MP2,5 entre ciudades.

3.2.4.2. Sulfatos marinos y no marinos

Para obtener las concentraciones de sulfatos marinos se usó la siguiente ecuación (Lee et al., 2002):

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{nss}} = [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{total}} - 0,2517 [\text{Na}^+]$$

(no marino)

El sulfato no marino fue identificado utilizando la concentración de Cloro (NaCl). La concentración de sulfato fue obtenida sabiendo que la concentración de azufre corresponde a la tercera parte de la concentración de sulfato.

3.2.4.3. Quema de Biomasa

Como el potasio total proviene mayoritariamente de la quema de biomasa y en menor medida del polvo del suelo, se procede a estimar la segunda fuente. Para estimar el K del suelo, se grafica Fe versus K atribuible al aporte del polvo superficial (Hedberg et al., 2005). Con el valor de la pendiente (m), se obtiene el Potasio no asociado a suelos, o sea, atribuible a quema de biomasa.

Las estimaciones se calcularón según las siguientes ecuaciones (Hedberg et al., 2005):

$$K_{ns} = K - (m * Fe)$$

$$K_s = K - K_{ns}$$

Se estiman esos dos valores para todo el conjunto de puntos medidos; posteriormente se evalúan los promedios respectivos que son los que se presentan más adelante (Ver Figura 82).

3.2.4.4. Balance de Masa para MP2,5

El Balance de Masa del MP2,5 se estimó según la siguiente ecuación:

$$[MP2,5] = [EC] + [OC] + \text{Sulfatos} + \text{Nitratos} + \text{elementos naturales (óxidos)} + \\ \text{NaCl} + \text{elementos trazas}$$

Para esto se han hecho los siguientes supuestos:

- a) La masa de carbono orgánico se ha multiplicado por 1,4 para tomar en cuenta el oxígeno e hidrógeno no cuantificados en el método térmico (Sillampa et al., 2005). A este término se le denomina MPO (material particulado orgánico).
- b) El azufre se ha expresado como sulfato ya que se encuentra oxidado completamente. Además se asume que se encuentra neutralizado completamente con amoníaco y se encuentra hidratado, para lo cual la concentración de azufre elemental se multiplica por 5,34 (Harrison et al., 2003).
- c) El sodio que entrega el análisis FRX está en exceso estequiométrico con respecto al cloro (subestimado), por lo que se asume que se trata de nitrato de sodio hidratado, con lo cual se multiplica el sodio 'disponible' por el factor estequiométrico $1,29 \cdot (85/23)$.
- d) La masa de los elementos de corteza terrestre (Al, Si, Ca, Ti, Fe, etc.) más abundantes se ha corregido para considerar el oxígeno en los respectivos óxidos, de acuerdo a la expresión (Andrews et al., 2000):

$$[\text{Suelo}] \approx \text{Suma de Óxidos} = 2,14[\text{Si}] + 1,89[\text{Al}] + 1,43[\text{Fe}] + 1,67[\text{Ti}] + 1,4[\text{Ca}] + 1,2[\text{K}]$$

- e) El cloro se expresa como NaCl, multiplicándolo por 1,65.

- f) Los metales traza (Cu, As, Zn) se han sumado sin factores de corrección, ya que no se conoce con exactitud que tipo de minerales explican su presencia. Esto produce una subestimación de masa que no es posible de cuantificar.

4. RESULTADOS

El muestreo y análisis de cada ciudad se realizó por método PIXE ó FRX, la mayoría corresponde a FRX, con los cuales se realizaron los cálculos y análisis de manera de tener resultados comparativos entre ciudades. Hay que considerar que ambos métodos determinan un número mayor de elementos que los finalmente usados en el análisis.

4.1. Caracterización de las Ciudades en Estudio

Para poder entender mejor los aportes de contaminantes al MP2,5 es importante realizar una caracterización de las diferentes ciudades en estudio, identificando las posibles fuentes de material particulado.

4.1.1. Ciudad de Iquique

Iquique está situado en el norte de Chile, cerca del océano Pacífico y al oeste del desierto de Atacama. La población de esta ciudad según el censo del 2002 corresponde aproximadamente a 164.396 habitantes. Iquique es un puerto importante que sirve como conexión para las ciudades y países vecinos. La zona es rica en recursos naturales como: nitratos, yodo, sal y guano. Las principales industrias incluyen pesca para conserva y harina, el refinamiento de azúcar y la fabricación de cemento. Respecto a la constitución geomorfológica, en la zona predominan roca y arena.

4.1.2. Ciudad de Tocopilla

Tocopilla es una localidad costera portuaria del Norte de Chile. La superficie total de la comuna es de 4.038,8 km². Según los datos del censo 2002 entregados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el total de habitantes de Tocopilla es de 23.986 habitantes. La población de Tocopilla presenta un 2,6% de población rural con 634 habitantes en esta área, tales como caletas pesqueras y asentamientos mineros. Un 97,4% de población representa la habitación de espacios urbano con 23.352 personas en esta área.

Corresponde a una zona muy árida debido a su ubicación en el desierto de Atacama. Las actividades antropogénicas en Tocopilla son relativas a la minería especialmente del cobre, además de industrias metalúrgicas, químicas y de tratamiento de nitrato, posee también dos generadoras eléctricas (Electroandina y Norgener). En el puerto de Tocopilla se realiza la distribución de fertilizantes que contienen principalmente potasio y sulfato.

Actualmente la comuna es oficialmente una zona saturada de contaminación y se espera un Plan de Descontaminación.

4.1.3. Ciudad de Calama

La ciudad de Calama se encuentra ubicada a 213 Km. de Antofagasta, en la II Región, a una altitud de 2.250 metros sobre el nivel del mar. La población de la ciudad es aproximadamente 126.135 habitantes.

La ciudad posee un clima desértico templado con alta radiación solar incidente, que induce vientos intensos entre el mediodía y la tarde, los cuales levantan polvo superficial.

Como capital minera de Chile, el pilar económico de la ciudad está en la minería. Calama es la ciudad que abastece de servicios a los yacimientos cupríferos: Chuquicamata, Mina Sur, Mansa Mina, Gaby, Radomiro Tomic, Spence y El Abra. También son importantes las diversas industrias y los talleres metalmecánicos que sirven a la minería de azufre y bórax de la frontera, así como a la minería de nitratos del Salar de Atacama. Por la abundancia de grandes yacimientos, Calama es la comuna que más recursos genera a partir de la minería del cobre, que también es el pilar económico nacional. De hecho, de las 15 comunas productoras de cobre del país, Calama produce el 22,2% del total nacional, superando al resto de las comunas cupríferas.

4.1.4. Ciudad de Viña del Mar

Viña del Mar es ciudad costera ubicada al norte de Valparaíso, sus coordenadas: 33° 0' Este 71° 31' Oeste. La población de Viña del Mar abarca 1.000.000 habitantes aproximadamente.

El clima es de tipo mediterráneo, con lluvias restringidas exclusivamente a la estación del invierno. La proximidad al mar hace que las temperaturas sean reguladas por las corrientes del océano durante los meses del verano y del invierno (octubre a marzo y abril a septiembre respectivamente) con las temperaturas extendiéndose entre 10 y 22 °C.

La ciudad de Viña del Mar es una de las comunidades principales del centro turístico del país y uno de los balnearios más importantes de América del Sur. Al norte de la ciudad se ubican unidades industriales importantes, tales como una refinería de petróleo, una refinería de Cobre y varias centrales termoeléctricas, las que componen las principales actividades.

4.1.5. Ciudad de Valparaíso

Valparaíso es una ciudad del litoral central, ubicada en el borde costero al sur de la ciudad de Viña del Mar. Sus coordenadas corresponden a 33° 02' Latitud Sur y 71° 37' Longitud Oeste. Valparaíso es una de las ciudades más grandes de Chile con 1.275.000 habitantes.

En enero las temperaturas mínimas oscilan entre los 13°C y los 18°C; mientras que en julio varían entre los 6°C y los 14°C. Las precipitaciones caen sobre todo en otoño e invierno, siendo el mes más lluvioso Julio (107 mm); el total anual promedio de precipitaciones es de 480mm.

Valparaíso es un puerto importante dentro del país y América del Sur. Su actividad industrial es variada y se basa en la manufactura, incluyendo alimento procesado, materias textiles, pintura, productos químicos y productos de metal. El sector minero cobre que está representada por el yacimiento subterráneo de Andina. También hay producción de oro, plata, molibdeno, zinc y plomo. La minería no metálica está representada por la extracción de carbonato de calcio y calizas, que dan origen a la industria de cemento de La Calera y al total de la producción nacional de talcos y feldespatos. Los suelos de esta región son favorables para la agricultura, el 30% de la producción agrícola se destina a la agroindustria y el 70% al consumo fresco.

4.1.6. Ciudad de Santiago

Santiago es la capital y principal núcleo urbano de Chile y corresponde a la capital de la Región Metropolitana de Santiago.

Santiago se encuentra aproximadamente en las coordenadas 33°26'16"S y 70°39'01"O, a una altitud media de 567 msnm. En el año 2002, la conurbación se extendía sobre 641,4 km² y tenía una población de 5.428.590 habitantes, lo que equivale a cerca del 35.9% de la población total del país. De acuerdo con dichas cifras, Santiago, además, es la séptima ciudad más habitada de América Latina, y una de las 45 áreas metropolitanas más grandes del mundo.

Un grave problema medioambiental que experimenta Santiago corresponde a la contaminación atmosférica existente. La topografía de la ciudad permite la acumulación de smog sobre la ciudad, lo que se ve agravado durante los meses invernales debido a diversos fenómenos físicos y meteorológicos como: la capa de inversión térmica (subsistencia), la vaguada costera (donde predominan episodios configuración tipo A y BPF) y la considerable reducción de la velocidad del aire circulante en la cuenca. Esto, sumado al frío propio de la temporada, produce un aumento considerable de las afecciones respiratorias, principalmente de infantes y adultos mayores, que han llegado incluso a colapsar el sistema de atención primaria de salud en diversos barrios de Santiago.

Esta contaminación posee diversos componentes químicos tóxicos, como las especies gaseosas SO₂, CO, O₃ y NO₂, sumado a los diversos tipos de material particulado en suspensión, producido en un 49% por fuentes móviles y un 29% por fuentes fijas (Evolución de la calidad del aire en Santiago, 1997/2004, SINIA). Los niveles de acumulación de estas sustancias son medidas por cinco estaciones de

monitoreo de calidad del aire instaladas desde 1988 y expandidas a ocho estaciones en 1997 y a diez en 2008.

4.1.7. Ciudad de Rancagua

La ciudad de Rancagua está situada a 120 kilómetros al sur de Santiago. Según el último censo de 2002 cuenta con una población de 214.344 habitantes.

El clima que se observa en Rancagua es "templado cálido con estación seca prolongada", es decir, un clima mediterráneo. Por lo tanto, las estaciones del año se presentan claramente marcadas, con veranos cálidos y secos e inviernos lluviosos, frescos y húmedos. Aunque hay precipitaciones durante todo el año, los meses donde se concentran las lluvias son mayo, junio, julio y agosto. En Rancagua se registra un promedio de 530 mm de lluvia anuales.

En el ámbito de la agricultura es el centro donde se reúnen la mayoría de los productos agrícolas de la región antes de ser exportados vía puertos de San Antonio o Valparaíso. Los grandes contrastes climáticos entre los faldeos de los Andes y los planos más cálidos del valle central favorecen la producción vitivinícola. Las vides ocupan alrededor del 80% de la superficie plantada.

La ciudad es un centro comercial, resultado de la explotación minera y de industrias agrícolas. Una de las refinerías de Cobre más grandes del mundo (El Teniente), está situada a 30 kilómetros al este de la ciudad a los pies de la Cordillera de Los Andes, actualmente explotada por Codelco Chile. Rancagua no se destaca por ser una urbe industrial, excepto en el rubro alimenticio. Existen algunos parques industriales, que bordean a la antigua Ruta Panamericana y la zona norte de la ciudad, pero no son tan importantes a nivel nacional.

4.1.8. Ciudad de Temuco

La ciudad de Temuco está situada a 670 kilómetros de sur de Santiago de Chile y 200 kilómetros al norte de la ciudad industrial de Valdivia. Su población abarca aproximadamente 210.000 habitantes.

Climáticamente, corresponde a la región mediterránea chilena de depresión intermedia, en transición a templado húmedo. A través del año se alternan las influencias anticiclónicas y ciclónicas, con un período seco estival corto si se lo compara con el de Santiago u otras ciudades intermedias. Su temperatura media anual es de 12°C, con máximas medias en el mes más cálido de 23,5°C y mínimas medias en el mes más frío de 1,9°C.

La ciudad de Temuco tiene un comercio muy relacionado a los servicios y el turismo, también son importantes las industrias manufactureras de productos de la madera, comercio y la venta de productos con las comunas cercanas.

Los servicios públicos y la agricultura abarcan las ocupaciones principales, y no la actividad industrial. Pese a ello, su buena calidad del aire se ha visto amenazada debido a una incipiente capa de contaminantes que ha llevado a declarar esta ciudad como zona saturada por material particulado, y que proviene mayoritariamente de humo de leña, el cual desaparece rápidamente cuando se produce el paso de sistemas frontales y precipitaciones que predominan en la zona.

4.2. Resultados del análisis de los filtros de MP2,5

Los reportes de los filtros para el MP2,5 se muestran a continuación para cada ciudad. Para el análisis estadístico de cada una de las ciudades en estudio se utilizó percentil 95, con el fin de eliminar las mediciones que se escapan de la normalidad de emisiones. Se determinó el promedio con su respectiva desviación estandar, el valor mínimo y el valor máximo.

4.2.1. Reporte de los filtros ciudad de Iquique

En la respectiva campaña de monitoreo en la ciudad de Iquique se contaba con solo una estación de monitoreo, por lo que los parámetros estadísticos se realizan para todo el conjunto de datos validados.

La Tabla 3, que se muestra a continuación contiene un resumen de los reportes de los filtros de monitoreo de la ciudad de Iquique (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para ser insertados en el programa S-Plus V.6. Las mediciones se expresan en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 26 filtros.

Tabla 3. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Iquique, año 1998.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	33 ± 20	5	83
Si	118 ± 64	45	337
P	5 ± 4	2	14
S	3.276 ± 1.534	975	6.333
Cl	72 ± 172	8	691
K	182 ± 87	58	373
Ca	214 ± 340	49	1.526
Ti	10 ± 18	2	76
V	7 ± 7	1	32
Fe	93 ± 80	27	416
Ni	2 ± 3	0	12
Cu	6 ± 2	3	11
As	5 ± 3	0	12
Br	33 ± 25	10	107
Pb	154 ± 53	86	279

4.2.2. Reporte de los filtros ciudad de Tocopilla

En la ciudad de Tocopilla tres fueron las estaciones donde se realizaron los respectivos muestreos para la campaña de monitoreo. Las Tablas 4, 5 y 6 que se muestran a continuación contiene un resumen del reporte de los filtros de la ciudad de Tocopilla en los tres sitios de monitoreo (Datos completos ver ANEXO I). La Tabla 7 contiene los parámetros estadísticos de las tres estaciones que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Las mediciones se expresan en unidades de concentración de ng/m³ y corresponden al reporte de 104 filtros.

Tabla 4. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 1.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	126 ± 42	54	245
Si	199 ± 63	63	360
S	3.200 ± 1.049	1.668	6.030
Cl	316 ± 420	4	1.760
K	132 ± 32	81	196
Ca	146 ± 41	66	230
Ti	9 ± 3	4	18
V	10 ± 8	1	40
Fe	141 ± 45	53	244
Ni	4 ± 3	0	15
Cu	15 ± 8	5	42
As	7 ± 8	0	37
Br	6 ± 3	1	12
Pb	7 ± 3	2	15
OC	2.512 ± 636	1.661	3.662
EC	1.740 ± 713	853	2.908

Tabla 5. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	108 ± 42	50	217
Si	174 ± 67	59	460
S	2.842 ± 922	1.502	6.407
Cl	328 ± 280	1	1.535
K	146 ± 47	75	298
Ca	105 ± 41	58	284
Ti	10 ± 17	2	108
V	9 ± 7	1	29

Fe	121 ± 42	42	260
Ni	3 ± 3	0	11
Cu	20 ± 13	3	76
As	6 ± 8	0	42
Br	6 ± 2	1	10
Pb	10 ± 8	0	39
OC	2.482 ± 672	1.689	4.122
EC	1.549 ± 670	700	3.024

Tabla 6. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 3.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	194 ± 88	79	494
Si	370 ± 187	99	1.003
S	2.921 ± 1.003	137	5.438
Cl	944 ± 972	16	3.005
K	125 ± 35	59	214
Ca	145 ± 53	74	291
Ti	13 ± 8	5	47
V	4 ± 2	0	11
Fe	246 ± 138	72	760
Ni	1 ± 1	0	3
Cu	75 ± 52	11	291
As	5 ± 7	0	28
Br	6 ± 2	1	13
Pb	6 ± 3	1	13
OC	1.924 ± 432	1.459	3.032
EC	587 ± 221	218	1.020

Tabla 7. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Tocopilla, año 2006, sitio 1, 2 y 3.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	143 ± 70	50	494
Si	248 ± 148	59	1.003
S	2.986 ± 994	137	6.407
Cl	531 ± 709	1	3.005
K	135 ± 40	59	298
Ca	132 ± 49	58	291
Ti	11 ± 11	2	108
V	8 ± 7	0	40
Fe	170 ± 103	42	760
Ni	3 ± 3	0	15
Cu	37 ± 41	3	291
As	6 ± 7	0	42
Br	6 ± 2	1	13
Pb	8 ± 5	0	39
OC	2.311 ± 637	1.459	4.122
EC	1.299 ± 760	218	3.024

4.2.3. Reporte de los filtros ciudad de Calama

En la ciudad de Calama fueron 5 los sitios de muestreo de MP2,5. Las Tablas 8, 9, 10, 11 y 12 que se muestran a continuación contiene un resumen del reporte de los filtros de la ciudad de Calama en los sitios de monitoreo respectivos, la Tabla 13 contiene los parámetros estadísticos de los 5 sitios que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6 (Datos completos ver ANEXO I). Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m³ y corresponden al reporte de 53 filtros.

Tabla 8. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 1.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	187 ± 84	33	329
Al	220 ± 181	85	686
Si	589 ± 472	236	1811
P	38 ± 15	20	64
S	1.117 ± 426	608	1.949
Cl	59 ± 39	21	136
K	120 ± 72	52	297
Ca	286 ± 122	131	576
Ti	12 ± 9	5	35
V	1 ± 1	0	2
Fe	195 ± 136	74	544
Ni	0 ± 0	0	1
Cu	13 ± 4	7	18
As	24 ± 15	9	56
Br	2 ± 1	1	4
Pb	20 ± 25	5	86
OC	2.516 ± 612	1.524	3.443
EC	1.271 ± 349	835	1.960

Tabla 9. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	139 ± 64	15	222
Al	139 ± 54	66	297
Si	390 ± 167	193	878
P	30 ± 12	18	54
S	886 ± 298	488	1.502
Cl	56 ± 20	31	107
K	96 ± 33	65	178
Ca	223 ± 97	130	439

Ti	9 ± 4	4	21
V	1 ± 1	0	2
Fe	136 ± 52	76	281
Ni	1 ± 0	0	2
Cu	10 ± 3	5	18
As	21 ± 13	1	52
Br	2 ± 1	1	4
Pb	10 ± 12	2	51
OC	2.951 ± 546	2.271	4.084
EC	1.625 ± 361	1.021	2.197

Tabla 10. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 3.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	130 ± 85	15	284
Al	157 ± 123	73	517
Si	425 ± 328	197	1.387
P	37 ± 20	15	84
S	1.042 ± 542	443	2.317
Cl	27 ± 17	10	60
K	87 ± 61	41	265
Ca	197 ± 171	87	702
Ti	9 ± 7	4	29
V	1 ± 1	0	3
Fe	135 ± 99	62	423
Ni	1 ± 0	0	1
Cu	5 ± 1	4	7
As	13 ± 8	2	32
Br	1 ± 1	1	3
Pb	5 ± 3	2	11
OC	1.885 ± 589	1.137	2.978
EC	481 ± 307	151	1.344

Tabla 11. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 4.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	104 ± 64	15	245
Al	74 ± 32	31	137
Si	191 ± 76	86	335
P	22 ± 17	3	70
S	704 ± 398	275	1.778
Cl	38 ± 34	4	115
K	46 ± 16	29	82
Ca	60 ± 25	24	115
Ti	5 ± 2	3	9
V	0 ± 0	0	1
Fe	73 ± 25	35	122
Ni	0 ± 0	0	0
Cu	6 ± 2	2	10
As	10 ± 7	2	24
Br	1 ± 0	1	3
Pb	4 ± 3	2	10
OC	1.438 ± 711	642	2.940
EC	326 ± 196	133	774

Tabla 12. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 5.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	192 ± 20	167	219
Al	670 ± 91	538	754
Si	1.483 ± 196	1.219	1.694
P	44 ± 11	29	58
S	1.369 ± 230	1.165	1.834
Cl	36 ± 10	26	54
K	413 ± 55	325	475
Ca	342 ± 38	271	377

Ti	31 ± 11	20	53
V	10 ± 3	5	13
Fe	383 ± 80	267	494
Ni	3 ± 1	1	5
Cu	106 ± 19	78	126
As	118 ± 61	43	175
Br	1 ± 0	1	1
Pb	11 ± 5	2	15
OC	2.398 ± 478	1.607	2.977
EC	2.415 ± 855	797	3.365

Tabla 13. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Calama, año 2007, sitio 1,2,3,4 y 5.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	145 ± 74	15	329
Al	204 ± 202	31	1.454
Si	516 ± 457	86	3.279
P	33 ± 16	3	84
S	984 ± 434	275	2.317
Cl	44 ± 28	4	136
K	124 ± 118	29	959
Ca	208 ± 137	24	702
Ti	11 ± 10	3	53
V	2 ± 3	0	13
Fe	161 ± 120	35	779
Ni	1 ± 1	0	5
Cu	20 ± 32	2	230
As	29 ± 39	2	256
Br	2 ± 1	1	4
Pb	10 ± 13	2	319
OC	2.269 ± 808	642	4.084
EC	1.162 ± 828	133	3.365

4.2.4. Reporte de los filtros Ciudad de Viña del Mar

En la respectiva campaña de monitoreo de la ciudad de Viña del Mar solo uno fue el sitio de monitoreo, la Tabla 14 que se muestra a continuación contiene un resumen de los datos de monitoreo de la ciudad de Viña del Mar (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 25 filtros.

Tabla 14. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Viña del Mar, año 1998.

Especie	Concentración (ng/m^3)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	74 ± 50	5	197
Si	234 ± 128	91	551
P	3 ± 2	2	9
S	2.170 ± 1.823	328	8.666
Cl	24 ± 36	8	123
K	244 ± 130	113	630
Ca	103 ± 89	35	415
Ti	17 ± 39	2	199
V	24 ± 32	1	137
Fe	194 ± 81	82	374
Ni	9 ± 12	0	46
Cu	31 ± 33	4	153
As	39 ± 51	1	194
Br	19 ± 22	5	120
Pb	121 ± 81	31	365

4.2.5. Reporte de los filtros Ciudad Valparaíso

La Tabla 15, que se muestra a continuación contiene un resumen de los datos de monitoreo de la ciudad de Valparaíso (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 , corresponden al reporte de 26 filtros en solo un sitio de monitoreo.

Tabla 15. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Valparaíso, año 1998.

Especie	Concentración (ng/m^3)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	55 ± 20	26	106
Si	190 ± 66	104	345
P	4 ± 4	2	18
S	1.933 ± 1.053	345	4.510
Cl	14 ± 13	8	62
K	262 ± 103	116	529
Ca	106 ± 31	64	178
Ti	7 ± 4	2	15
V	14 ± 11	1	36
Fe	208 ± 49	104	1.000
Ni	5 ± 3	0	10
Cu	42 ± 35	7	143
As	33 ± 36	0	151
Br	32 ± 13	13	65
Pb	236 ± 93	83	490

4.2.6. Reporte de los filtros ciudad de Santiago

- **Ciudad de Santiago año 1996**

El monitoreo en la Ciudad de Santiago el año 1996 opero en 3 sitios: Gotuzzo (sitio 1), Las Condes (sitio 2) y Buin (sitio 3). La Tabla 16, 17, 18 y 19 que se muestran a continuación contiene un resumen de los reportes de los filtros de los 3 sitios de muestreo, que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 .

Tabla 16. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 1.

Especie	Concentración (ng/m^3)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	161 ± 97	23	489
Si	450 ± 268	56	1.507
P	24 ± 10	5	71
S	2.152 ± 1.086	203	4.519
Cl	226 ± 160	36	996
K	279 ± 147	46	855
Ca	210 ± 123	27	580
Ti	22 ± 12	4	58
V	25 ± 13	3	59
Fe	343 ± 190	48	936
Ni	8 ± 4	1	22
Cu	36 ± 25	1	156
As	86 ± 56	3	278
Br	84 ± 56	7	242
Pb	222 ± 115	24	540
EC	10.349 ± 4.316	1.358	20.545

Tabla 17. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	67 ± 32	17	169
Si	245 ± 134	58	773
P	11 ± 6	2	26
S	1.412 ± 852	263	4.640
Cl	37 ± 26	4	136
K	128 ± 66	30	347
Ca	83 ± 42	21	262
Ti	11 ± 5	4	32
V	8 ± 5	2	21
Fe	143 ± 75	39	447
Ni	3 ± 2	1	8
Cu	16 ± 9	4	44
As	47 ± 41	6	231
Br	16 ± 8	6	44
Pb	69 ± 35	25	166
EC	3.529 ± 1.683	1.373	8.555

Tabla 18. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 3.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	70 ± 54	17	311
Si	196 ± 159	8	791
P	8 ± 4	0	19
S	1.625 ± 779	128	3.347
Cl	54 ± 26	12	115
K	184 ± 101	32	488
Ca	67 ± 56	1	339
Ti	7 ± 4	2	17

V	5 ± 3	2	16
Fe	88 ± 66	10	328
Ni	2 ± 1	0	5
Cu	16 ± 12	3	62
As	131 ± 156	4	780
Br	7 ± 4	2	20
Pb	30 ± 15	9	73
EC	2.309 ± 1.072	583	5.090

Tabla 19. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1996, sitio 1, 2 y 3.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	99 ± 61	17	489
Si	297 ± 187	8	1507
P	14 ± 7	0	71
S	1.730 ± 906	128	4.640
Cl	106 ± 71	4	996
K	197 ± 105	30	855
Ca	120 ± 74	1	580
Ti	13 ± 7	2	59
V	13 ± 7	10	936
Fe	191 ± 110	0	22
Ni	4 ± 2	1	156
Cu	23 ± 15	3	780
As	88 ± 84	2	242
Br	35 ± 22	0	28
Pb	107 ± 55	9	540
EC	5.396 ± 2.357	583	20.545

○ **Ciudad de Santiago año 1998**

El monitoreo en la Ciudad de Santiago el año 1998 opero en 5 sitios: O'Higgins (sitio 1), Las Condes (sitio 2), Pudahuel (sitio 3), Talagante (sitio 4) y Peldehue (sitio5). Las Tablas 20, 21, 22, 23, 24 y 25 que se muestran a continuación contiene un resumen de los datos de monitoreo de la ciudad de Santiago para el año 1998 (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 .

Tabla 20. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 1.

Especie	Concentración (ng/m^3)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	776 ± 227	392	1.402
Si	657 ± 413	111	2.007
P	16 ± 7	4	35
S	1.841 ± 1.339	408	6.371
Cl	100 ± 58	29	391
K	307 ± 153	105	868
Ca	280 ± 130	78	677
Ti	55 ± 19	24	115
V	7 ± 4	2	18
Fe	457 ± 173	187	864
Ni	3 ± 2	0	8
Cu	35 ± 19	5	84
As	49 ± 32	7	130
Br	75 ± 57	8	237
Pb	177 ± 121	24	636
EC	8.460 ± 5.310	1.040	28.240

Tabla 21. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	620 ± 290	128	1.680
Si	466 ± 288	37	1.141
P	31 ± 19	6	95
S	1.830 ± 1.177	426	6.259
Cl	40 ± 23	10	168
K	251 ± 128	80	947
Ca	225 ± 115	55	540
Ti	44 ± 19	10	115
V	5 ± 2	2	12
Fe	384 ± 173	102	1.050
Ni	2 ± 1	1	4
Cu	25 ± 11	8	76
As	57 ± 58	12	259
Br	29 ± 15	6	114
Pb	81 ± 35	38	248
EC	5.460 ± 1.590	2.180	10.140

Tabla 22. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 3.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	469 ± 246	83	1.123
Si	691 ± 386	66	1.987
P	15 ± 8	2	37
S	1.553 ± 1.016	234	4.574
Cl	75 ± 52	20	245
K	261 ± 108	118	625
Ca	254 ± 130	66	723
Ti	42 ± 16	13	98

V	4 ± 2	1	10
Fe	331 ± 135	87	722
Ni	1 ± 0	1	2
Cu	20 ± 13	3	61
As	45 ± 37	9	172
Br	44 ± 34	11	148
Pb	100 ± 65	30	289
EC	5.790 ± 3.300	1.750	15.590

Tabla 23. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 4.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	470 ± 323	91	1.765
Si	832 ± 573	51	2.975
P	21 ± 21	4	70
S	1.808 ± 1.067	372	4.420
Cl	41 ± 26	8	94
K	262 ± 138	84	572
Ca	259 ± 178	91	1.010
Ti	50 ± 29	12	150
V	5 ± 3	1	15
Fe	451 ± 265	103	1.300
Ni	2 ± 2	0	8
Cu	23 ± 13	3	59
As	59 ± 53	6	249
Br	16 ± 9	4	36
Pb	56 ± 29	16	128
EC	3.390 ± 1.740	1.020	7.150

Tabla 24. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitio 5.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	503 ± 221	205	1.021
Si	623 ± 319	34	1.327
P	12 ± 7	6	23
S	1.825 ± 1.194	470	5.320
Cl	48 ± 43	6	166
K	298 ± 116	86	640
Ca	306 ± 223	20	1.021
Ti	33 ± 15	4	62
V	4 ± 2	2	8
Fe	262 ± 116	51	501
Ni	2 ± 1	0	4
Cu	18 ± 13	0	54
As	71 ± 95	2	483
Br	13 ± 6	5	30
Pb	38 ± 19	16	83
EC	2.680 ± 1.100	1.320	6.300

Tabla 25. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1998, sitios 1, 2, 3, 4 y 5

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	567 ± 261	83	1.765
Si	654 ± 396	34	2.975
P	19 ± 13	2	95
S	1.771 ± 1.159	234	6.371
Cl	61 ± 41	6	391
K	276 ± 128	80	947
Ca	265 ± 155	20	1.021
Ti	45 ± 20	4	150
V	5 ± 3	1	18
Fe	377 ± 172	51	1.300

Ni	2 ± 1	0	8
Cu	24 ± 14	0	84
As	56 ± 55	2	483
Br	35 ± 24	4	237
Pb	90 ± 54	16	636
EC	5.156 ± 1.729	1.020	28.240

○ **Ciudad de Santiago año 1999**

El Monitoreo en la Ciudad de Santiago el año 1999 opero en 2 sitios: O'Higgins (sitio 1) y Las Condes (sitio 2). Las Tablas 26, 27 y 28 que se muestran a continuación contiene un resumen de los datos de monitoreo de la ciudad de Santiago para el año 1999 en ambos sitios y del total (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m³.

Tabla 26. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1999, sitio 1.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	228 ± 124	24	658
Si	547 ± 301	50	1.575
P	11 ± 4	4	24
S	1.245 ± 747	168	3.346
Cl	64 ± 40	14	197
K	160 ± 68	39	489
Ca	184 ± 83	15	448
Ti	29 ± 14	3	84
V	4 ± 2	0	11

Fe	341 ± 159	50	1.250
Ni	2 ± 2	1	9
Cu	28 ± 18	2	101
As	22 ± 22	0	104
Br	24 ± 19	2	85
Pb	102 ± 69	10	348
EC	5.766 ± 3.028	1.027	16.031

Tabla 27. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1999, sitio 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	252 ± 187	33	1.687
Si	625 ± 478	46	4.305
P	15 ± 6	7	37
S	1.655 ± 1.032	181	4.271
Cl	44 ± 28	7	124
K	187 ± 80	36	481
Ca	235 ± 189	19	1.757
Ti	32 ± 19	4	160
V	4 ± 2	1	16
Fe	397 ± 217	40	1.850
Ni	2 ± 1	1	3
Cu	30 ± 15	2	74
As	29 ± 30	1	120
Br	17 ± 9	2	45
Pb	83 ± 52	7	282
EC	5.874 ± 2.969	561	15.020

Tabla 28. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 1999, sitios 1 y 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	232 ± 119	24	658
Si	566 ± 296	46	1.575
P	13 ± 6	4	37
S	1.442 ± 916	168	4.271
Cl	54 ± 36	7	197
K	173 ± 75	36	489
Ca	209 ± 146	15	1.757
Ti	4 ± 2	1	16
V	30 ± 16	3	160
Fe	368 ± 190	40	1.850
Ni	2 ± 1	1	9
Cu	29 ± 17	2	101
As	25 ± 26	0	120
Br	21 ± 16	2	85
Pb	93 ± 62	7	348
EC	5.818 ± 2.992	561	16.031

○ **Ciudad de Santiago año 2004**

El Monitoreo en la Ciudad de Santiago el año 2004 opero en 2 sitios: La Paz (sitio 1) y Las Condes (sitio 2). Las Tablas 29, 30 y 31 que se muestran a continuación contiene un resumen de los datos de monitoreo de la ciudad de Santiago para el año 2004 en ambos sitios (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m³.

**Tabla 29. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago,
año 2004, sitio 1.**

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	272 ± 126	36	674
Al	138 ± 59	31	304
Si	268 ± 114	45	600
P	47 ± 22	10	129
S	1.082 ± 602	219	3.508
Cl	123 ± 264	8	2.435
K	315 ± 151	73	799
Ca	146 ± 66	28	350
Ti	14 ± 6	2	29
V	0 ± 0	0	2
Fe	426 ± 209	77	1.056
Ni	1 ± 1	0	3
Cu	31 ± 15	5	90
As	11 ± 8	0	35
Br	12 ± 10	1	56
Pb	29 ± 19	1	92
OC	14.261 ± 6.118	2.933	32.192
EC	7.017 ± 4.033	454	17.546

**Tabla 30. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago,
año 2004, sitio 2.**

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	198 ± 112	36	615
Al	100 ± 45	32	248
Si	192 ± 85	53	481
P	39 ± 20	3	134
S	950 ± 551	133	3.631
Cl	31 ± 44	8	259
K	244 ± 108	74	625
Ca	92 ± 37	29	239

Ti	10 ± 4	2	22
V	0 ± 0	0	1
Fe	244 ± 90	84	578
Ni	0 ± 0	0	2
Cu	19 ± 9	4	53
As	10 ± 7	0	30
Br	11 ± 8	1	34
Pb	19 ± 10	1	47

Tabla 31. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Santiago, año 2004, sitios 1 y 2.

Especie	Concentración (ng/m ³)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Na	235 ± 125	36	674
Al	119 ± 56	31	304
Si	230 ± 107	45	600
P	43 ± 21	3	134
S	1.017 ± 579	133	3.631
Cl	78 ± 195	8	2.435
K	280 ± 136	73	799
Ca	120 ± 60	28	350
Ti	12 ± 6	2	29
V	0 ± 0	0	2
Fe	335 ± 185	77	1.056
Ni	1 ± 0	0	3
Cu	25 ± 14	4	90
As	10 ± 8	0	35
Br	11 ± 9	1	56
Pb	24 ± 16	1	92
OC	14.028 ± 5.630	2.933	32.192
EC	6.791 ± 3.730	454	17.546

4.2.7. Ciudad de Rancagua

La Tabla 32, que se muestra a continuación contiene un resumen de los reportes de monitoreo de la ciudad de Rancagua (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 26 filtros.

Tabla 32. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Rancagua, año 1998.

Especie	Concentración (ng/m^3)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	296 ± 136	5	561
Si	989 ± 387	94	1.785
P	3 ± 2	2	6
S	1.856 ± 1.146	701	4.256
Cl	21 ± 16	8	61
K	775 ± 285	358	1.354
Ca	587 ± 224	43	974
Ti	39 ± 19	2	74
V	9 ± 5	1	19
Fe	620 ± 244	73	1.149
Ni	4 ± 2	1	9
Cu	41 ± 30	12	127
As	174 ± 241	2	1.068
Br	86 ± 61	15	257
Pb	392 ± 223	103	1.047

4.2.8. Ciudad de Temuco

La Tabla 33, que se muestra a continuación contiene un reporte de las mediciones de monitoreo de la ciudad de Temuco (Datos completos ver ANEXO I), que fueron seleccionados para insertarlos en el programa S-Plus V.6. Los datos se encuentran en unidades de concentración de ng/m^3 y corresponden al reporte de 26 filtros.

Tabla 33. Resumen del reporte de los filtros de MP2,5 de la Ciudad de Temuco, año 1998.

Especie	Concentración (ng/m^3)		
	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Al	85 ± 42	25	199
Si	163 ± 98	8	410
P	6 ± 4	2	16
S	636 ± 449	243	2.493
Cl	58 ± 123	8	553
K	603 ± 365	93	1.363
Ca	67 ± 35	18	175
Ti	8 ± 6	2	24
V	1 ± 1	1	3
Fe	130 ± 59	29	255
Ni	1 ± 1	0	2
Cu	5 ± 4	2	18
As	2 ± 1	0	2
Br	74 ± 37	20	153
Pb	289 ± 109	126	505

4.3. Concentraciones de MP2,5

Las concentraciones promedios para MP2,5 medidas en las ciudades en estudio se muestran a continuación en las Tablas 34 y 35.

Tabla 34. Concentración Media Anual de MP2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en las diferentes ciudades en estudio.

Ciudad	Concentración Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Iquique	$24,7 \pm 1,2$
Tocopilla	$21,9 \pm 6,1$
Calama	$14,4 \pm 7,6$
Viña del Mar	$19,8 \pm 2,4$
Valparaíso	$35,7 \pm 1,8$
Rancagua	$42,6 \pm 3,3$
Temuco	$35,2 \pm 2,6$

Tabla 35. Concentración Media Anual de MP2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en la ciudad de Santiago en las diferentes campañas.

Ciudad	Concentración Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Santiago año 1996	$39,7 \pm 13,1$	5,4
Santiago año 1998	$36,2 \pm 4,2$	5,2
Santiago año 1999	$45,7 \pm 16,6$	5,6
Santiago año 2004	$36,7 \pm 18,9$	4,6

4.4. Correlaciones más significativas

Las concentraciones de los diferentes elementos se ingresaron al programa S-Plus, donde se obtuvo el gráfico correspondiente y un reporte especificando los parámetros obtenidos. A continuación se muestra la Tabla 36 con la cantidad de concentraciones de elementos de MP2,5 utilizados para las diferentes correlaciones validados para cada ciudad.

Tabla 36. Total de concentraciones de elementos del MP2,5.

Ciudad	Año	Numero de concentraciones elementales	Sitios de muestreo
Iquique	1998	26	1
Tocopilla	2006	104	3
Calama	2007	53	5
Viña del Mar	1998	25	1
Valparaíso	1998	26	1
Santiago	1999	197	4
Santiago	2004	236	2
Rancagua	1998	26	1
Temuco	1998	26	1

4.4.1. Transporte

Los datos seleccionados se incorporaron al Programa S-Plus, el cual entregó un reporte de resultados para cada ciudad en estudio (ver ANEXO II).

Para un mejor análisis de los resultados se muestra a continuación las correlaciones de Br versus Pb, para cada ciudad. Los gráficos se encuentran en formato Excel, debido a la mejor calidad de visualización de estos.

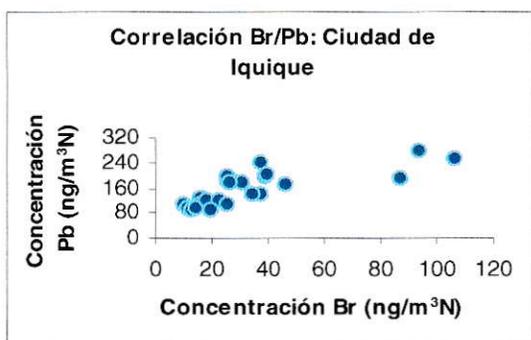


Figura 13. Br/Pb, ciudad de Iquique

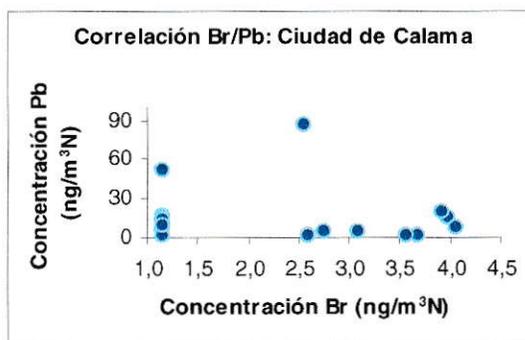


Figura 14. Br/Pb, ciudad de Calama

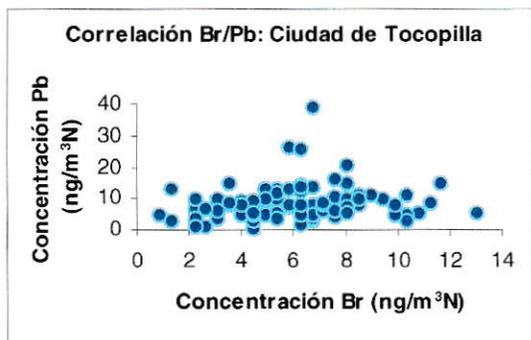


Figura 15. Br/Pb, ciudad de Tocopilla

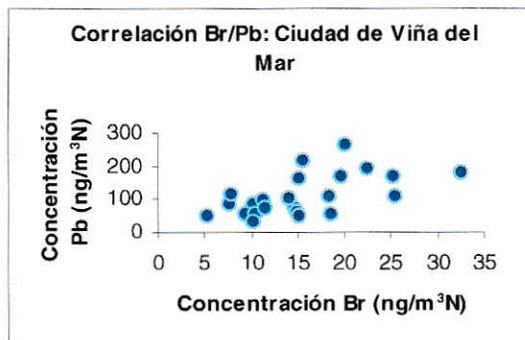


Figura 16. Br/Pb, ciudad de Viña del Mar

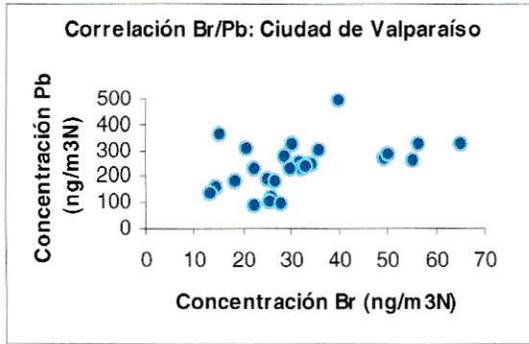


Figura 17. Br/Pb, ciudad de Valparaíso

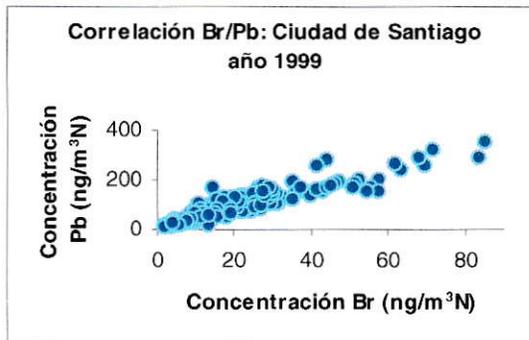


Figura 18. Br/Pb, Santiago año 1999

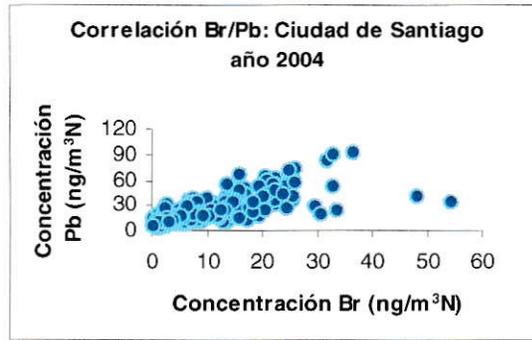


Figura 19. Br/Pb, Santiago año 2004

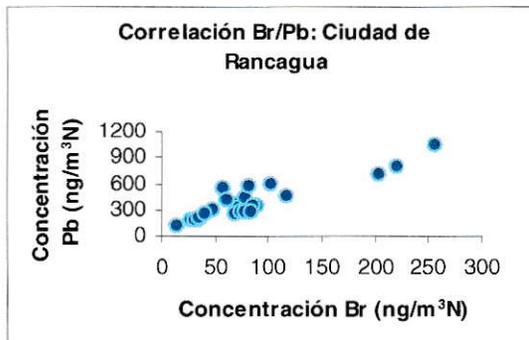


Figura 20. Br/Pb, ciudad de Rancagua

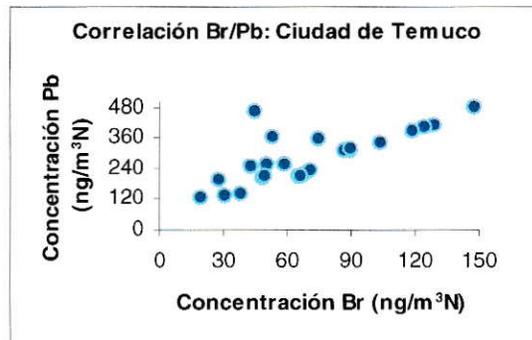


Figura 21. Br/Pb, ciudad de Temuco

El valor de la correlación nos da una idea más acertada de los aportes de Plomo y Bromo, por lo que los gráficos de las correlaciones obtenidas anteriormente fueron apoyadas más a fondo por los cuocientes de Br/Pb ($0,33 \pm 0,06$) (Kavouras et al. 2001).

La Tabla 37 que se muestra a continuación contiene el valor de la correlación Br/Pb de MP2,5 para cada ciudad en estudio.

Tabla 37. Valores de correlación de Br/Pb para las ciudades en estudio.

Ciudad	Año	Valor correlación (pendiente)
Iquique	1998	0,370 ± 0,061
Calama	2007	0,0004 ± 0,0027
Tocopilla	2006	0,068 ± 0,044
Viña del Mar	1998	0,134 ± 0,041
Valparaíso	1998	0,064 ± 0,027
Santiago	1999	0,230 ± 0,007
Santiago	2004	0,377 ± 0,022
Rancagua	1998	0,249 ± 0,024
Temuco	1998	0,276 ± 0,043

Nota: Los reportes se adjuntan en el ANEXO II.

4.4.2. Polvo Natural (suelo)

Después de la preparación de los datos, estos se insertaron en el Programa S-Plus para obtener una correlación de elementos asociados al polvo natural. Particularmente, Al, Si, Ca, K y Fe fueron utilizados como trazadores del polvo natural, ya que estos elementos abundan en la corteza terrestre.

A continuación se muestran las correlaciones de Al/Si, Ca/Si, K/Fe y Fe/Si para cada ciudad, para poder así visualizar mejor los resultados. Estos gráficos se encuentran en formato Excel.

4.4.2.1. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Iquique

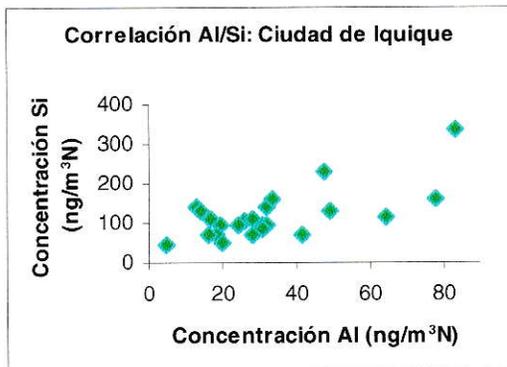


Figura 22. Al/Si, ciudad de Iquique

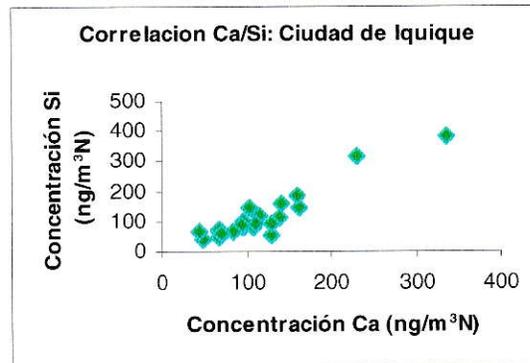


Figura 23. Ca/Si, ciudad de Iquique

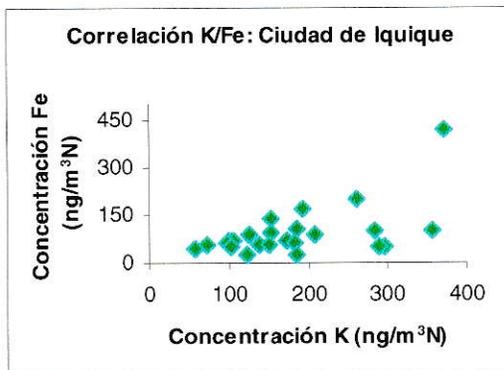


Figura 24. K/Fe, ciudad de Iquique

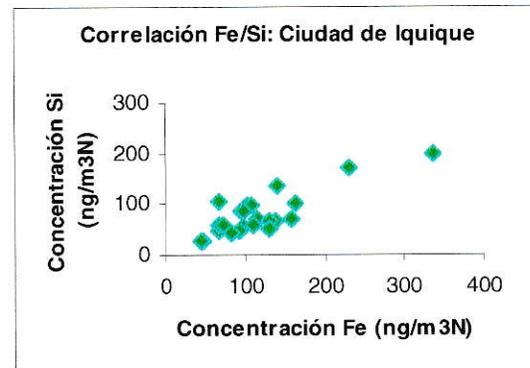


Figura 25. Fe/Si, ciudad de Iquique

4.4.2.2. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Calama

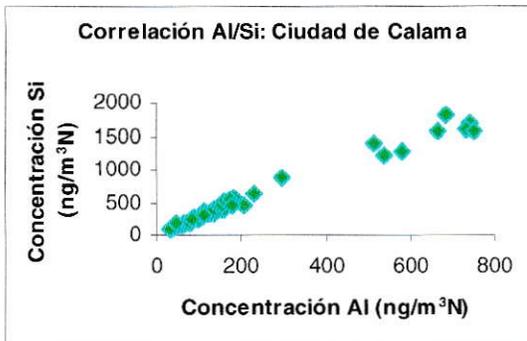


Figura 26. Al/Si, ciudad de Calama

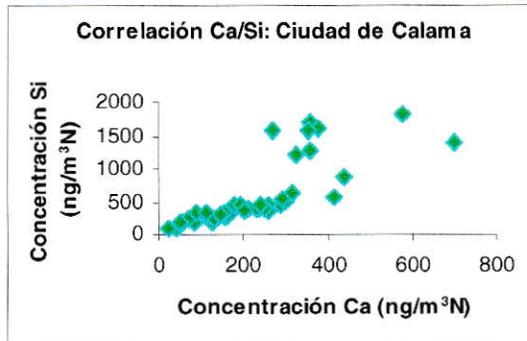


Figura 27. Ca/Si, ciudad de Calama

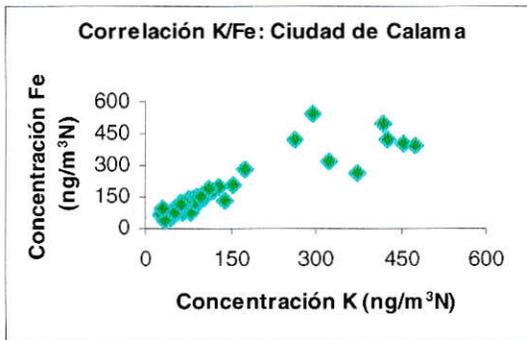


Figura 28. K/Fe, ciudad de Calama

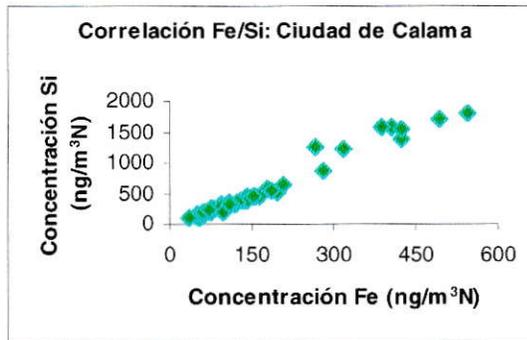


Figura 29. Fe/Si, ciudad de Calama

4.4.2.3. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Tocopilla

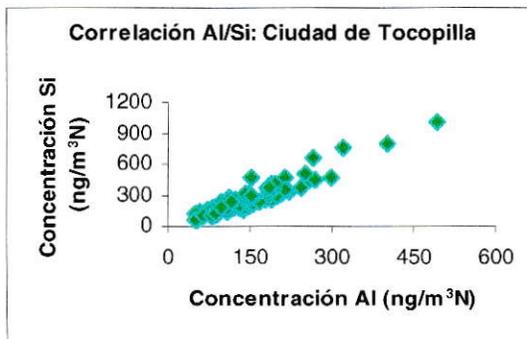


Figura 30. Al/Si, ciudad de Tocopilla

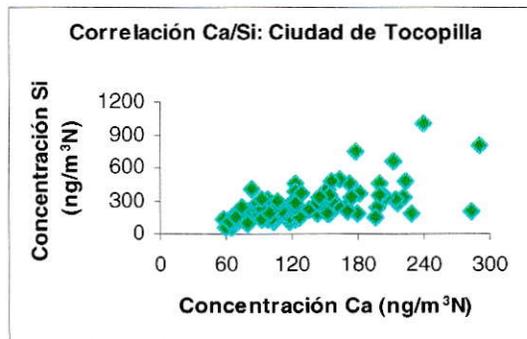


Figura 31. Ca/Si, ciudad de Tocopilla

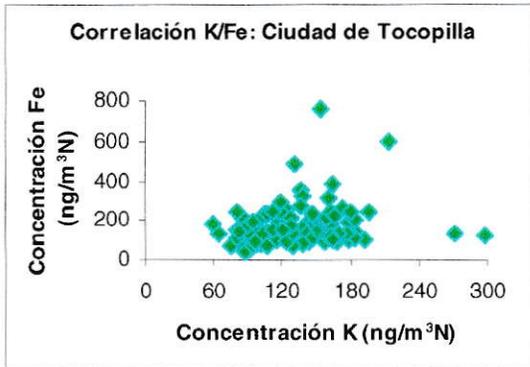


Figura 32. K/Fe, ciudad de Tocopilla

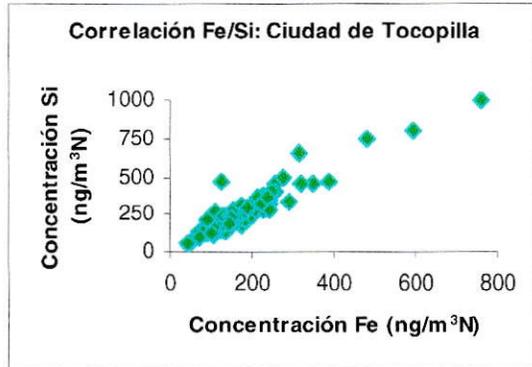


Figura 33. Fe/Si, ciudad de Tocopilla

4.4.2.4. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Viña del Mar

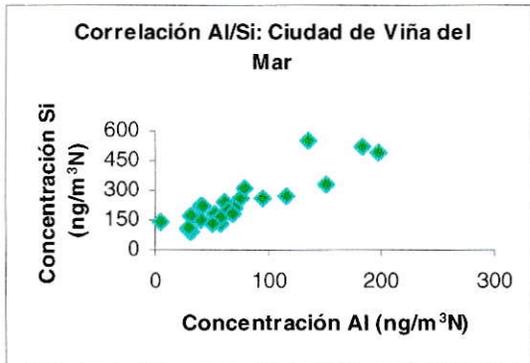


Figura 34. Al/Si, ciudad de Viña del Mar

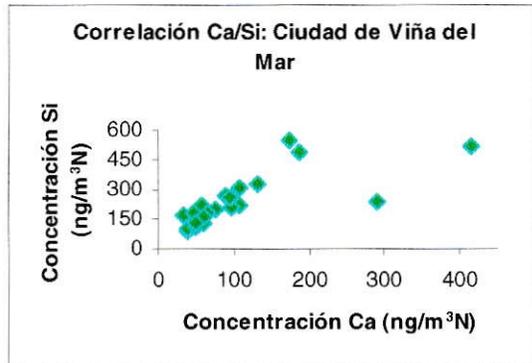


Figura 35. Ca/Si, ciudad de Viña del Mar

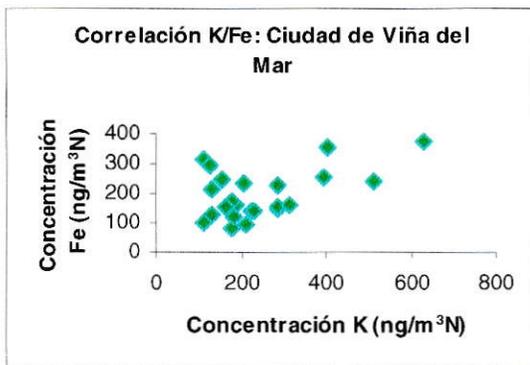


Figura 36. K/Fe, ciudad de Viña del Mar

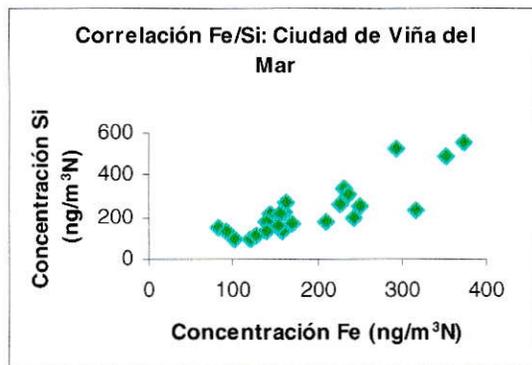


Figura 37. Fe/Si, ciudad de Viña del Mar

4.4.2.5. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Valparaíso

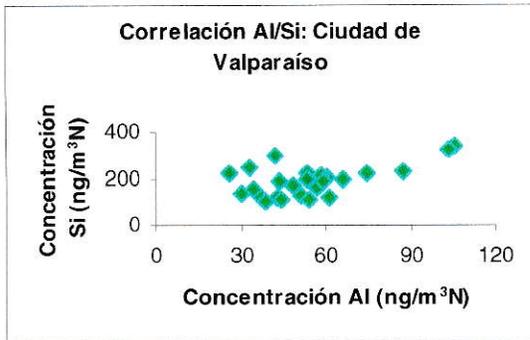


Figura 38. Al/Si, ciudad de Valparaíso

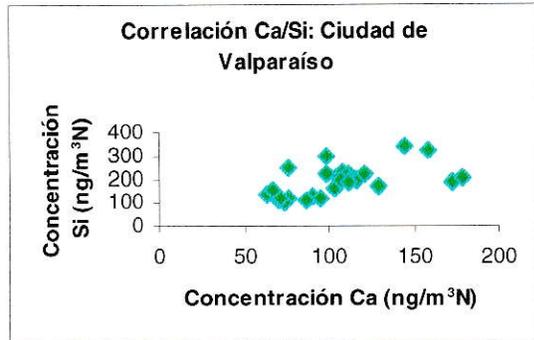


Figura 39. Ca/Si, ciudad de Valparaíso

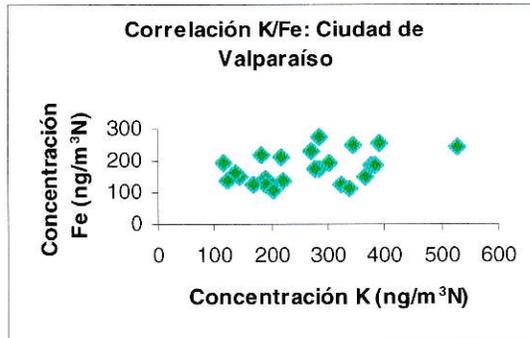


Figura 40. K/Fe, ciudad de Valparaíso

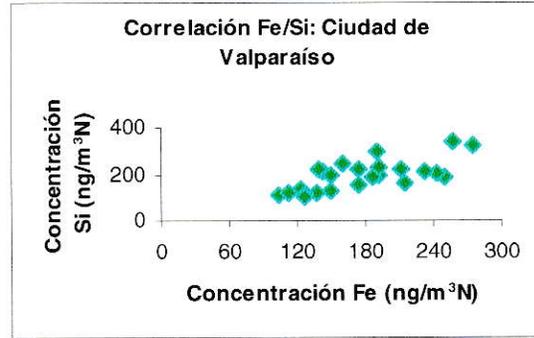


Figura 41. Fe/Si, ciudad de Valparaíso

4.4.2.6. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Santiago año 1999

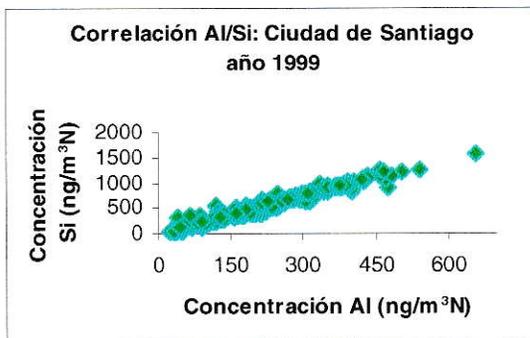


Figura 42. Al/Si, Santiago año 1999

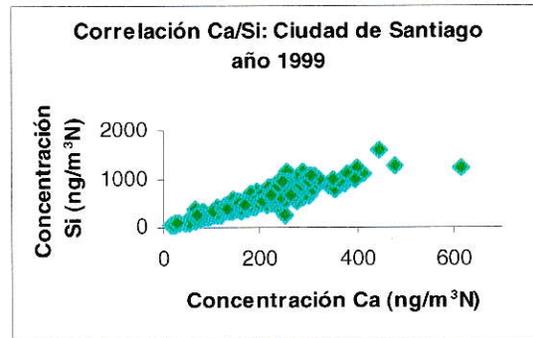


Figura 43. Ca/Si, Santiago año 1999

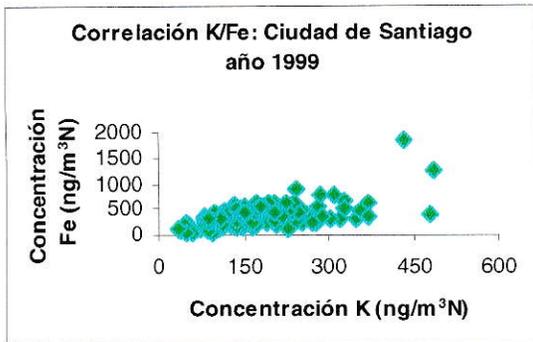


Figura 44. K/Fe, Santiago año 1999

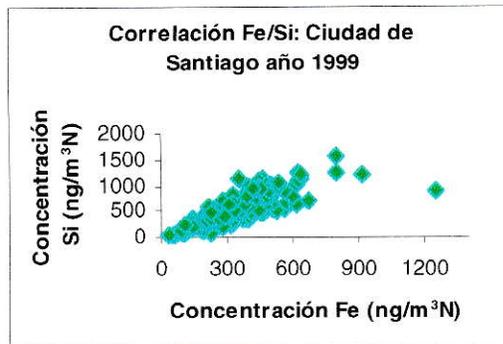


Figura 45. Fe/Si, Santiago año 1999

4.4.2.7. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Santiago año 2004

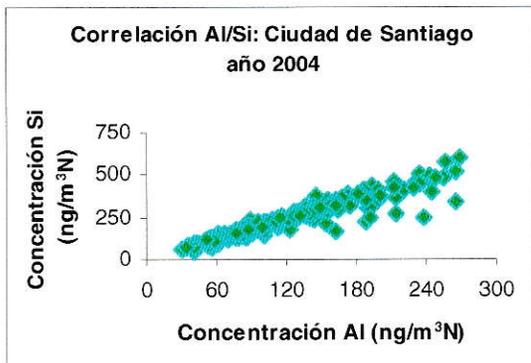


Figura 46. Al/Si, Santiago año 2004

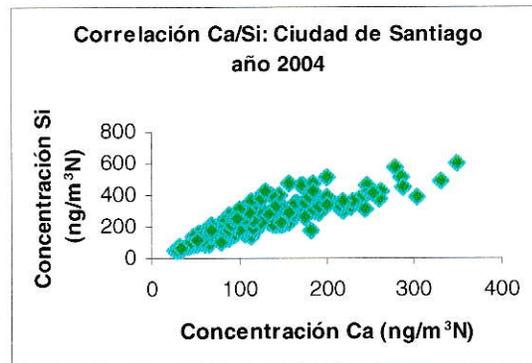


Figura 47. Ca/Si, Santiago año 2004

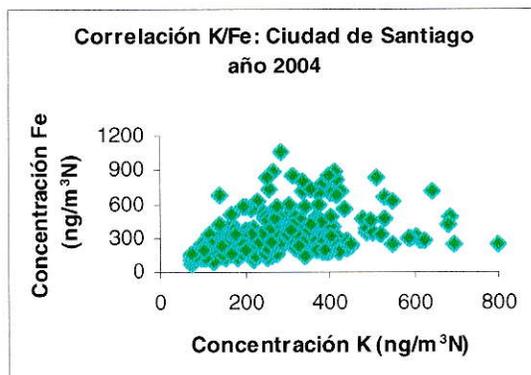


Figura 48. K/Fe, Santiago año 2004

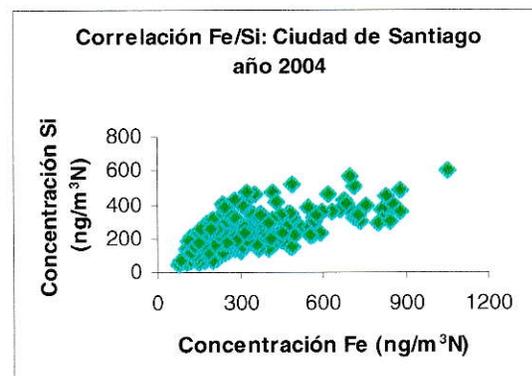


Figura 49. Fe/Si, Santiago año 2004

4.4.2.8. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Rancagua

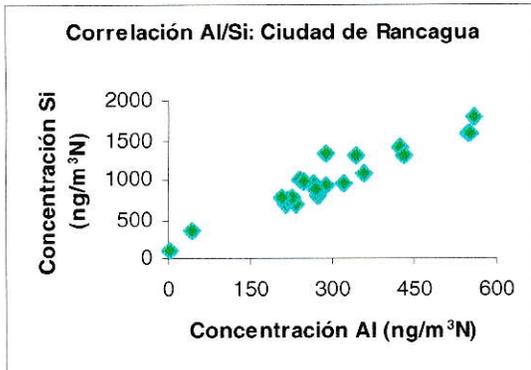


Figura 50. Al/Si, ciudad de Rancagua

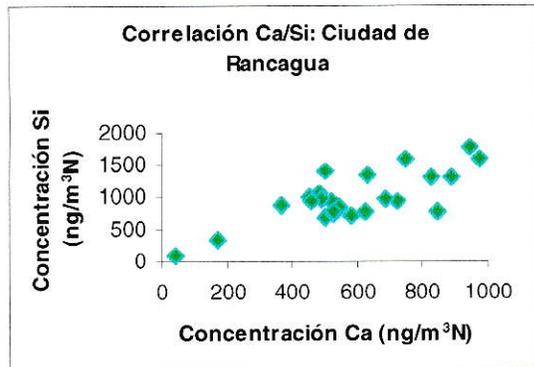


Figura 51. Ca/Si, ciudad de Rancagua

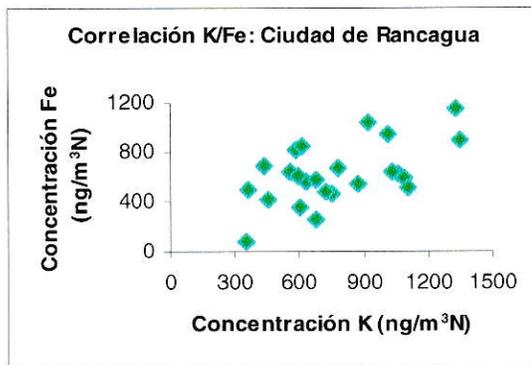


Figura 52. K/Fe, ciudad de Rancagua

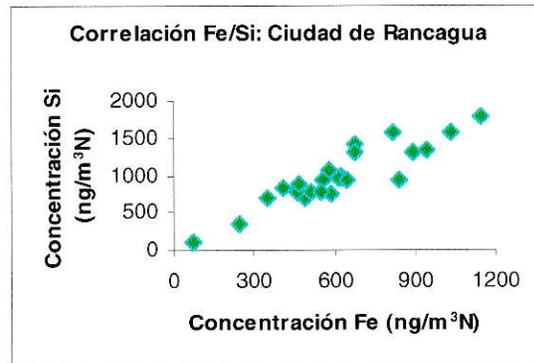


Figura 53. Fe/Si, ciudad de Rancagua

4.4.2.9. Correlaciones Polvo Natural ciudad de Temuco

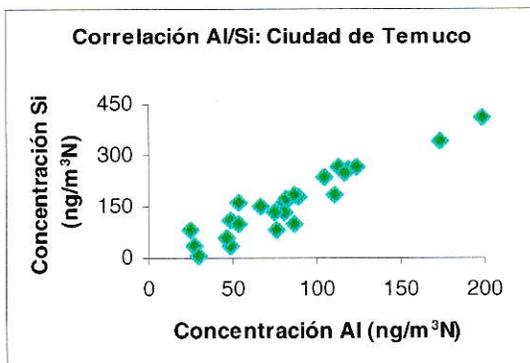


Figura 54. Al/Si, ciudad de Temuco

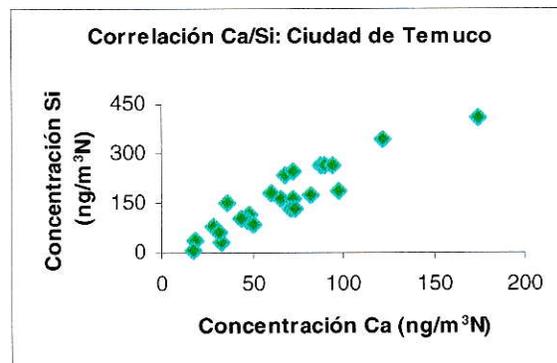


Figura 55. Ca/Si, ciudad de Temuco

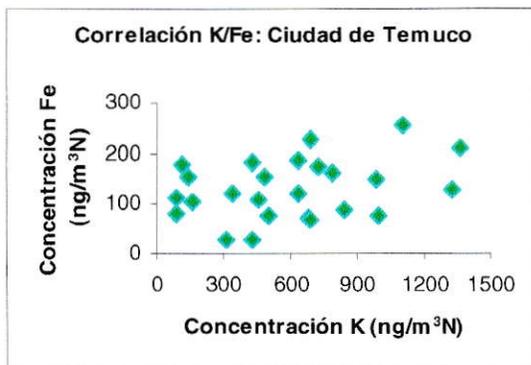


Figura 56. K/Fe, ciudad de Temuco

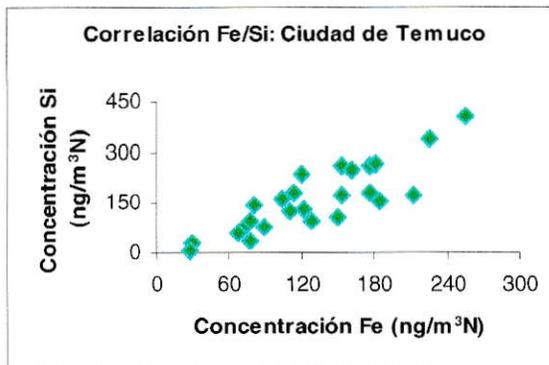


Figura 57. Fe/Si, ciudad de Temuco

Para poder entender mejor los aportes, las correlaciones fueron apoyadas por la relación Al/Si ($0,38 \pm 0,18$) y de Ca/Si ($0,64 \pm 0,07$) (Kavouras et al. 2001). A continuación se muestra la Tabla 38, con los valores de las diferentes correlaciones para cada ciudad.

Tabla 38. Valores de correlaciones de polvo natural para ciudades de Chile.

Ciudad	Año	Al/Si	Ca/Si	K/Fe	Fe/Si
Iquique	1998	$0,216 \pm 0,002$	$1,21 \pm 0,057$	$0,349 \pm 0,030$	$0,501 \pm 0,030$
Calama	2007	$0,444 \pm 0,007$	$0,209 \pm 0,020$	$1,049 \pm 0,056$	$0,244 \pm 0,006$
Tocopilla	2006	$0,445 \pm 0,016$	$0,197 \pm 0,026$	$0,071 \pm 0,037$	$0,654 \pm 0,023$
Viña del Mar	1998	$0,347 \pm 0,037$	$0,515 \pm 0,099$	$0,799 \pm 0,299$	$0,421 \pm 0,009$
Valparaíso	1998	$0,179 \pm 0,051$	$0,265 \pm 0,080$	$0,038 \pm 0,122$	$0,349 \pm 0,521$
Santiago	1999	$0,391 \pm 0,005$	$0,347 \pm 0,009$	$0,228 \pm 0,023$	$0,413 \pm 0,017$
Santiago	2004	$0,521 \pm 0,019$	$0,475 \pm 0,018$	$0,290 \pm 0,052$	$1,120 \pm 0,084$
Rancagua	1998	$0,335 \pm 0,023$	$0,443 \pm 0,079$	$0,660 \pm 0,206$	$0,576 \pm 0,055$
Temuco	1998	$0,405 \pm 0,030$	$0,325 \pm 0,030$	$2,048 \pm 1,227$	$0,511 \pm 0,064$

Nota: Los reportes se adjuntan en el ANEXO II.

4.4.3. Industrias

Para el sector industrial se utilizaron el Níquel, Vanadio, Fósforo, Azufre, Cobre y Arsénico, como elementos trazadores asociados. La relación Ni/V fue utilizada particularmente para identificación de combustión de Petróleo y Petcoke, además del refinamiento del aceite. El P y S son elementos relacionados a la utilización de combustibles. El Cu y el As, fueron utilizados para identificar emisiones de fundiciones de Cobre. Se estudiaron principalmente la relación Ni/V, P/S y Cu/As.

A continuación se muestran los gráficos de las correlaciones obtenidas para cada ciudad. En el caso de P/S solo se muestran las ciudades donde se obtuvo una correlación lineal.

4.4.3.1 Correlaciones Industrias ciudad de Iquique

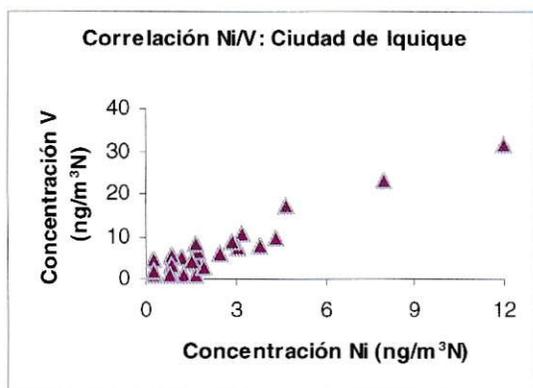


Figura 58. Ni/V, ciudad de Iquique

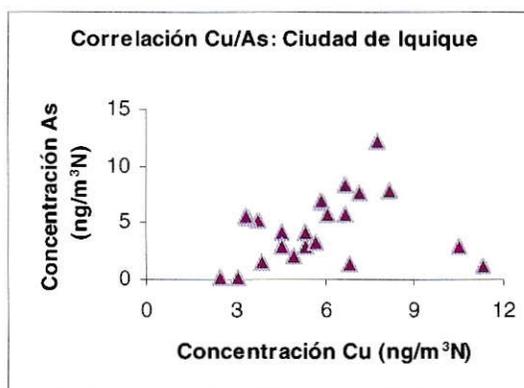


Figura 59. Cu/As, ciudad de Iquique

4.4.3.2. Correlaciones Industrias ciudad de Calama

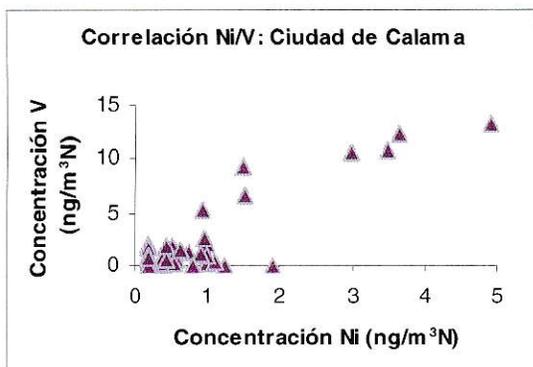


Figura 60. Ni/V, ciudad de Calama

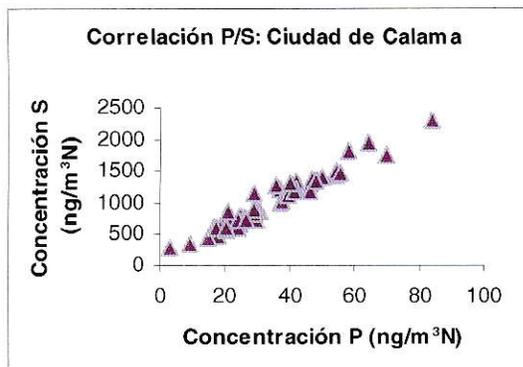


Figura 61. P/S, ciudad de Calama

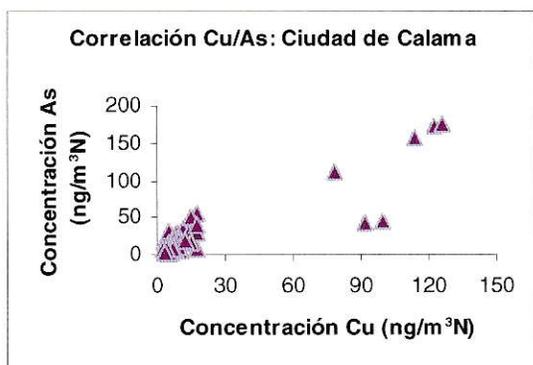


Figura 62. Cu/As, ciudad de Calama

4.4.3.3. Correlaciones Industrias ciudad de Tocopilla

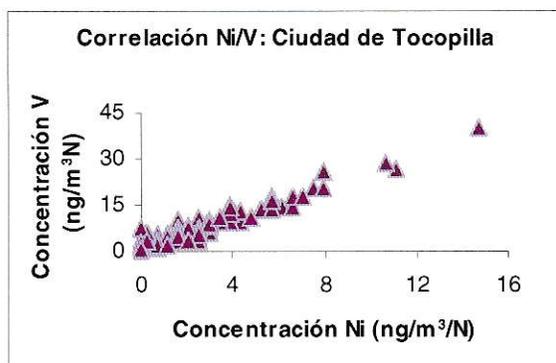


Figura 63. Ni/V, ciudad de Tocopilla

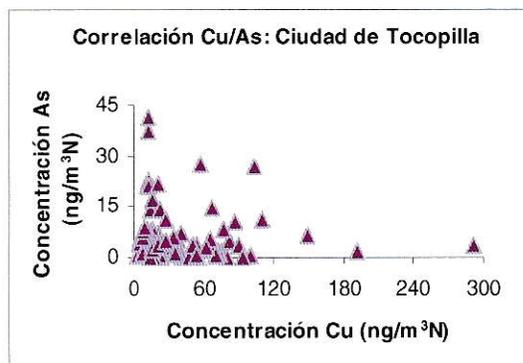


Figura 64. Cu/As, ciudad de Tocopilla

4.4.3.4. Correlaciones Industrias ciudad de Viña del Mar

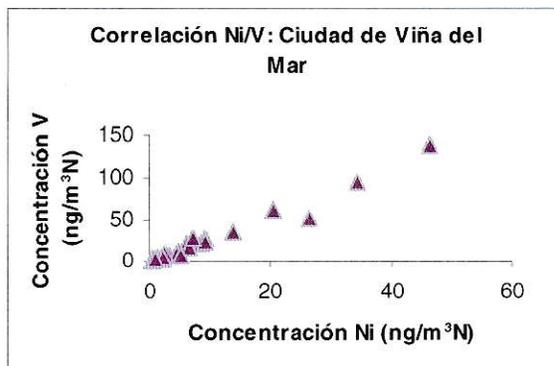


Figura 65. Ni/V, ciudad de Viña del Mar

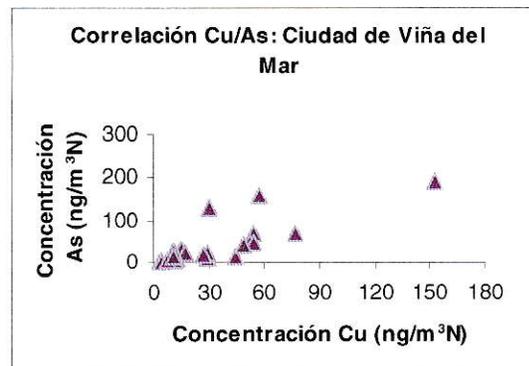


Figura 66. Cu/As, ciudad de Viña del Mar

4.4.3.5. Correlaciones Industrias ciudad de Valparaíso

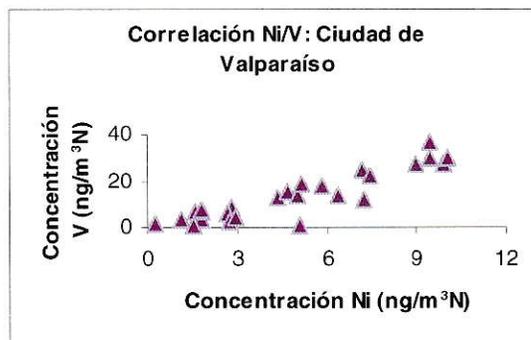


Figura 67. Ni/V, ciudad de Valparaíso

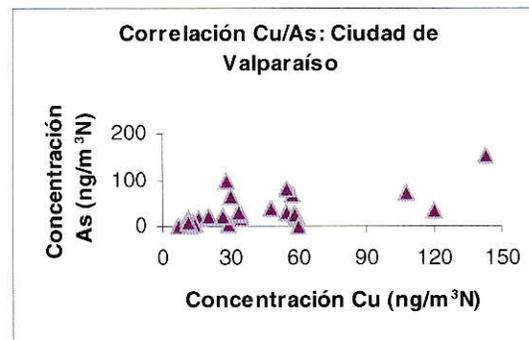


Figura 68. Cu/As, ciudad de Valparaíso

4.4.3.6. Correlaciones Industrias ciudad de Santiago año 1999

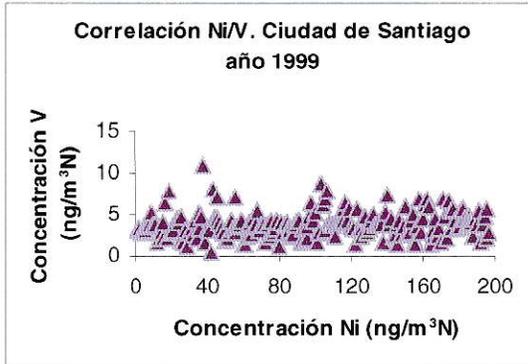


Figura 69. Ni/V, Santiago año 1999

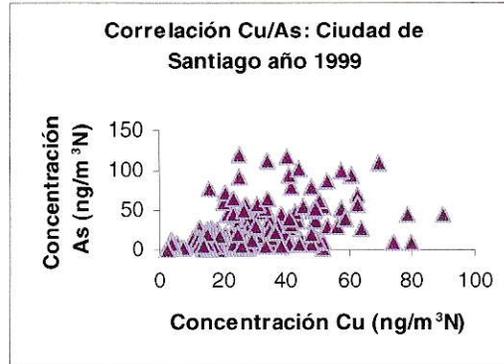


Figura 70. Cu/As, Santiago año 1999

4.4.3.7. Correlaciones Industrias ciudad de Santiago año 2004

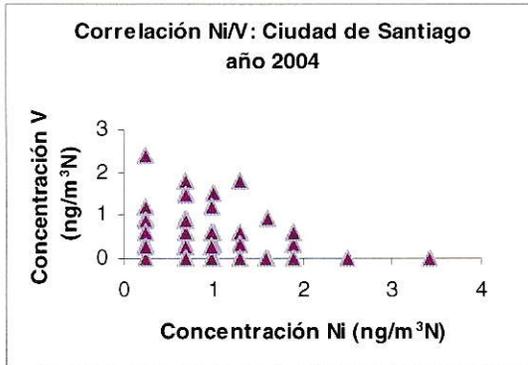


Figura 71. Ni/V, Santiago año 2004

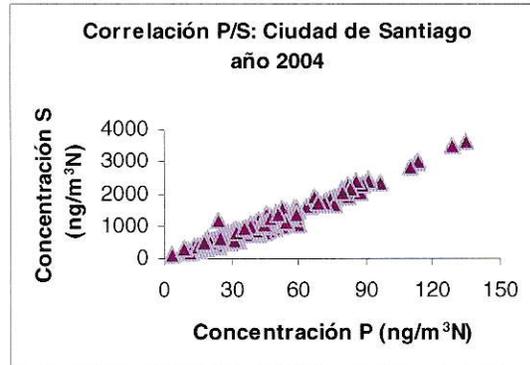


Figura 72. P/S, Santiago año 2004

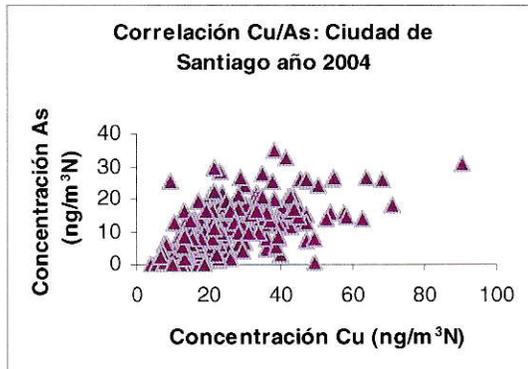


Figura 73. Cu/As, Santiago año 2004

4.4.3.8. Correlaciones Industrias ciudad de Rancagua

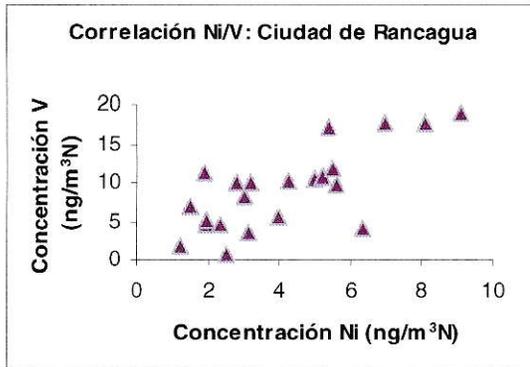


Figura 74. Ni/V, ciudad de Rancagua

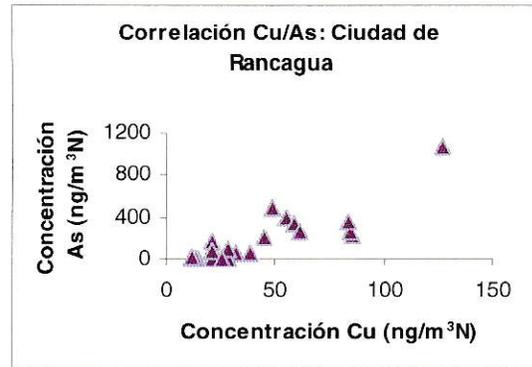


Figura 75. Cu/As, ciudad de Rancagua

4.4.3.9. Correlaciones Industrias ciudad de Temuco

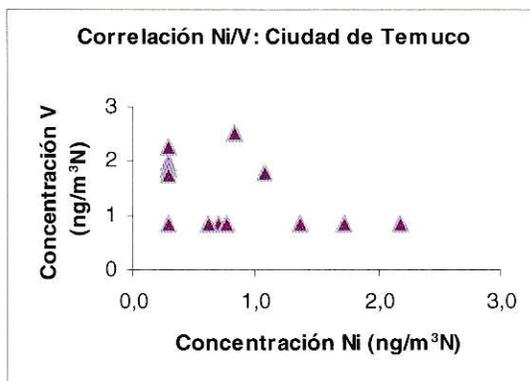


Figura 76. Ni/V, ciudad de Temuco

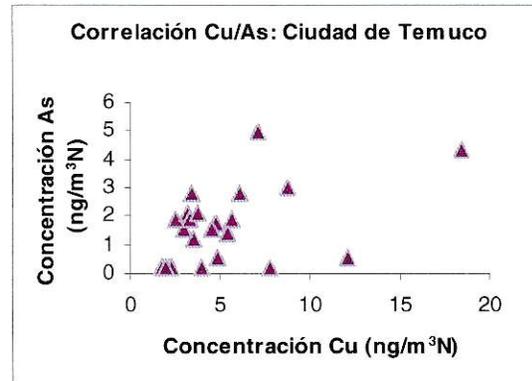


Figura 77. Cu/As, ciudad de Temuco

A continuación se muestra la Tabla 39, con el valor para cada una de las correlaciones (pendiente), para cada ciudad en estudio. Esto fue apoyado por el valor del cociente para Ni/V de $0,38 \pm 0,03$ para MP2,5 (Kavouras et al. 2001).

Tabla 39. Valores de correlaciones referentes a fuentes industriales para las ciudades en estudio.

Ciudad	Año	Ni/V	P/S	Cu/As
Iquique	1998	0,341 ± 0,022	-0,001 ± 0,001	0,268 ± 0,358
Calama	2007	0,260 ± 0,020	0,037 ± 0,001	0,805 ± 0,043
Tocopilla	2006	0,368 ± 0,011	No hay P	-0,343 ± 0,547
Viña del Mar	1998	0,351 ± 0,012	-0,0002 ± 0,0002	0,513 ± 0,078
Valparaíso	1998	0,265 ± 0,025	0,0004 ± 0,001	0,646 ± 0,151
Santiago	1999	0,274 ± 0,074	0,003 ± 0,001	0,309 ± 0,040
Santiago	2004	-0,026 ± 0,069	0,036 ± 0,001	1,117 ± 0,094
Rancagua	1998	0,305 ± 0,056	0,0001 ± 0,0003	0,106 ± 0,014
Temuco	1998	-0,046 ± 0,198	-0,0017 ± 0,0016	0,114 ± 0,165

Nota: Los reportes se adjuntan en el ANEXO II.

4.5. Sulfatos y Azufre

4.5.1. Azufre en MP2,5

El azufre, es un elemento que se encuentra combinado en forma de sulfuros y de sulfatos. Con la concentración promedio de Azufre, se construyó un gráfico de barras para ver la variación de este elemento en las diferentes ciudades de Chile. Las concentraciones de Azufre se encuentran en ng/m^3 .

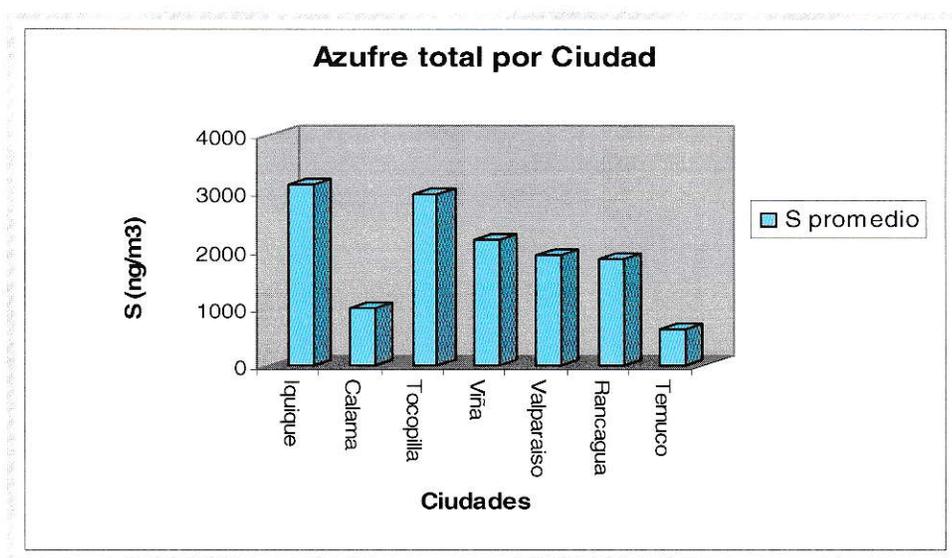


Figura 78. Comparación de Azufre total por ciudad

Las ciudades costeras son las que presentan un mayor contenido de azufre, debido a fuentes antropogénicas; como las centrales térmicas, consumo de derivados del petróleo, craqueo del petróleo, la siderurgia, pirometalúrgica, obtención de gas natural, contenido en materiales de construcción, etc.

Para la ciudad de Santiago, se construyó un gráfico de barra para las respectivas campañas de monitoreo. Las concentraciones de azufre se encuentran en ng/m^3 .

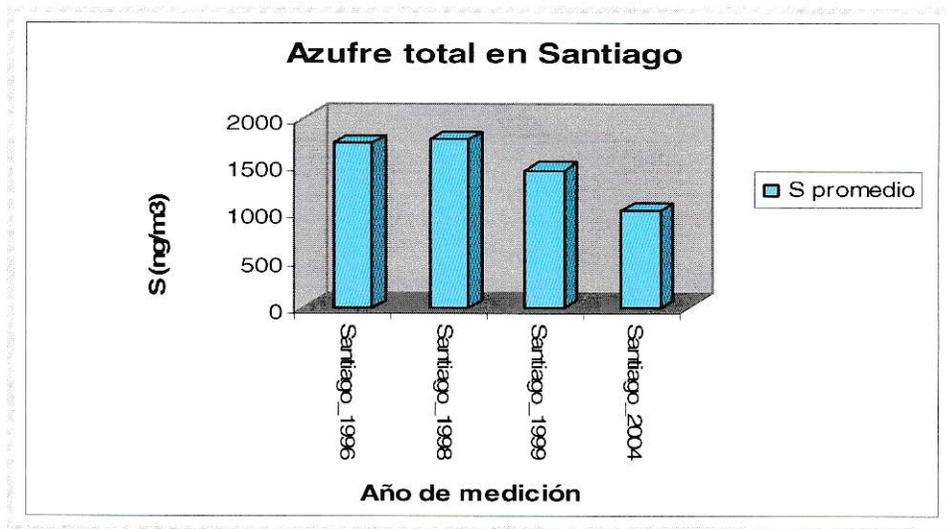


Figura 79. Comparación de Azufre total en Santiago

4.5.2. Sulfatos marinos y no marinos

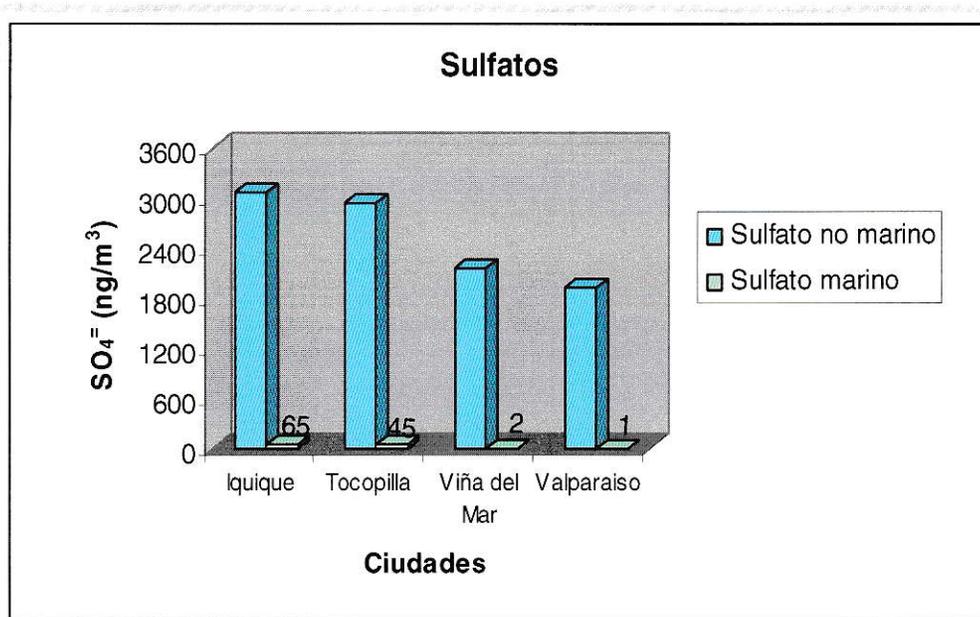


Figura 80. Estimación Aerosoles Marinos

Los aerosoles marinos se encuentran principalmente constituidos por cloruro de sodio (NaCl) y sulfatos (Na_2SO_4 , MgSO_4 y K_2SO_4). Sin embargo el tamaño de estos últimos los hace pertenecer a la fracción gruesa del material particulado (Warneck P., Chemistry of the natural atmosphere, 1897), por esto para la estimación de sulfatos marinos de el $\text{MP}_{2,5}$, se ha considerado solo el NaCl .

4.6. Quema de Biomasa

Se obtiene el valor de la correlación K/Fe (pendiente), para cada ciudad. Con el valor de la pendiente (m), se obtiene el Potasio no proveniente de suelos, o sea el potasio antropogenico [$K_{ns} = K - (m * Fe)$], en este caso atribuible a quema de biomasa.

Se estiman los valores de K_{ns} para todas las ciudades en estudio; posteriormente se por diferencia se obtiene el K_s [$K_s = K - K_{ns}$], los cuales se comparan.

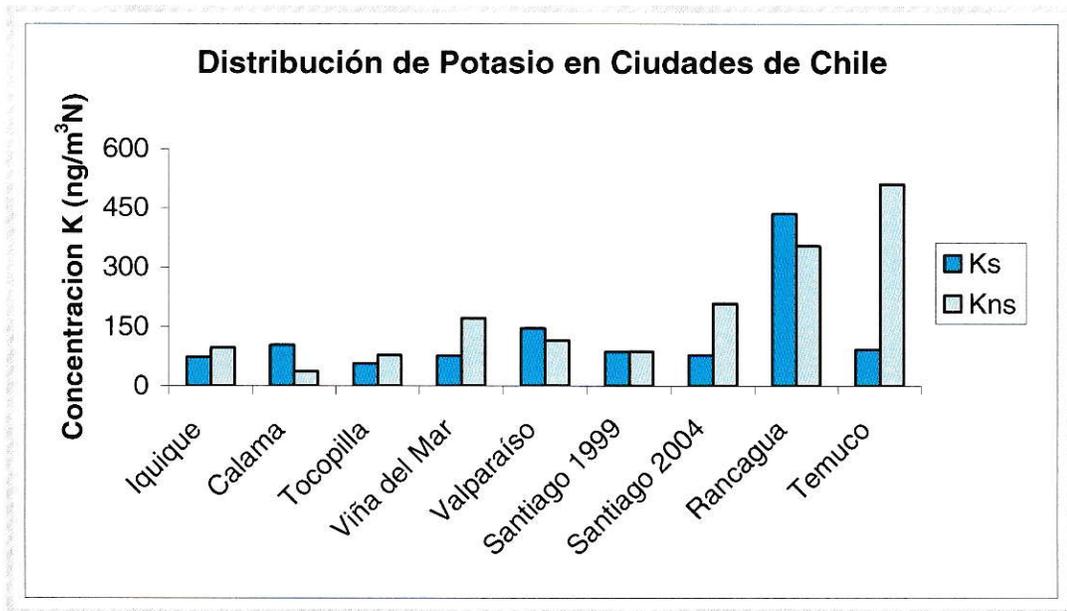


Figura 81. Distribución de aportes de Potasio en las ciudades en estudio

4.7. Balance de masa para los filtros de MP2,5

La estimación del Balance de masa para los filtros de MP2,5 se realizó según la siguiente ecuación:

$$[\text{MP2,5}] = [\text{C}_{\text{elemental}}] + [\text{C}_{\text{orgánico}}] + \text{Sulfatos} + \text{Nitratos} + \text{elementos naturales (óxidos)} + \text{NaCl} + \text{elementos trazas} \quad /4/$$

Este balance solo se pudo estimar en las ciudades donde se encuentra el reporte del carbono orgánico y elemental, al igual que el sodio como elemento analizado en los filtros, esto fue en Tocopilla, Calama y Santiago.

La Tabla 40-a y 41-b resume los balances de masa de los filtros calculados para MP2,5.

Tabla 40-a. Estimación para el Balance de Masa de los filtros [ng/m³N] a partir de las composiciones elementales.

Ciudad	EC	MPO	Sulfatos	Nitratos	Óxidos
Tocopilla	1.299	3.235	15.947	x	1.409
Calama	1.224	3.133	5.469	691	2.772
Santiago año 1999	5.680	11.397	7.743	x	2.789
Santiago año 2004	3.155	11.817	5.425	1.120	1.729

Tabla 40-b. Estimación de Balance de Masa para los filtros [ng/m³N] a partir de las composiciones elementales.

Ciudad	NaCl	Elementos Traza	Balance de Masa
Tocopilla	876	56	22.822
Calama	71	96	13.456
Santiago año 1999	89	144	27.842
Santiago año 2004	127	101	23.474

5. DISCUSIÓN

5.1. Concentraciones de MP2,5

En las ciudades de Valparaíso, Rancagua y Temuco las concentraciones media anual de MP2,5 son altas, excediendo los 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$), 20 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) y 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) valor de referencia de la normativa ambiental del MP2,5 en USA, Europa y según la OMS, respectivamente. Particularmente alto es el MP2,5 en la ciudad de Rancagua.

En la ciudad de Santiago en todas las campañas de monitoreo la concentración de MP2,5 excedió los valores de referencia medioambientales.

5.2. Correlaciones

5.2.1. Transporte

De la Figura 13 a la 21, podemos ver que nos encontramos con un aporte evidente de vehículos motorizados para todas las ciudades, excepto para Calama, ya que no existe allí un importante parque automotriz de vehículos a gasolina (o vehículos ligeros) asociado. En esta ciudad, si existe un aporte adicional de Plomo, ya que este elemento también es característico de procesos de fundición de minerales, actividades que se realizan en la zona (existe una fundición de Plomo en la ciudad).

Particularmente en Valparaíso no se obtiene una buena correlación, a pesar de ser una ciudad bastante poblada, esto esta relacionado al pequeño conjunto de datos que se tenía a disposición.

En Santiago se aprecia que la nube de puntos se desplaza a menores valores de Plomo entre el año 1999 y 2004, debido a la reducción de este contaminante en los combustibles líquidos. Sin embargo, la clara correlación que se aprecia el año 1999 es menos clara el año 2004, sugiriendo dos fuentes de plomo presentes; vehículos e industria.

En Rancagua el Plomo no se asocia a la actividad metalúrgica de la zona, relacionada a la gran minería, ya que la correlación con el Bromo es similar a la de Santiago (diferencias se deben a número de datos).

En la ciudad de Temuco se ve una buena correlación, por lo que los vehículos de motor son la fuente predominante de Bromo y Plomo, con una pendiente en un valor intermedio entre Santiago año 1999 y Santiago año 2004.

Al comparar nuestros resultados con nuestro valor de apoyo (ver Tabla 37) nos encontramos con que la ciudad de Iquique es la ciudad que más se asemeja al valor de apoyo asociado, por lo que se puede decir que los vehículos motorizados son la principal fuente de Bromo y Plomo en la ciudad.

En Tocopilla no hay una buena correlación entre el Plomo y el Bromo, probablemente porque hay poca flota de vehículos a gasolina.

En Viña del Mar y Valparaíso no hay buena correlación entre Pb y Br, lo cual puede deberse en parte a la falta de muestreos; los niveles de Plomo medidos son similares a los medidos en otras ciudades.

En Santiago entre el año 1999 y el 2004 las concentraciones han bajado claramente.

En Rancagua, pese al bajo número de datos, el comportamiento es similar al de otras ciudades. En Temuco se obtiene un valor que se relaciona directamente al transporte, ya que no existen fundiciones asociadas, por lo que la correlación es clara.

5.2.2. Polvo Natural (suelo)

Al compararse los distintos gráficos de la componente de polvo proveniente de suelos, se aprecian valores mucho más altos en Calama, Santiago y Rancagua, en comparación a las otras ciudades, que evidencian un aporte regional de polvo natural al MP2,5.

En otras ciudades como Viña del Mar y Valparaíso no se encuentran valores tan altos porque la mayor presencia de humedad inhibe el levantamiento de polvo superficial.

De la Figura 22 a la 57, podemos ver que las correlaciones de Al/Si, Ca/Si y Fe/Si predicen que estamos bajo la presencia de aportes de origen antropogénico (polvo resuspendido de calles) como aportes de fuentes naturales (erosión eólica), ambos con concentraciones prácticamente idénticas. La excepción es cuando existen actividades de construcción relevante (Calama, Tocopilla, Santiago y Rancagua) donde aparece una relación Ca/Si más alta.

Para la relación K/Fe no se obtuvo una buena correlación en todas las ciudades en estudio, ya que hay que considerar que el Potasio también es producto de quema de biomasa, por lo que el aporte de potasio es asociado al suelo y la quema de biomasa. Por ejemplo la ciudad de Temuco no presentó pendiente significativa (ver Tabla 38).

Para la correlación Al/Si todos los valores se encuentran dentro de lo esperado existiendo una variabilidad con respecto a cada ciudad debido a la geomorfología de cada zona, a excepción de Valparaíso donde se encuentra un valor bajo. Los valores mas altos se deben a la influencia de actividades de construcción y al mayor uso de cemento.

Para Ca/Si en la ciudad de Iquique se encuentra un valor muy alto, pero notar que hay pocos valores para tener una buena nube de puntos. Para la ciudad de Iquique también se obtuvo una buena correlación para K/Si dando un valor de $0,2696 \pm 0,0087$ (ver ANEXO II), que se asocia a componentes del suelo.

En Calama se tiene un valor alto de K/Fe debido a una fuerte intervención de la fundición Chuquicamata (donde se utiliza petróleo) lo que produce potasio, produciéndose un aporte adicional al que ya proviene del suelo.

En Santiago e Iquique no se observa un valor alto, lo que puede haber ocurrido es que el lugar donde se colocaron los medidores eran puntos muy impactados por el transporte, ya que el transporte emite Hierro por el desgaste de los neumáticos de vehículos, lo que puede aumentar este valor con respecto a lo esperado.

En Rancagua y Temuco, para K/Fe se puede observar un valor muy similar al recomendado, debido al uso de leña (quema de biomasa) que afecta este cociente.

5.2.3. Industrias

De la Figura 58 a la 77, vemos que la relación Ni/V se correlaciona bien para las ciudades costeras, principalmente las con actividades portuarias.

La relación P/S se cumple en Calama y Santiago, especialmente para Santiago el año 2004, donde se obtiene una alta correlación.

Referente a Cu/As, en general se obtiene lo esperado, las ciudades con actividades mineras reflejan la tendencia, Calama, Viña del Mar y Rancagua. También en Santiago se logra una buena correlación, aunque en una forma de 'cuña', con una contribución de dos fuentes, una con alta concentración de As (industria minera) y otra con aportes bajos, de origen natural.

Los valores de nuestras correlaciones (ver Tabla 39) para Ni/V son semejantes a nuestro valor de apoyo en ciudades con puertos donde existe movimiento de embarcaciones y consumo de petróleo pesado.

En Santiago el año 2004 la correlación Ni/V disminuyó drásticamente con respecto al 1999, debido a que el sector industrial se volcó al uso del gas natural. En ambos años no se aprecia evidencia de uso de petróleo pesado en cantidades relevantes.

En Temuco es esperable esta relación ya que éste no posee actividad industrial relevante.

Para P/S se puede ver que existe una buena correlación cuando existe una fuente asociada a SO₂. Las ciudades con actividades mineras y fundiciones presentan un valor alto.

Para Cu/As se tiene un valor alto en Calama, Viña del Mar y Valparaíso. Esto principalmente asociados a actividades metalúrgicas en la zona, en Calama a Codelco Norte y en Valparaíso y Viña del Mar a ENAMI.

En Rancagua hay una clara correlación Cu/As debido a la actividad de Caletones que impacta de alguna forma a la ciudad. Rancagua posee los mayores valores de As registrados en todo Chile.

Para la ciudad de Tocopilla se obtuvo una buena correlación para la relación Cu/Si con un valor de 0.2528 ± 0.0115 (ver ANEXO II), asociándose a actividades mineras de la zona.

5.3. Sulfatos y Azufre

El azufre es un aporte importante al MP2,5 de todas las ciudades. El azufre particulado es atribuido al sulfuro secundario producido por la oxidación de SO_2 , el cual es característico de los impactos de grandes fuentes emisoras de SO_2 , como fundiciones de Cobre o plantas termoelectricas. Las ciudades de Iquique y Tocopilla presentan los valores más altos de azufre, mientras que en Santiago este compuesto ha bajado ostensiblemente en los últimos años.

La presencia de sulfatos asociado a aerosoles marinos, proporcional al cloro fue mínima. Este aerosol marino proviene de la acción del viento que levanta esta salmuera. Al levantarla la agita y esta se evapora quedando estas partículas sólidas que son la solución más concentrada, que llega en la forma de aerosol marino a través del viento.

El mayor aporte al MP2,5 corresponde a sulfato antropogénico. Esto concuerda con otros estudios (CONAMA RM-SESMA-CENMA-Universidad de Chile, 1998), ya que en el MP2,5 existe menor cantidad de aerosol marino.

5.4. Quema de Biomasa

En la Figura 81 vemos que en la ciudad de Iquique el Kns es mayor levemente al Ks debido a actividades pirometalúrgicas en la zona.

Para Calama podemos ver una componente natural de potasio predominante, el resto proviene de actividades de fundición.

En Tocopilla existe un aporte de potasio independiente a la concentración de Fierro, debido a las termoeléctricas que consumen carbón. Además en el puerto de Tocopilla existe una gran cantidad de potasio relacionada a fertilizantes con otros componentes como cloro, nitrato, fosfato, etc. Este se almacena en patios donde la erosión eólica puede resuspenderlo.

En Viña del Mar y Valparaíso los valores del potasio (no-suelo) son similares, reflejando comportamientos similares de uso de leña residencial. Valparaíso presenta más potasio ligado a polvo natural posiblemente por mayores contribuciones del transporte (polvo de calles).

En Santiago existe un aumento de Potasio (no-suelo) en el tiempo, lo que sugiere incrementos en el consumo de leña residencial.

En Rancagua el valor de Kns se asocia principalmente a consumo de leña residencial; en esto es sólo superado por Temuco. Existe una alta componente de potasio asociado a levantamiento de polvo de suelos, quizás por cercanía a vías de transporte.

En Temuco la mayor parte de potasio se asocia principalmente a la quema de leña, con una clara preponderancia del potasio no vinculado a polvo natural sino a quema de biomasa. Estos valores son los más altos medidos en las ciudades analizadas.

5.5. Balance de MP2,5

En Calama y Tocopilla los balances andan bastante cercanos a lo observado como masa total en los filtros. Sin embargo en Santiago sólo se puede explicar una fracción del total del MP2.5 (55% y 60%, respectivamente). Dado que no se midió

nitrate ni amonio en dichas campañas (PIXE y FRX no miden nitrógeno y mucho menos hidrógeno), queda la impresión que el nitrato de amonio explicaría gran parte de la discrepancia.

En efecto, otros estudios que han medido explícitamente los aerosoles secundarios (Gramsch, 2005) han encontrado valores de nitratos del orden del 22% del MP2,5.

Si se considera que los nitratos no se midieron, que no se han estimado contribuciones adicionales por otros compuestos en los metales traza (como óxidos por ejemplo), ni especies mineralógicas que estén hidratadas, los porcentajes de masa calculada son razonables.

Se asume que los balances funcionan bien en Calma y Tocopilla porque la principal especie secundaria presente (sulfatos) se ha medido.

6. CONCLUSIONES

- Las ciudades poseen diferentes composiciones y fuentes importantes, esto nos permite establecer comparaciones entre ellas, fuentes naturales como fuentes antropogénicas de diferentes elementos que componen el MP2,5.
- Las ciudades del norte de Chile poseen altas contribuciones de sulfatos y aportes relevantes de polvo natural.
- Las ciudades de la zona central (V, VI, Metropolitana) poseen altos valores del MP2,5 total, presencia relevante de plomo y bromo de vehículos, y una componente importante de aportes naturales.
- Temuco representa las ciudades del sur con alto consumo de leña residencial, aunque valores más bajos de los demás contaminantes traza, indicando menores aportes de fuentes antropogénicas, pero el transporte aparece como relevante allí.
- Los catalizadores que poseen los vehículos limpian parte de las emisiones, pero no así el plomo, el dióxido de carbono ni las macropartículas. La presencia de plomo se explica porque este, la gasolina y el diesel poseen un porcentaje de ese elemento, por lo que donde hay flota de vehículos relevante, aparecen mayores valores de plomo y bromo.

- Los elementos Pb y Br pueden vincularse a la emisión vehicular, tanto al consumo de combustibles como al desgaste propiamente dicho de los automóviles.
- Los elementos: Al, Si, Ca, Fe y K pueden ser asociados a fuentes naturales, tales como la corteza terrestre. Adicionalmente, algunos elementos tales como Ca, K y Fe también podrían provenir del desgaste de los materiales de la construcción, aunque la fuente natural parece ser más importante que esta fuente antropogénica, lo que permite identificar el polvo resuspendido de calles.
- El mayor aporte al MP2,5 es producido por vehículos motorizados y quema de biomasa (combustibles fósiles y/o leña) tanto en el sector industrial como residencial y comercial.
- Los resultados de este tipo de estudios pueden utilizarse para estimar el riesgo de contaminación atmosférica y para desarrollar estrategias efectivas de control.
- En Chile se hace indispensable una Norma para MP2,5 ya que los valores de todas las ciudades sobrepasan los valores de referencia ambiental de EE.UU y la OMS.

- Algunas recomendaciones para disminuir las emisiones de MP2,5 son:
 - ✓ No quemar basura
 - ✓ No encender chimeneas
 - ✓ Mantener en buen estado el motor de los vehículos
 - ✓ Usar combustible que cumpla con las normas de calidad
 - ✓ Preferir el transporte publico
 - ✓ Respetar las medidas decretadas en caso de episodios críticos de contaminación
 - ✓ Fomentar el lavado y pavimentación de calles, la reforestación, creación de areas verdes que contribuyen a la eliminación de sitios eriazos, grandes fuentes de polvo en suspensión
 - ✓ Referentes al sector Industrial cumplir con las medidas del Plan de Descontaminación y respetar las normas de emisión impuestas por la autoridad

7. BIBLIOGRAFIA

Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition 2000, World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen. Párrafo vii-ix

Aranda, C.; Astudillo, P.; Días, M.S.; Molina, A.; Pozo, P. (1998)). Correlación entre contaminantes atmosféricos y mortalidad infantil por bronconeumonía en Santiago"; *Enf. Resp. Cir. Torac.*; (supl.) 33.

Artaxo, P., 1996. Aerosol Source Apportionment in Santiago de Chile Wintertime 1996. Report Prepared for CONAMA-RM-Comision Nacional del Medio Ambiente, Dirección Región Metropolitana.

Artaxo, P., 1998. Aerosol Characterization Study in Santiago de Chile Wintertime 1998. Report Prepared for CONAMA-RM-Comision Nacional del Medio Ambiente-Santiago de Chile.

Artaxo, P., 1999. Aerosol Characterization Study in Santiago de Chile 1999. Report prepared for CONAMA- RM- Comision Nacional del Medio Ambiente, Santiago de Chile.

Elias V., Simoneit B., Pereira S., Cabral J., Cardoso J., 1999. Detection of high molecular weight organic tracers in vegetation smoke samples by high-temperature – Mass Spectrometry. *Environment Science and Technology*, 33, 2369 – 2376.

DICTUC S.A., 2006. Análisis de la Calidad del Aire para MP-10 en Calama, División Ingeniería Química y Bioprocesos. Estudio realizado para CONAMA II Región.

Jorquera, H., 2006. Source apportionment of PM10 and PM2.5 at Tocopilla, Chile (22°05' S, 70°12' W).

Jorquera, H., 2004. Compuestos elementales MP en Santiago 2004, Proyecto FONDECYT. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Kavouras, I., Koutrakis, P., Cereceda-Balic, F., & Oyola, P. (2001). Source apportionment of PM10 and PM2.5 in five Chilean cities using factor analysis. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 51, 451–464.

Hedberg, E., Gidhagen, L. y Johansson, C. (2005). Source contributions to PM10 and arsenic concentrations in Central Chile using positive matrix factorization, *Atmospheric Environment*, 39, 549–561.

Lemieux P., Lutes C., Santoianni D., 2004. Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 1-32.

Lippmann M., 2003. The U.S. Environmental Protection Agency Particulate Matter Health Effects Research Centers Program: A Midcourse Report of Status, Progress, and Plans, *Environmental Health Perspectives*, V. 111, No. 8, p.1074 -1092.

Morales, R., 1ª Edición Mayo 2006. Contaminación Atmosférica Urbana, Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago, 1ª Edición, Pag. 88-89

M. Sillanpa, A. Frey, R. Hillamo, A. S. Pennanen, y R. O. Salonen, Comparison of the levels of organic, elemental and inorganic carbon in particulate matter in six urban environments in Europe, *Atmos. Chem. Phys.*

Préndez, M. and Ortiz, J. (1989), "Atmospheric pollution by fractionated particulate matter of Santiago, Chile". *Man and his ecosystem, Amsterdam*, 3,575-580.

Préndez, M.; Ortiz, J.; Cortés, E. and Cassorla, V. (1984), "Elemental composition of airborne particulate matter from Santiago City, Chile". *Journal of Air Pollution Control Association, JAPCA*, 34, 54-56.

Roy M. Harrison, Alan M. Jones, Royston G. Lawrence, A pragmatic mass closure model for airborne particulate matter at urban background and roadside sites, *Atmospheric Environment* 37 (2003) 4927–4933.

Simoneit B., Schauer J., Nolte C., Oros D., Elias V., Fraser M., Rogge W., Cass G., 1999. Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles. *Atmospheric Environment*, 33, 173 – 182.

USEPA – United States Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov>; Fecha: 04/2005; Estandar de Calidad de Aire y niveles que determinan situaciones de emergencia ambiental en EEUU.

Warneck P. Chemistry of the natural atmosphere. Academy Press. International Geophysics Series, 1977.

ANEXOS

ANEXO I

Tabla 1. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Iquique año 1998, concentraciones expresadas en ng/m³N

Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb
65	115	9	2.648	8	101	118	2	4	72	2	4	5	17	128
31	97	9	3.441	8	72	80	2	7	55	2	3	5	10	104
48	231	14	1.016	691	193	318	11	5	171	1	5	3	47	170
-	-	2	1.441	8.322	373	986	26	8	416	4	11	1	87	185
32	139	2	1.773	53	105	113	2	1	68	1	3	0	18	110
26	104	7	975	526	153	144	5	5	96	1	3	0	38	140
83	337	12	2.989	78	262	380	14	17	200	5	7	1	38	238
13	142	12	2.092	56	154	157	5	11	135	3	5	4	16	128
17	109	4	6.087	8	358	77	5	4	99	0			28	185
20	96	2	2.233	32	125	94	2	1	86	0	5	2	12	95
28	111	7	2.070	8	138	94	2	1	58	0	5	3	13	86
78	162	2	8	36	283	146	2	10	103	4	6	7	16	105
25	97	2	2.709	8	208	97	2	8	86	2	3	6	31	175
34	160	2	3.621	64	174	183	2	1	71	1	5	4	15	97
18	69	5	4.474	8	297	49	5	8	48	3	7	8	26	184
16	69	7	4.736	8	184	64	59	6	60	1	6	7	26	193
50	131	2	3.074	8	99	55	2	9	65	3	6	6	40	194
-	-	2	3.500	6.348	-	10.057	294	32	-	12	-	-	94	279
20	49	2	3.181	8	186	38	2	1	27	2	7	8	19	122
32	93	2	6.064	8	289	86	2	6	47	2	8	8	27	175
-	-	2	5.391	3.749	-	1.526	76	23	-	8	-	-	107	253
42	69	2	3.982	8	186	74	2	3	104	2	7	6	40	200
14	131	2	6.333	8	102	92	2	4	50	2	8	12	23	122
31	84	8	3.445	8	58	66	2	3	41	1	10	3	26	107
5	45	12	2.239	18	124	66	2	2	27	0	6	3	20	90
28	72	2	2.375	8	151	61	2	1	58	1	4	2	35	136

Tabla 2. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Tocopilla año 2006, concentraciones expresadas en ng/m³N

Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb	OC	EC
99	149	2.544	100	86	126	10	5	125	1	13	0	3	9	2.832	1.678
106	187	2.706	119	115	230	7	8	126	3	18	5	5	4		
81	151	1.905	147	108	92	9	2	113	1	12	2	2	7		
80	120	2.228	468	168	123	6	9	90	2	12	2	6	6	2.599	1.156
112	264	1.847	1.151	163	120	6	21	110	8	13	4	11	5		
121	195	3.307	290	170	126	10	8	121	3	21	5	10	4		
98	188	3.556	400	146	143	10	10	131	2	21	7	8	4	2.913	1.008
119	178	2.944	557	184	154	9	14	139	6	18	4	6	12		
143	278	2.772	177	178	121	10	9	188	3	42	0	6	8		
124	247	3.735	47	113	157	8	14	164	6	38	5	6	4	1.885	2.561
83	164	3.027	47	81	119	4	1	83	1	10	6	2	9		
113	208	2.426	89	91	103	8	3	120	0	9	5	3	4	1.661	853
132	184	3.279	296	184	155	8	4	137	0	12	8	8	6		
93	136	3.442	33	94	106	6	7	100	3	12	21	7	2		
146	202	4.992	33	99	141	11	15	133	4	12	37	5	8	2.065	1.278
104	176	4.724	99	140	154	11	18	129	6	12	23	12	15		
186	269	3.321	162	152	216	13	18	199	7	15	14	6	7		
131	178	2.377	618	142	179	10	40	178	15	16	8	10	2	3.662	2.801
83	172	1.865	400	116	116	10	10	123	4	12	2	4	4		
130	186	1.668	1.423	136	144	10	5	136	2	25	0	8	5		
149	231	2.438	1.760	150	197	10	9	175	4	24	0	8	7	2.807	2.031
83	153	2.854	457	154	197	10	14	146	5	23	6	9	10		
107	181	2.926	85	93	132	6	11	123	3	16	8	5	9	1.963	2.258
85	100	2.923	389	101	104	4	13	80	4	7	4	4	9		
142	228	3.003	894	150	169	11	27	160	11	15	2	11	8	3.562	2.908
54	63	3.922	28	91	66	5	10	53	3	5	1	3	6		
140	159	6.030	4	144	92	8	7	92	2	8	2	6	7	2.120	969
116	198	3.592	96	122	118	7	9	126	2	6	5	5	5		
245	360	2.989	147	196	183	18	11	241	5	12	8	5	12	2.615	1.423

146	196	3.923	21	144	172	10	5	164	3	10	7	7	5		
203	319	4.543	36	148	222	16	7	230	3	10	6	6	14	1.979	1.695
140	183	3.022	31	110	102	11	2	119	0	5	5	5	9		
140	183	3.022	31	110	102	11	2	119	0	5	5	5	9		
191	258	2.217	127	117	161	13	2	189	1	14	5	8	10		
210	317	5.746	4	117	215	16	3	244	2	17	17	1	12		
84	113	2.012	57	98	67	2	4	78	0	11	1	1	4	2.586	1.031
102	202	2.716	89	150	284	11	4	146	2	26	3	4	15		
60	135	1.739	195	136	80	5	6	113	0	19	0	2	3		
80	113	2.302	474	163	118	3	6	106	3	22	1	7	3	2.499	1.285
106	153	1.571	885	272	119	7	20	128	8	24	0	5	10		
118	204	3.139	239	298	124	6	8	122	3	25	5	10	5		
145	246	2.864	400	139	153	10	9	163	3	41	7	7	7	2.316	1.126
84	142	2.860	683	179	128	6	14	96	7	19	7	6	6		
217	460	2.436	304	174	123	16	10	260	3	76	2	7	8		
107	195	3.605	31	108	81	9	13	146	4	32	5	8	7	3.624	3.024
50	123	2.874	113	75	58	5	1	75	1	9	2	5	12		
73	153	2.219	258	95	74	4	1	77	0	18	0	5	0		
113	246	2.827	128	142	97	9	3	136	0	23	4	6	2	2.152	1.256
87	150	3.246	457	145	107	6	3	102	1	18	7	7	5		
90	130	3.251	258	192	98	5	6	100	2	13	21	7	39		
91	125	4.853	73	158	74	6	18	92	7	14	42	8	21	1.689	1.993
86	150	3.477	66	117	91	6	14	97	4	22	22	5	12		
102	198	3.206	162	160	108	6	14	119	6	23	14	8	15		
120	174	2.128	600	181	112	8	29	134	11	20	3	6	26	4.122	2.226
100	151	1.857	448	185	98	6	10	106	3	15	4	6	13		
129	215	1.502	1.501	164	136	13	4	184	2	42	0	5	9		
181	242	2.432	1.535	184	148	108	17	202	6	37	1	6	26	2.895	1.806
76	128	2.650	455	178	103	6	11	136	3	19	4	8	16		
118	186	2.798	139	104	69	6	9	134	3	27	11	4	8	2.399	1.329
110	135	3.123	417	138	102	5	18	85	7	9	0	7	13		
142	179	2.925	887	170	152	10	26	133	8	16	5	9	11	2.267	2.526
53	59	2.860	61	88	60	4	6	42	2	3	0	2	3		

67	104	6.407	1	130	64	4	5	66	2	6	4	6	8	2.099	700
91	128	2.814	39	94	71	6	6	74	3	8	2	4	4		
132	202	2.744	60	130	91	8	8	142	2	19	4	4	8	1.760	1.276
95	150	2.949	27	125	69	6	3	90	1	8	6	3	1		
149	191	4.062	10	131	90	11	5	130	1	7	8	5	5	2.247	1.208
111	167	2.219	56	81	90	9	1	107	0	7	1	9	8		
150	232	2.843	152	125	123	15	3	164	1	16	4	8	7	2.090	901
156	205	1.955	235	120	110	8	3	150	1	15	0	9	11		
200	282	2.725	677	106	156	15	3	229	1	55	4	5	7	2.335	1.020
152	275	2.325	383	86	144	11	5	208	1	55	0	3	3		
124	255	1.885	475	89	98	9	1	170	1	51	0	5	2		
224	327	2.503	2.865	160	206	8	5	214	2	81	0	10	11	1.864	718
260	452	2.208	2.102	136	200	19	7	352	2	100	0	7	6		
270	451	3.069	1.913	139	173	15	3	320	3	82	5	8	7		
402	803	3.898	2.384	214	291	34	2	594	1	193	2	6	7	3.032	218
218	346	2.816	3.005	163	202	14	2	243	0	90	4	6	7		
321	745	2.239	1.141	132	178	24	3	483	1	149	6	5	4		
494	1.003	3.648	230	155	240	47	7	760	0	291	4	5	4	2.131	750
100	241	2.560	197	65	74	6	3	134	1	37	2	3	6		
149	301	1.744	752	101	98	8	1	198	1	74	1	2	1		
182	377	2.693	414	108	123	14	1	230	0	72	2	8	4	1.816	747
215	341	3.551	2.630	181	200	11	4	241	2	78	8	13	5		
269	660	3.649	411	161	212	19	3	315	0	86	10	6	13		
169	240	4.660	53	81	93	8	7	147	2	57	28	5	9	1.513	853
192	404	4.815	120	125	153	14	11	257	3	103	27	8	9		
254	496	3.165	954	136	164	12	4	277	2	110	11	7	7		
156	274	1.894	1.307	119	123	7	3	246	1	68	4	4	7	2.116	511
195	353	1.853	694	128	154	13	5	214	2	69	2	8	6		
155	268	137	1.128	59	90	10	0	187	0	53	0	1	2		
300	465	2.059	2.951	165	223	20	3	388	0	93	0	3	7	2.103	343
188	332	2.672	561	119	145	15	2	291	1	66	5	4	8		
198	405	2.724	202	81	84	10	6	247	2	67	14	5	3	1.459	572
155	465	2.911	2.281	164	157	7	5	125	3	34	6	10	7		

150	319	2.740	1.785	166	174	12	5	226	3	70	0	9	10	1.786	521
79	99	4.219	27	108	80	5	5	72	2	17	2	5	5		
104	216	5.438	22	97	92	7	2	92	1	21	4	5	3	1.718	498
143	279	3.491	100	113	109	8	2	156	1	47	0	8	7		
143	307	2.549	181	129	94	9	3	176	2	50	4	5	5	1.472	440
115	226	3.710	16	120	103	9	3	152	1	27	5	7	8		
89	120	3.742	183	165	93	9	2	105	1	11	9	6	4	1.665	445
185	358	2.809	268	112	130	15	3	238	0	63	3	6	7		
155	292	2.656	478	95	107	12	1	189	0	53	0	8	5		
98	182	2.480	135	83	99	7	2	146	1	36	1	6	7		
111	167	2.219	56	81	90	9	1	107	0	7	1	9	8		
150	232	2.843	152	125	123	15	3	164	1	16	4	8	7	2.090	901

Tabla 3. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Calama año 2007, concentraciones expresadas en ng/m³N

Na	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb	OC	EC
190	168	443	27	749	57	106	290	10	0	156	1	14	30	4	15	2.605	1.222
162	171	450	54	1.442	33	105	261	9	1	164	1	18	56	3	86	3.062	1.075
187	136	373	46	1.304	43	87	259	9	1	141	0	9	22	1	9	3.443	1.543
211	686	1.811	26	775	37	297	576	35	2	544	0	18	9	1	8	3.094	848
179	209	460	29	896	136	91	243	8	1	154	0	9	18	1	5	2.342	1.396
272	177	537	42	1.337	90	111	296	12	0	186	1	15	16	1	12	2.005	1.284
329	233	640	64	1.949	89	155	317	13	2	208	0	18	39	4	19	2.525	1.960
123	115	352	37	996	21	71	204	7	1	125	0	12	20	1	16	2.047	1.280
33	85	236	20	608	22	52	131	5	0	74	0	7	9	1	7	1.524	835
215	157	396	31	877	58	140	200	9	0	135	1	9	21	1	14	2.550	1.154
149	109	276	21	648	55	65	156	4	0	95	0	11	34	1	10	2.794	2.197
15	66	193	25	806	31	69	130	4	0	76	0	9	30	4	2	3.554	1.707
152	100	280	29	848	46	83	143	6	1	101	0	9	24	1	2	2.931	1.419
222	143	402	54	1.502	42	102	238	11	2	138	1	15	52	1	8	4.084	1.497
208	137	381	48	1.362	50	90	250	7	1	140	0	9	19	4	2	3.489	2.027
125	183	575	30	888	68	121	417	13	1	179	0	9	28	1	51	3.757	1.922
62	297	878	21	771	45	178	439	21	1	281	1	5	9	1	2	2.708	1.062
164	97	271	24	700	42	65	162	7	0	98	0	9	20	1	7	2.271	1.732
144	163	400	21	734	42	85	212	10	1	132	1	8	19	1	12	2.464	1.749
118	97	270	19	672	33	73	142	8	1	96	1	6	1	1	5	2.765	1.021
189	160	504	46	1.195	107	131	304	13	0	198	2	18	28	4	7	2.345	1.418
99	148	386	18	488	82	85	232	8	0	143	0	10	4	1	13	2.549	1.582
34	108	293	20	581	69	67	164	6	1	100	0	8	20	1	9	3.203	1.943
183	119	347	37	1.219	68	89	156	8	0	124	0	10	10	1	14	2.808	1.948
119	90	260	15	446	52	57	122	4	0	76	0	4	18	1	6	1.438	376
97	112	313	29	735	23	63	164	5	0	96	1	6	10	1	2	2.389	402
199	99	276	84	2.317	14	84	120	5	1	93	1	5	32	1	2	2.010	533

135	122	322	47	1.373	16	65	159	7	2	107	1	7	21	3	5	2.978	1.344	4.322
284	517	1.387	50	1.401	32	265	702	29	3	423	1	5	17	1	11	2.597	524	3.121
57	139	365	24	684	10	79	177	7	0	109	0	4	10	3	5	1.896	151	2.047
86	151	444	24	727	14	79	182	8	1	142	1	5	7	1	6	1.137	361	1.498
15	73	197	15	443	40	41	87	4	0	62	1	6	10	1	5	1.294	401	1.696
259	180	468	42	1.213	60	99	195	9	2	153	0	7	10	1	5	2.076	464	2.540
131	128	325	38	1.015	14	63	115	7	1	113	0	4	7	1	2	1.462	265	1.727
50	113	317	40	1.107	20	64	147	8	2	109	1	4	2	1	2	1.461	472	1.933
129	38	104	25	816	19	32	40	4	1	57	0	6	19	1	2	1.694	181	1.874
245	72	171	70	1.778	4	43	57	3	0	60	0	7	12	1	8	2.940	574	3.514
41	63	150	24	622	16	46	50	3	0	51	0	4	9	1	2	2.225	400	2.625
129	83	196	18	614	4	40	58	3	0	67	0	5	12	1	6	780	203	983
42	54	145	9	353	29	29	50	3	0	63	0	6	4	3	2	982	314	1.296
15	83	195	3	275	115	82	54	4	0	77	0	8	7	1	2	1.555	357	1.912
86	100	248	15	464	38	48	72	5	0	82	0	7	14	1	7	1.082	237	1.319
111	111	293	17	619	72	58	115	6	0	95	0	10	24	1	10	1.861	774	2.635
142	137	335	21	850	68	63	90	7	0	122	0	4	3	1	2	726	158	884
69	31	86	17	624	35	37	24	3	1	35	0	2	7	1	2	642	133	775
131	50	182	27	724	17	30	52	9	1	98	0	5	2	1	319	1.336	252	1.588
213	745	1.694	58	1.834	35	420	358	38	7	494	2	122	174	1	8	1.607	2.033	3.640
219	733	1.594	36	1.270	41	454	377	31	11	405	3	114	157	1	2	2.977	2.773	5.750
205	754	1.572	41	1.172	26	475	357	26	5	390	1	100	46	1	12	2.117	2.117	4.234
189	1.454	3.279	40	1.327	54	959	659	53	9	779	2	230	256	1	15	2.188	2.964	5.152
167	583	1.258	48	1.346	39	374	358	20	11	267	3	78	111	1	14	2.456	2.858	5.314
183	538	1.219	56	1.465	27	325	328	22	12	317	4	126	175	1	14	2.918	3.365	6.283
172	669	1.561	29	1.165	27	428	271	28	13	425	5	92	43	1	9	2.521	797	3.318

Tabla 4. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Viña del Mar año 1998, concentraciones expresadas en ng/m³N

Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb
40	221	2	3.053	8	190	108	2	29	162	9	153	194	6	365
62	236	2	2.121	8	113	291	2	7	316	3	13	8	8	84
32	91	2	1.058	8	114	40	2	4	101	1	8	2	10	84
183	522	2	771	19	127	415	25	22	293	6	7	3	15	70
152	334	2	3.061	8	207	131	8	22	233	8	11	14	8	115
116	275	2	838	123	186	89	14	61	163	20	4	1	9	53
70	213	2	1.172	99	289	99	2	17	145	7	12	6	10	54
197	488	2	1.507	8	407	187	25	95	352	34	29	8	15	160
136	551	2	8.666	8	630	174	30	36	374	14	54	71	16	218
41	152	2	2.835	8	180	45	2	53	82	27	44	13	5	48
76	257	2	2.520	8	394	97	16	137	252	46	16	34	11	93
32	171	2	1.609	8	179	35	8	24	171	9	52	49	20	166
		9	2.023	16			199	28		7	77	71	120	
30	96	2	2.269	8	185	39	7	5	121	2	29	25	14	101
42	218	2	1.847	8	288	58	2	3	156	2	18	23	18	106
30	108	2	959	8	133	51	2	1	128	1	11	27	11	70
65	200	5	588	29	155	78	9	5	245	1	27	18	33	179
5	135	2	5.887	8	317	55	2	11	158	5	57	159	20	263
53	182	2	2.971	8	225	47	2	9	139	5	55	46	23	194
80	307	2	2.783	8	514	108	19	10	237	3	30	133	25	110
59	134	2	815	8	230	61	10	5	139	2	5	5	15	62
69	179	2	340	67	131	67	9	1	211	0	5	1	10	31
58	163	5	328	116	165	62	12	2	153	1	7	4	15	48
52	130	9	1.327	8	213	49	10	3	93	1	11	14	19	56
96	264	2	2.887	8	288	94	2	8	227	5	49	42	25	169

Tabla 5. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Valparaíso año 1998, concentraciones expresadas en ng/m³N

Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb
57	163	2	2716	8	184	104	10	25	216	7	57	67	21	308
52	130	2	1962	8	143	91	8	12	151	4	16	16	36	297
66	197	5	2098	8	116	116	2	1	192	5	29	5	32	250
59	212	9	1752	8	192	106	2	28	144	10	35	16	23	230
43	117	2	752	8	124	77	9	15	137	5	12	5	50	266
88	233	2	835	25	303	108	11	30	191	10	7	0	50	280
37	119	2	1197	34	200	95	9	22	126	7	55	32	25	187
44	191	2	1925	8	347	173	5	27	251	9	60	22	29	276
31	138	2	2747	8	191	64	7	8	123	3	11	15	15	156
54	219	5	2370	8	223	111	2	13	139	5	14	10	13	133
60	201	5	1758	8	529	178	15	36	243	9	20	20	32	228
33	248	2	1648	8	136	76	7	19	161	5	107	70	16	361
106	345	9	1279	8	391	145	12	18	257	6	34	25	18	182
104	322	2	1128	28	287	159	2	12	276	7	34	32	56	317
26	224	2	3595	8	218	99	2	14	212	6	55	81	30	323
35	154	18	4108	8	284	68	2	6	175	3	28	96	35	242
58	211	2	2615	8	273	110	2	3	232	3	120	33	33	231
43	300	2	4511	8	376	99	10	30	190	9	143	151	40	490
44	110	2	2288	8	326	71	6	7	126	2	27	23	30	230
54	193	7	1964	18	368	107	10	3	150	1	58	27	65	319
59	184	2	1751	19	385	112	2	4	187	2	30	63	56	255
54	107	6	681	8	203	87	2	1	104	2	12	2	26	118
39	104	7	409	34	169	74	8	6	126	2	14	3	23	83
49	166	6	345	62		129	11	2		0	60	1	26	98
61	120	2	1322	8	340	72	10	8	112	2	11	7	28	96
75	222	2	2498	8	279	121	10	5	174	3	48	40	27	183

Tabla 6. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Santiago año 1996, concentraciones expresadas en ng/m³N

	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb	EC
sitio 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
n	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Promedio (x)	161	450	24	2.152	226	279	210	22	25	343	8	36	86	84	222	10.349
Desv. Stand	97	268	10	1.086	160	147	123	12	13	190	4	25	56	56	115	4.316
Min	23	56	5	203	36	46	27	4	3	48	1	1	3	7	24	1.358
Max	489	1.507	71	4.519	996	855	580	58	59	936	22	156	278	242	540	20.545
sitio 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
n	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Promedio (x)	67	245	11	1.412	37	128	83	11	8	143	3	16	47	16	69	3.529
Desv. Stand	32	134	6	852	26	66	42	5	5	75	2	9	41	8	35	1.683
Min	17	58	2	263	4	30	21	4	2	39	1	4	6	6	25	1.373
Max	169	773	26	4.640	136	347	262	32	21	447	8	44	231	44	166	8.555
sitio 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
n	33	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Promedio (x)	70	196	8	1.625	54	184	67	7	5	88	2	16	131	7	30	2.309
Desv. Stand	54	159	4	779	26	101	56	4	3	66	1	12	156	4	15	1.072
Min	17	8	0	128	12	32	1	2	2	10	0	3	4	2	9	583
Max	311	791	19	3.347	115	488	339	17	16	328	5	62	780	20	73	5.090

Tabla 7. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Santiago año 1998, concentraciones expresadas en ng/m³N

	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb	EC
sitio 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
n	60	60	29	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Promedio (x)	776	657	16	1.841	100	307	280	55	7	457	3	35	49	75	177	8.460
Desv. Stand	227	413	7	1.339	58	153	130	19	4	173	2	19	32	57	121	5.310
Min	392	111	4	408	29	105	78	24	2	187	0	5	7	8	24	1.040
Max	1.402	2.007	35	6.371	391	868	677	115	18	864	8	84	130	237	636	28.240
sitio 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
n	59	59	30	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Promedio (x)	620	466	31	1.830	40	251	225	44	5	384	2	25	57	29	81	5.460
Desv. Stand	290	288	19	1.177	23	128	115	19	2	173	1	11	58	15	35	1.590
Min	128	37	6	426	10	80	55	10	2	102	1	8	12	6	38	2.180
Max	1.680	1.141	95	6.259	168	947	540	115	12	1.050	4	76	259	114	248	10.140
sitio 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
n	60	60	33	60	60	60	60	60	45	60	38	60	60	60	60	60
Promedio (x)	469	691	15	1.553	75	261	254	42	4	331	1	20	45	44	100	6
Desv. Stand	246	386	8	1.016	52	108	130	16	2	135	0	13	37	34	65	3
Min	83	66	2	234	20	118	66	13	1	87	1	3	9	11	30	2
Max	1.123	1.987	37	4.574	245	625	723	98	10	722	2	61	172	148	289	16
sitio 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
n	30	30	9	30	30	30	30	30	30	30	16	30	30	30	30	30
Promedio (x)	470	832	21	1.808	41	262	259	50	5	451	2	23	59	16	56	3.390
Desv. Stand	323	573	21	1.067	26	138	178	29	3	265	2	13	53	9	29	1.740
Min	91	51	4	372	8	84	91	12	1	103	0	3	6	4	16	1.020
Max	1.765	2.975	70	4.420	94	572	1.010	150	15	1.300	8	59	249	36	128	7.150
sitio 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Promedio (x)	503	623	12	1.825	48	298	306	33	4	262	2	18	71	13	38	29
Desv. Stand	221	319	7	1.194	43	116	223	15	2	116	1	13	95	6	19	3
Min	205	34	6	470	6	86	20	4	2	51	0	0	2	5	16	1
Max	1.021	1.327	23	5.320	166	640	1.021	62	8	501	4	54	483	30	83	1

Tabla 8. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Santiago año 1999, concentraciones expresadas en ng/m³

Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	V	Ti	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb	EC
122	541	10	330	57	165	152	3	21	287	2	25	5	39	156	9.314
88	336	7	837	53	165	82	3	13	147	NULO	16	17	27	86	7.290
43	295	NULO	481	61	142	65	3	16	184	NULO	14	8	26	125	8.061
123	361	9	426	94	177	138	3	27	305	NULO	26	7	52	197	10.308
124	411	NULO	498	78	98	133	3	23	249	1	42	6	25	95	5.378
153	402	11	462	64	129	160	3	25	290	NULO	24	7	40	133	7.768
192	421	12	629	58	173	158	4	27	304	NULO	21	6	58	203	9.064
216	655	17	1.694	59	211	210	4	34	401	NULO	43	38	63	240	9.005
113	290	NULO	2.061	44	85	111	5	16	183	NULO	25	29	27	82	3.611
211	489	13	1.629	60	137	222	4	28	363	NULO	26	23	29	101	7.165
179	372	NULO	1.565	42	162	175	4	30	397	2	26	44	24	123	11.144
71	101	NULO	1.371	38	95	46	2	10	190	1	19	25	15	53	4.903
51	80	NULO	1.212	29	73	25	2	7	108	NULO	14	12	9	44	3.413
71	141	NULO	1.494	27	99	68	3	7	138	NULO	16	22	14	45	4.093
51	50	NULO	173	20	62	15	2	4	62	NULO	2	4	13	76	3.494
173	357	8	1.505	58	175	124	4	20	258	NULO	62	71	32	103	5.825
213	485	NULO	2.579	89	228	236	7	34	461	2	63	57	51	184	9.524
122	246	NULO	1.262	62	158	120	2	19	317	NULO	24	43	35	189	9.838
277	696	NULO	2.772	127	327	289	8	43	673	1	61	96	72	321	10.018
168	471	NULO	1.157	55	115	178	3	22	454	NULO	22	44	25	76	4.707
175	382	NULO	1.847	92	321	164	3	26	316	NULO	43	48	84	286	10.053
157	447	NULO	1.741	65	163	128	4	18	226	NULO	31	31	33	126	5.061
189	408	9	1.408	128	278	242	5	33	403	NULO	28	14	70	253	13.108
222	530	19	1.716	148	281	238	4	35	560	1	64	27	47	190	11.935
120	367	15	1.054	93	160	146	5	25	387	NULO	34	13	27	135	10.199
123	417	NULO	2.060	45	101	164	2	23	325	NULO	22	17	19	125	5.882
87	248	NULO	436	30	80	105	2	14	268	NULO	16	16	14	78	4.407
192	443	NULO	759	22	134	181	3	23	298	NULO	17	18	22	130	6.413
156	369	10	943	24	115	155	1	27	377	NULO	14	19	15	77	7.744

111	244	NULO	680	17	84	113	3	16	263	NULO	15	11	11	81	4.347
103	191	NULO	2.012	27	124	96	3	14	221	NULO	49	14	14	82	4.009
213	409	7	448	53	192	167	3	23	285	NULO	23	10	56	167	9.114
283	668	12	522	32	133	276	4	41	571	NULO	19	12	20	120	7.074
125	275	NULO	179	14	49	100	2	16	227	NULO	7	3	14	78	4.941
164	349	6	668	16	81	126	3	17	201	NULO	13	28	11	65	3.219
238	551	NULO	2.994	39	262	199	5	31	396	NULO	53	30	19	115	7.365
129	273	NULO	3.208	41	189	109	5	13	316	NULO	41	26	21	105	7.380
477	915	NULO	3.346	147	489	376	11	84	1.250	9	101	104	85	348	23.058
248	507	NULO	449	88	143	202	2	32	346	NULO	14	11	43	150	8.569
250	500	NULO	1.046	60	125	181	3	29	338	NULO	42	80	30	116	6.198
196	391	NULO	2.320	32	111	144	3	17	220	NULO	38	46	16	70	4.023
93	156	NULO	604	20	47	55	1	16	199	NULO	26	44	22	75	3.462
404	826	NULO	2.184	81	194	313	8	46	578	NULO	53	86	18	132	7.694
404	867	NULO	2.180	79	241	343	5	41	483	NULO	90	45	14	76	5.433
658	1.575	NULO	1.409	98	287	448	4	69	796	NULO	79	44	16	64	5.314
244	506	9	1.401	190	233	219	7	28	347	1	29	13	31	106	7.412
159	317	5	447	77	100	135	3	15	216	NULO	19	3	14	66	8.498
198	390	9	487	115	177	152	3	19	255	NULO	12	13	58	151	8.620
164	363	NULO	1.780	90	125	126	2	18	196	NULO	16	78	18	46	6.900
93	117	10	628	171	166	68	2	10	236	1	33	9	55	155	10.115
297	656	19	1.269	177	206	288	3	34	485	NULO	80	10	62	265	5.148
322	761	NULO	958	87	130	260	4	39	481	NULO	26	35	23	104	7.178
118	295	11	2.131	100	159	119	3	17	225	NULO	19	14	22	99	6.034
234	549	24	2.191	148	251	230	7	37	505	1	52	56	68	286	16.031
209	470	13	1.063	90	223	179	3	22	301	NULO	17	23	51	172	10.044
55	90	NULO	428	126	155	52	4	13	225	NULO	14	2	42	162	10.617
222	589	6	404	92	124	230	4	34	366	NULO	23	4	23	110	6.010
189	524	13	709	197	143	208	4	34	406	1	52	3	31	147	8.842
83	205	4	287	46	106	91	1	11	136	NULO	28	2	19	89	3.994
29	86	NULO	168	30	39	32	2	4	76	NULO	8	2	9	37	2.427

150	401	6	534	117	168	192	2	26	302	NULO	21	4	37	148	9.545
286	733	13	1.421	69	153	250	4	36	460	NULO	34	64	22	139	7.114
117	231	NULO	411	59	231	104	3	16	218	NULO	11	7	46	186	9.465
274	672	NULO	2.260	20	142	302	4	37	378	NULO	35	37	12	97	4.751
345	881	7	730	23	120	302	5	48	408	NULO	24	28	8	49	2.496
398	954	9	2.059	43	245	257	4	43	433	NULO	25	38	16	114	5.474
175	410	13	3.221	40	165	159	6	39	404	NULO	22	17	17	104	8.017
156	394	NULO	1.512	35	110	113	3	20	213	NULO	11	6	10	43	2.938
186	436	NULO	1.809	41	101	136	4	19	200	NULO	6	8	8	35	1.994
308	774	7	1.160	39	167	285	4	42	419	NULO	14	6	18	97	6.430
135	279	NULO	2.324	33	91	101	4	14	146	NULO	22	20	11	40	1.637
159	356	NULO	1.124	41	114	140	2	17	210	NULO	18	2	11	46	2.722
379	896	11	2.223	50	254	283	4	44	467	NULO	31	29	17	95	5.983
225	435	NULO	2.254	31	162	134	3	22	217	NULO	52	10	12	57	2.988
234	560	NULO	544	22	140	172	3	25	244	NULO	13	6	4	10	1.556
473	1.070	7	739	32	187	303	3	50	472	NULO	23	6	7	39	3.192
333	849	8	1.342	44	171	273	4	45	417	NULO	30	20	16	65	3.823
208	586	NULO	637	42	93	143	1	23	222	NULO	11	18	8	39	3.327
421	1.073	NULO	1.186	35	197	314	4	48	468	NULO	15	5	18	69	4.439
353	925	8	2.027	25	185	246	3	40	411	NULO	21	20	9	52	3.308
295	735	19	1.590	53	223	227	4	35	347	NULO	16	28	36	123	5.891
264	679	12	1.468	43	128	202	4	27	291	NULO	17	23	10	55	2.509
296	742	9	912	54	203	193	4	33	310	NULO	15	14	14	36	3.098
434	1.123	19	1.198	64	229	289	3	48	464	NULO	31	9	23	81	4.791
24	54	NULO	984	27	59	26	2	3	50	NULO	4	13	12	58	2.904
344	812	16	1.593	65	175	250	4	40	406	NULO	49	37	11	62	4.992
401	973	NULO	415	37	126	248	4	45	398	NULO	19	1	4	23	1.231
351	828	12	674	79	114	222	4	40	385	NULO	26	16	7	41	2.442
367	890	8	1.162	47	197	254	2	40	409	NULO	27	16	9	54	4.078
408	1.016	NULO	954	50	163	277	3	56	501	NULO	21	13	12	64	3.516
274	701	NULO	863	26	100	184	2	30	279	NULO	12	11	5	18	1.379
373	923	14	602	62	163	245	2	44	434	NULO	23	1	5	39	2.606
388	960	14	520	68	174	247	4	47	447	NULO	14	0	9	34	2.332

425	1.082	NULO	1.129	60	159	259	5	50	443	NULO	11	15	6	20	1.169
383	948	NULO	888	97	222	243	7	44	432	NULO	16	2	10	45	2.762
426	1.037	8	584	66	174	247	4	50	486	NULO	22	5	5	25	2.893
384	963	7	1.356	85	171	246	5	47	445	NULO	13	12	10	52	2.715
458	1.126	NULO	2.105	38	157	258	2	28	358	NULO	27	35	4	19	1.421
316	810	NULO	747	37	94	218	3	35	325	NULO	8	3	2	13	1.027
230	683	NULO	3.114	57	225	245	6	33	502	NULO	40	118	22	136	12.423
213	464	NULO	1.956	41	151	178	3	27	351	2	32	47	17	104	10.728
315	628	23	4.164	122	372	289	7	38	615	NULO	56	29	41	258	6.498
159	462	21	3.818	123	481	195	8	29	408	NULO	57	52	44	169	15.020
44	98	NULO	504	32	231	35	4	7	100	NULO	7	4	22	75	11.558
57	197	NULO	828	30	112	76	4	11	151	NULO	13	14	11	63	4.444
214	402	NULO	2.830	80	248	172	4	24	316	NULO	45	54	24	111	3.378
142	319	13	2.379	80	277	140	2	19	246	NULO	34	111	21	90	6.327
166	404	NULO	2.644	71	268	149	4	20	325	NULO	49	50	26	133	5.500
191	453	NULO	1.465	41	139	216	4	29	356	NULO	27	59	19	94	5.597
126	342	9	1.701	66	255	163	4	19	248	NULO	34	54	18	85	4.883
169	445	14	2.885	123	350	162	4	24	311	NULO	51	62	27	150	5.415
133	390	NULO	2.298	112	303	186	6	22	333	1	38	29	29	104	6.929
228	532	13	2.136	100	358	249	6	35	486	3	40	21	45	176	7.794
182	551	NULO	1.207	56	179	279	4	37	524	NULO	31	19	29	125	14.772
250	765	NULO	2.165	58	206	355	6	53	601	NULO	49	51	14	171	9.366
189	508	NULO	626	16	81	228	4	27	344	NULO	17	9	9	70	8.485
82	194	NULO	2.633	30	147	86	3	13	171	1	25	14	15	71	3.181
115	294	NULO	210	25	209	113	1	15	184	NULO	8	2	16	64	4.211
255	680	NULO	234	19	99	243	6	34	419	NULO	13	6	15	62	4.832
136	391	15	1.420	26	136	110	3	18	226	NULO	20	59	15	75	4.684
337	964	13	517	20	143	300	3	45	514	2	25	17	22	127	6.342
210	639	19	1.838	32	238	251	2	32	457	NULO	45	11	26	171	4.416
65	357	16	3.412	40	243	66	4	17	271	NULO	34	9	25	143	10.054
235	529	13	1.749	48	228	252	5	36	527	NULO	36	9	28	176	8.769
130	325	13	1.053	57	199	144	3	20	324	1	41	8	30	146	12.382
203	512	NULO	315	33	143	157	3	25	310	NULO	13	4	17	62	9.059

220	562	16	1.557	36	212	226	4	30	363	NULO	42	33	22	113	4.088
320	668	NULO	4.271	43	154	202	5	40	411	NULO	70	110	30	164	6.170
203	449	10	1.682	16	80	183	4	24	331	2	21	72	9	58	5.641
192	435	15	1.733	30	139	169	4	25	314	NULO	31	59	12	94	4.177
1.687	4.305	36	685	124	433	1.757	16	160	1.850	3	74	11	19	83	5.335
280	658	21	763	49	235	232	4	34	415	2	27	12	17	92	7.379
262	625	12	320	29	114	272	2	30	402	1	16	6	13	59	6.252
308	614	NULO	2.690	101	328	218	5	35	498	2	29	18	27	111	6.552
541	1.269	32	2.737	103	312	479	7	59	802	3	50	12	29	165	3.940
220	521	NULO	704	38	160	206	4	24	308	NULO	21	11	12	54	9.554
211	445	12	1.787	88	288	184	5	27	367	NULO	35	14	26	106	13.155
156	338	NULO	593	29	136	141	2	16	218	NULO	12	8	16	57	5.253
170	398	8	751	25	155	133	3	19	245	NULO	18	17	16	64	8.705
190	378	NULO	2.407	34	189	137	4	21	254	NULO	24	66	20	125	4.456
36	52	NULO	278	12	94	19	1	5	55	NULO	5	5	7	26	3.915
208	530	9	766	23	175	192	4	26	359	1	30	4	13	87	4.627
254	628	21	937	32	162	241	4	33	450	1	29	27	19	89	3.019
119	228	NULO	3.704	75	205	253	6	17	284	NULO	28	23	25	87	6.340
174	426	15	1.663	81	372	160	3	25	354	NULO	25	5	38	167	4.254
132	289	9	935	44	270	112	3	18	244	NULO	18	11	27	97	8.713
240	607	9	823	67	248	233	4	33	430	1	48	7	28	133	7.775
260	595	24	1.011	76	229	246	5	37	475	2	38	4	27	155	11.528
139	289	11	430	24	148	115	2	16	202	NULO	24	4	13	79	7.270
33	46	NULO	185	9	50	19	1	4	40	NULO	2	4	6	23	9.774
114	285	NULO	529	24	172	111	4	15	201	NULO	15	8	12	59	11.568
45	100	NULO	181	11	90	27	3	7	92	NULO	4	7	7	14	4.827
184	497	14	3.230	27	174	172	4	27	360	NULO	48	81	11	103	1.824
287	758	11	2.120	31	179	259	6	41	471	NULO	34	66	17	109	4.638
392	1.016	37	2.859	41	241	300	7	56	623	NULO	41	95	19	83	8.070
458	1.245	24	3.565	31	203	402	6	69	627	NULO	44	102	11	78	1.943
212	537	10	2.356	52	169	208	2	33	336	NULO	44	8	16	84	5.839
128	314	NULO	2.150	49	114	101	3	23	212	NULO	12	13	10	25	6.605
300	787	10	1.731	46	174	287	5	47	500	NULO	23	6	10	63	7.532

98	177	NULO	2.146	33	139	72	2	19	150	NULO	18	6	10	34	6.537
168	367	14	2.597	51	166	124	3	28	231	NULO	28	25	15	67	5.285
159	355	NULO	1.335	64	137	163	2	21	265	NULO	30	7	16	52	5.796
342	883	20	2.516	44	189	321	7	43	566	1	41	41	13	53	3.608
236	504	21	3.479	46	220	159	5	32	334	NULO	37	21	19	67	5.745
182	454	10	790	22	90	169	2	23	226	NULO	27	5	5	24	4.470
485	1.120	10	1.114	30	194	414	7	51	636	2	48	21	8	54	3.892
318	793	11	1.400	26	151	312	3	37	464	NULO	30	28	12	54	4.671
368	935	NULO	2.560	24	170	261	6	40	428	NULO	25	93	14	15	6.298
437	1.110	12	1.680	33	172	383	6	49	624	NULO	27	15	12	60	6.562
303	793	NULO	1.808	24	156	278	4	34	479	NULO	31	30	12	44	2.385
160	380	23	2.187	25	136	131	3	22	289	NULO	28	10	12	65	4.550
351	894	21	1.681	30	153	369	3	39	568	NULO	45	6	10	64	3.658
274	708	16	1.602	34	205	270	6	34	418	NULO	28	5	9	38	3.257
469	1.233	14	1.389	43	225	401	6	52	636	NULO	29	11	12	50	4.777
214	594	20	1.670	39	145	268	5	31	399	NULO	59	39	14	53	4.199
258	641	NULO	2.001	29	131	264	4	39	382	NULO	24	46	8	34	5.695
312	793	16	471	31	124	234	5	36	390	NULO	34	5	7	23	5.379
389	985	17	1.769	52	172	397	4	46	496	NULO	27	49	6	21	3.793
376	916	NULO	1.191	27	136	318	2	43	488	NULO	19	16	9	41	4.840
270	672	11	841	20	108	217	4	32	324	NULO	13	4	4	29	6.061
385	961	13	696	23	136	321	4	41	524	2	26	4	7	39	3.705
394	981	15	650	25	185	354	6	45	532	1	17	5	6	26	1.681
93	232	NULO	283	7	36	72	2	15	110	NULO	3	1	2	7	3.182
374	953	10	902	22	157	303	4	36	449	NULO	15	7	8	27	4.430
389	931	10	993	28	147	259	5	42	451	1	15	20	7	25	3.450
424	1.057	14	1.485	36	181	308	6	45	534	NULO	25	20	8	33	1.888
378	952	13	2.895	34	152	250	2	38	418	NULO	25	120	5	17	2.996
229	645	NULO	918	22	90	222	3	27	305	1	14	5	4	22	2.964

Tabla 9. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Santiago año 2004, concentraciones expresadas en ng/m³N

Na	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	Br	Pb	OC	EC
251	130	277	36	831	8	388	90	12	0	217	0	12	1	13	9.013	4.625
674	137	313	31	833	18	373	108	12	1	222	1	19	3	6	6.433	1.025
613	142	264	19	570	85	799	125	15	0	251	0	12	5	14	9.375	1.657
542	243	466	54	1.336	19	1440	174	19	1	368	0	16	3	12	4.927	1.023
368	130	267	59	1.531	8	245	104	11	1	223	0	13	5	6	4.004	721
341	167	347	48	1.091	8	319	168	17	1	376	0	28	3	25	12.800	5.600
253	86	190	37	930	8	176	87	7	0	185	0	13	3	9	12.800	5.600
549	156	352	68	1.690	8	489	166	19	2	345	1	22	5	15	12.800	5.600
241	122	229	96	2.357	8	310	109	11	2	283	1	36	6	15	12.800	5.600
303	96	185	91	2.489	8	249	65	8	1	164	0	20	4	9	12.800	5.600
400	232	461	38	769	8	356	171	17	1	353	0	23	6	18	12.800	5.600
530	266	516	40	861	23	687	201	20	1	491	0	28	9	21	12.800	5.600
574	164	297	65	1.624	24	617	114	14	2	272	1	14	9	11	12.800	5.600
415	256	478	59	1.379	8	681	186	19	1	416	0	18	6	12	12.800	5.600
533	220	413	76	1.867	8	387	128	17	2	316	0	16	6	8	12.800	5.600
214	213	459	33	563	136	231	248	25	1	623	1	47	11	34	12.800	5.600
369	102	218	24	556	26	181	123	10	0	306	0	23	5	12	12.800	5.600
222	235	509	40	739	27	427	286	27	1	715	0	40	6	25	12.800	5.600
150	141	282	38	725	20	399	120	13	1	338	0	19	9	15	12.800	5.600
170	162	350	24	361	39	250	180	20	0	478	0	23	5	18	12.800	5.600
190	257	572	36	708	29	405	278	23	0	698	1	36	6	31	12.800	5.600
230	116	262	43	941	43	243	161	13	0	521	1	36	7	32	12.800	5.600
287	194	430	57	1.324	166	418	263	21	0	680	1	48	10	29	12.800	5.600
251	120	233	24	465	38	172	149	11	0	415	0	23	6	17	12.800	5.600
373	148	321	69	1.658	74	343	192	17	0	574	0	42	9	28	12.800	5.600
350	77	156	76	1.936	70	359	99	9	0	291	0	27	10	29	6.208	2.188
201	90	203	50	1.227	71	607	95	8	1	306	1	30	10	18	19.629	8.625
156	107	240	41	810	26	300	147	14	0	489	1	29	8	24	12.342	6.525

236	186	400	52	978	67	382	245	21	0	760	2	54	10	33	15.583	9.725
305	158	294	66	1.692	281	479	159	17	2	466	1	42	19	30	14.592	7.546
317	72	136	112	2.939	122	450	67	7	1	234	1	46	11	26	16.175	8.442
386	137	253	91	2.419	856	489	145	14	0	390	1	44	21	54	12.517	4.942
291	63	127	69	1.781	100	440	64	9	0	206	1	17	14	17	13.546	5.671
291	108	227	76	1.867	169	532	152	14	0	474	1	32	20	34	12.738	5.763
240	145	376	45	984	80	377	240	20	1	698	1	41	16	46	18.492	12.108
360	116	219	69	1.686	236	592	115	10	1	301	1	34	26	35	19.150	8.725
473	101	146	129	3.508	154	695	91	9	2	251	1	35	55	34	19.150	6.813
150	38	73	68	1.782	38	264	43	4	0	142	1	19	6	19	16.892	7.808
161	73	146	27	498	38	202	82	7	0	273	0	30	9	24	8.938	4.483
197	116	226	43	884	64	215	152	13	0	561	1	40	11	29	13.608	8.821
221	137	297	59	1.157	161	258	219	19	0	737	0	40	16	33	17.613	12.546
328	173	386	57	1.133	135	316	304	26	0	850	0	50	14	41	21.675	16.600
379	90	147	113	3.041	892	373	108	10	1	485	0	47	25	54	10.067	4.921
266	79	163	72	1.794	267	389	106	10	1	416	0	38	22	51	17.954	11.246
131	53	93	25	514	8	106	61	7	0	203	0	17	2	20	24.725	17.546
36	55	135	24	415	17	98	75	7	0	246	0	17	1	15	21.246	14.721
249	88	170	52	1.131	108	503	115	13	1	346	2	28	12	32	21.650	13.138
271	85	131	49	1.113	437	587	87	7	0	303	1	43	48	40	32.192	6.100
286	170	327	50	898	299	644	229	22	0	712	3	71	32	83	21.363	8.213
265	177	334	27	551	176	340	211	20	0	721	1	43	33	52	18.108	10.879
288	172	375	32	581	147	411	261	25	0	813	0	50	21	64	29.075	14.738
36	56	125	16	219	22	109	88	7	0	223	1	17	3	16	21.783	11.413
186	145	317	53	1.092	471	418	245	25	0	814	1	64	33	91	25.606	16.382
301	127	285	60	1.054	175	338	192	17	0	800	1	58	17	48	21.583	14.867
258	167	360	20	591	766	413	230	24	0	883	2	63	37	92	12.800	5.600
352	198	411	47	849	215	402	255	26	0	853	2	68	26	73	20.350	10.758
348	190	305	24	1.166	2435	514	188	22	0	843	3	90	56	159	28.738	14.525
133	70	141	56	1.294	72	411	84	10	0	405	0	28	25	52	18.208	7.829
224	79	153	50	1.394	280	281	108	9	0	489	1	46	23	62	9.629	5.454
266	128	235	44	1.036	381	379	157	17	0	596	1	59	25	70	21.558	13.683
115	78	181	43	901	83	373	118	12	0	457	0	40	16	39	25.058	12.663

331	158	331	59	1246	202	359	217	20	0	728	1	55	21	58	17.692	10.404
193	90	229	39	823	121	371	139	14	0	440	0	47	17	38	21.446	12.600
111	104	211	26	542	348	406	144	13	0	399	0	39	20	39	15.175	7.079
435	173	370	43	818	142	531	237	23	1	663	2	54	22	54	20.483	9.688
192	168	359	35	731	443	553	230	23	0	634	0	46	26	57	28.129	14.158
270	63	138	48	1207	258	339	114	10	0	406	1	31	22	53	15.705	8.923
152	73	136	46	1.065	166	211	92	8	0	366	1	32	15	41	14.221	8.796
271	137	305	42	716	90	248	176	15	1	493	1	40	14	36	10.163	5.883
183	96	214	23	531	81	180	150	11	0	336	1	20	9	33	16.296	8.971
164	244	492	14	280	187	268	331	27	0	879	2	40	16	66	19.108	9.125
392	133	269	35	883	127	274	161	17	0	557	1	39	15	43	19.567	11.283
189	190	343	34	765	59	202	214	17	0	579	0	38	8	33	6.633	3.446
219	269	600	36	756	164	288	350	29	0	1056	1	47	17	42	19.279	12.563
202	101	209	66	1.602	44	203	109	12	0	358	0	28	7	36	20.704	12.379
211	192	302	39	850	73	199	183	21	0	570	0	33	12	24	12.800	5.600
130	234	448	33	779	104	253	287	23	0	831	1	34	8	37	12.800	5.600
333	119	223	74	1.875	261	274	158	13	0	557	1	40	20	51	12.800	5.600
310	81	177	63	1.621	24	140	91	9	1	314	1	18	7	25	12.800	5.600
252	108	217	50	1.091	71	170	141	14	0	498	1	32	7	30	12.800	5.600
223	89	190	49	1.045	28	175	117	13	0	358	1	23	6	23	12.800	5.600
247	155	210	59	1.462	59	256	148	12	0	447	1	36	15	37	12.800	5.600
130	189	219	27	645	8	161	135	11	0	310	0	15	14	11	12.800	5.600
254	109	223	38	1.027	87	321	134	10	0	390	0	43	15	33	12.800	5.600
221	97	181	53	1.209	36	288	111	11	0	351	0	25	12	31	12.800	5.600
235	214	358	54	1.160	37	305	218	24	0	597	0	34	8	32	12.800	5.600
286	215	274	82	1.933	39	337	162	16	0	372	1	26	12	28	12.800	5.600
235	93	196	41	907	21	244	112	13	0	293	0	21	5	14	12.800	5.600
260	158	326	76	1.650	41	319	191	20	1	492	0	37	10	37	12.800	5.600
127	121	236	24	558	24	206	115	11	0	323	1	28	6	12	12.800	5.600
260	152	297	24	505	46	254	161	16	0	346	0	20	7	21	12.800	5.600
111	103	219	33	722	25	287	114	11	0	317	0	24	6	17	12.800	5.600
211	304	335	44	999	36	260	162	16	0	345	0	25	18	28	12.800	5.600
432	145	237	71	1.702	18	245	124	13	1	277	0	35	8	33	12.800	5.600

347	199	346	87	2.016	27	404	177	22	0	486	1	38	14	54	12.800	5.600
345	85	149	79	2.131	8	224	65	7	0	163	0	19	6	21	12.800	5.600
327	42	45	50	1.357	8	77	28	2	0	77	0	15	3	8	12.800	5.600
185	162	161	27	625	17	86	71	7	0	156	0	12	2	7	12.800	5.600
201	265	339	43	857	24	333	146	17	0	448	0	34	6	18	12.800	5.600
164	156	283	30	521	19	311	138	15	0	377	0	26	5	20	12.800	5.600
204	124	175	37	886	25	282	77	7	0	211	0	16	8	20	12.800	5.600
152	113	193	50	1.110	8	280	90	10	0	260	0	19	3	12	12.800	5.600
179	162	320	45	829	8	356	151	16	0	371	0	30	4	14	12.800	5.600
288	192	248	29	670	8	285	111	11	1	315	1	18	7	21	12.800	5.600
133	160	333	46	972	17	303	144	16	0	378	0	26	5	24	12.800	5.600
100	41	88	36	880	8	82	46	5	0	154	1	9	1	12	12.800	5.600
150	31	54	24	607	8	74	33	3	0	110	1	10	1	8	12.800	5.600
183	43	94	17	380	8	130	53	5	1	136	0	10	5	8	12.800	5.600
36	45	96	15	364	8	73	54	4	1	138	0	17	1	19	4.939	1.752
222	77	127	21	489	8	107	56	6	0	139	0	14	2	8	4.775	996
452	95	190	10	240	98	101	65	7	1	130	0	5	1	4	3.221	454
663	130	263	25	523	8	186	118	12	1	251	0	11	4	9	6.104	1.817
198	188	406	29	505	8	142	146	15	0	684	1	26	3	29	4.176	1.081
372	175	318	42	839	8	140	150	18	0	420	0	16	2	18	6.246	2.646
281	64	144	41	1.094	8	134	63	6	1	152	0	7	1	1	2.933	579
213	156	312	27	631	8	121	106	12	0	289	1	10	2	10	4.950	1.542
235	157	313	26	572	8	131	109	13	0	237	0	17	2	10	3.917	1.250
588	186	392	16	379	62	161	180	18	0	314	0	11	2	7	4.825	1.446
326	213	422	18	482	24	383	186	23	1	432	0	11	4	9	5.900	1.383
278	107	209	25	669	8	155	69	8	0	125	0	4	1	1	4.942	804
228	244	403	24	613	8	161	137	17	1	238	0	12	1	11	5.863	1.379
615	151	293	33	838	8	213	111	12	1	196	0	12	3	4	5.754	1.471
284	145	289	19	501	8	180	105	12	0	184	0	8	2	5	4.329	1.246
476	144	298	58	1.517	8	379	129	14	1	200	0	19	5	13	7.590	2.690
271	159	309	21	564	8	257	118	12	0	215	0	12	3	10	4.733	1.217
551	175	320	54	1.480	8	224	120	13	1	221	0	11	6	7	6.538	1.621
502	128	265	67	1.888	8	208	122	11	1	241	0	18	3	18	5.633	1.213

125	111	232	47	1.291	8	152	83	8	1	150	0	9	4	7	4.350	374
439	157	322	53	1.350	8	192	142	13	1	282	0	16	4	12	5.433	1.096
380	131	264	134	3.631	8	217	114	13	1	233	1	23	7	17	7.138	1.754
208	108	226	59	1.499	8	183	89	9	0	193	0	12	4	17	5.829	1.333
152	149	307	50	1.287	8	140	116	12	1	226	0	11	3	6	5.654	1.679
250	188	357	31	816	8	243	115	13	1	252	0	13	6	11	3.975	388
480	200	379	56	1.273	8	550	126	16	1	245	0	15	8	10	5.321	338
261	248	481	34	730	8	521	158	20	1	328	0	11	6	10	4.767	365
374	229	427	38	936	8	441	130	17	1	280	1	14	8	13	4.554	179
319	113	197	46	1.229	8	170	97	10	0	191	0	11	6	8	-	-
119	140	243	22	435	8	119	112	15	0	324	1	22	6	26	7.308	2.088
36	102	162	21	392	8	117	78	9	0	194	1	22	11	19	7.088	1.133
169	55	120	20	494	8	133	54	6	1	142	0	19	7	10	7.521	1.058
191	62	149	49	1.292	8	134	78	7	0	199	0	19	8	9	6.313	1.263
133	93	204	40	971	8	138	101	9	1	214	1	16	6	16	5.450	1.150
141	114	242	36	732	8	273	85	11	0	206	0	11	4	16	5.721	1.638
72	89	162	33	749	8	253	54	7	1	129	0	8	4	9	5.510	1.381
137	71	138	27	618	8	221	49	5	0	106	0	8	4	8	4.063	1.013
122	112	209	19	312	8	161	98	9	0	241	0	23	4	11	6.923	1.691
101	123	172	20	376	8	133	78	8	0	211	0	14	2	11	8.908	2.383
75	45	96	36	900	8	127	62	7	0	174	0	20	8	13	6.471	1.263
143	84	165	35	858	8	124	97	7	0	235	0	19	6	12	5.629	1.213
146	61	111	22	533	8	214	56	5	0	173	0	16	11	15	7.125	1.167
150	40	82	39	1.002	19	224	44	5	0	132	0	14	14	17	7.483	1.104
139	77	140	42	1.190	65	189	81	7	1	240	0	45	14	36	8.504	1.467
300	95	181	89	2.248	42	309	99	12	0	303	0	24	13	33	9.450	1.875
195	97	180	54	1.378	31	382	81	9	1	251	0	23	19	23	10.508	1.788
99	73	148	32	826	29	388	64	8	0	171	0	13	13	10	10.029	1.388
200	80	145	35	748	29	321	85	7	0	216	0	16	17	12	8.833	1.354
156	132	262	23	462	8	229	135	13	0	340	0	17	16	22	15.010	5.900
217	134	270	51	1.185	33	299	126	13	0	335	1	30	17	30	9.629	2.142
207	139	286	53	1.201	20	268	158	13	1	407	1	28	16	43	10.413	2.738
168	239	245	33	879	22	249	112	12	0	310	1	24	9	22	9.071	1.929

341	57	85	86	2.399	259	423	47	6	0	180	1	44	17	29	14.296	2.988
245	70	119	82	2.284	216	452	70	7	0	242	1	26	21	31	11.313	2.363
134	84	199	69	1.731	28	417	99	11	0	318	1	22	22	32	11.950	3.450
106	131	263	21	410	8	194	177	13	0	316	0	17	11	21	7.604	1.563
291	111	210	83	2.134	61	625	105	11	1	278	0	36	25	25	15.304	2.633
264	182	388	51	1.139	50	437	201	19	0	550	1	37	22	36	14.671	3.392
118	64	112	27	561	8	196	58	6	0	200	0	11	15	18	6.376	752
110	86	171	14	367	8	161	118	9	0	292	0	15	16	16	7.367	1.025
79	80	157	38	886	30	257	89	10	0	267	0	21	20	27	7.725	958
274	63	133	110	2.841	50	408	75	11	1	279	1	29	26	40	9.525	1.392
220	61	93	54	1.280	26	370	52	6	0	190	0	17	30	27	9.304	758
157	69	134	46	1.372	181	403	87	9	0	312	0	24	34	25	12.292	1.942
125	79	126	25	541	8	236	76	7	0	257	0	16	20	16	7.950	1.170
163	90	197	25	536	20	221	104	11	0	378	0	23	17	27	7.871	633
147	141	269	24	413	16	273	134	16	0	471	0	22	13	20	-	-
101	105	216	31	666	44	343	140	13	0	381	0	36	21	32	-	-
115	56	99	44	1.130	35	400	56	6	0	177	1	19	20	26	-	-
125	56	72	29	787	64	397	44	5	0	172	1	16	31	19	-	-
132	56	90	23	546	20	280	51	6	0	148	0	19	12	14	-	-
36	67	148	3	133	40	152	72	9	0	209	0	12	8	12	-	-
161	165	332	18	359	38	277	201	19	0	578	2	34	16	31	-	-
176	110	210	36	807	28	325	102	9	0	329	0	25	16	24	-	-
115	88	195	32	687	44	304	106	13	0	390	1	34	23	35	-	-
111	101	206	20	371	44	317	109	12	0	419	1	28	21	42	-	-
162	82	170	29	649	51	310	96	13	0	372	1	35	16	46	-	-
169	64	125	30	736	74	281	58	7	0	247	0	21	19	30	-	-
196	52	84	54	1.292	27	333	66	6	0	215	0	21	20	26	-	-
201	85	140	52	1.383	141	351	85	11	0	372	1	32	23	47	-	-
168	79	162	38	753	26	259	87	9	0	365	1	23	15	34	-	-
245	81	151	37	722	33	337	75	9	0	265	0	26	13	26	-	-
83	53	87	25	588	23	249	47	6	0	167	0	53	20	30	-	-
115	61	142	28	574	8	189	79	7	0	256	1	18	10	14	-	-
104	78	148	32	754	28	230	95	10	0	308	1	27	15	33	-	-

213	93	198	26	562	76	358	111	12	1	413	1	28	20	39	-	-
160	115	231	19	531	169	499	149	16	0	454	1	33	24	43	-	-
72	67	126	11	242	48	329	80	8	0	225	0	15	21	23	-	-
120	41	71	33	856	113	345	44	5	1	147	1	21	18	25	-	-
36	64	122	23	559	50	262	57	7	0	214	0	14	19	21	-	-
141	82	145	18	442	59	245	83	6	1	260	0	31	19	34	-	-
132	107	221	11	212	40	234	109	11	0	313	1	22	11	24	-	-
233	94	180	49	1.315	168	240	102	11	0	327	0	29	13	24	-	-
136	32	53	53	1.527	115	251	29	4	1	151	0	16	12	16	-	-
92	88	165	16	396	23	176	84	8	0	251	0	13	6	13	-	-
177	42	67	50	1.283	8	182	37	4	0	123	0	17	6	10	-	-
118	41	74	51	1.304	87	252	31	4	0	203	0	16	16	14	-	-
235	65	131	59	1.555	31	193	68	7	1	229	0	19	11	16	-	-
131	83	182	24	526	8	158	116	8	0	291	1	15	7	17	-	-
182	59	117	39	946	40	232	60	9	0	237	1	21	13	23	-	-
115	35	81	40	1.027	8	147	41	4	0	146	0	15	6	15	-	-
112	51	105	44	997	26	167	57	6	1	182	0	13	7	13	-	-
36	112	227	31	674	22	216	126	13	0	335	0	21	9	20	-	-
222	90	180	46	1.090	8	187	88	9	0	245	0	22	6	24	-	-
223	63	119	59	1.345	8	195	57	6	0	187	0	16	8	20	-	-
110	122	237	41	847	18	192	117	12	0	319	1	22	5	17	-	-
265	86	180	54	1.131	8	194	183	12	0	235	0	19	6	14	-	-
151	91	179	28	653	27	265	89	10	0	254	0	18	9	16	-	-
271	81	168	80	2.044	8	210	65	9	1	209	1	22	6	29	-	-
225	60	116	41	1.005	8	98	54	5	0	115	0	11	4	11	-	-
207	97	218	43	984	8	163	92	10	0	221	0	15	5	16	-	-
150	79	167	28	584	8	193	62	7	0	165	1	13	1	9	-	-
139	115	244	45	1.114	8	156	96	12	0	239	0	16	4	12	-	-
177	135	274	39	971	8	195	102	12	0	239	0	15	3	15	-	-
99	59	99	33	838	8	86	79	6	0	132	0	11	2	8	-	-
159	34	66	21	509	8	125	34	2	0	84	0	12	4	11	-	-
211	59	108	31	758	8	104	60	6	0	136	0	13	3	6	-	-
88	51	113	19	442	8	89	54	6	0	124	0	13	3	25	4.267	808

251	609	497	33	858	8	177	239	22	1	330	0	49	3	9	5.429	1.333
415	99	188	9	298	69	106	66	9	0	118	0	5	1	3	2.875	291
117	126	253	32	529	8	145	107	10	0	226	0	8	2	9	4.129	746
257	129	255	44	1.047	8	108	99	11	0	216	0	13	3	15	6.521	2.383
312	78	151	48	1.220	8	84	68	6	1	140	1	13	2	1	3.410	1.095
309	87	173	32	788	8	74	69	7	0	149	0	8	2	5	4.150	1.271
293	164	289	35	928	8	105	113	12	1	198	0	7	2	9	5.533	1.600
417	163	313	25	642	8	202	100	12	1	200	0	10	1	10	6.180	1.136
266	126	255	18	464	8	170	93	9	0	160	0	7	1	4	4.918	1.003
475	132	253	51	1.371	8	390	98	11	0	196	1	13	3	10	6.275	1.317
222	90	180	46	1.090	8	187	88	9	0	245	0	22	6	24	-	-
223	63	119	59	1.345	8	195	57	6	0	187	0	16	8	20	-	-
110	122	237	41	847	18	192	117	12	0	319	1	22	5	17	-	-
265	86	180	54	1.131	8	194	183	12	0	235	0	19	6	14	-	-
151	91	179	28	653	27	265	89	10	0	254	0	18	9	16	-	-
271	81	168	80	2.044	8	210	65	9	1	209	1	22	6	29	-	-
225	60	116	41	1.005	8	98	54	5	0	115	0	11	4	11	-	-

Tabla 10. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Rancagua año 1998, concentraciones expresadas en ng/m³N

Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb
290	930	2	1.008	40	629	725	31	3	557	3	12	3	29	178
425	1.405	2	701	8	434	503	59	5	681	2	23	24	48	294
358	1.075	2	1.170	8	676	484	38	7	584	2	13	8	35	184
216	700	6	1.333	8	609	504	24	2	353	1	15	2	15	103
234	704	2	828	16	360	584	2	1	496	3	14	5	32	192
549	1.580	4	911	24	588	749	62	10	821	3	32	62	74	373
274	782	2	843	25	754	847	29	17	465	5	12	15	35	194
430	1.301	2	1.534	41	778	890	32	10	677	6	29	21	41	241
551	1.579	2	1.007	43	925	974	64	18	1.040	7	21	4	74	321
561	1.785	2	3.586	8	1334	946	74	18	1.149	8	86	234	78	427
268	937	2	3.127	8	611	520	39	11	845	5	85	257	83	574
250	963	2	4.256	8	556	687	41	11	633	5	83	361	104	596
273	836	5	749	61	459	544	29	5	408	2	28	9	69	257
46	348	6	4.083	8	676	173	8	6	249	4	49	492	59	533
5	94	2	897	8	358	43	5	5	73	2	21	176	62	416
242	991	2	2.686	8	1.062	454	50	8	628	3	55	387	221	796
288	1.336	2	3.235	8	1.019	634	55	19	944	9	127	1.068	257	1.047
219	750	6	2.946	8	1.088	529	51	12	586	6	59	335	205	711
225	770	2	2.391	8	1.108	529	31	10	514	3	28	102	90	348
344	1.299	2	1.837	38	1.354	829	63	10	892	4	39	61	119	446
210	767	2	2.197	16	876	624	30	11	552	2	46	205	75	282
247	970	6	1.315	24	599	490	52	5	616	2	62	270	87	351
271	881	2	846	33	728	366	23	1	473	3	21	72	78	278
323	946	2	1.053	45	1.033	458	41	4	647	6	26	9	85	270

Tabla 11. Datos completos del Reporte de los filtros de la Campaña de Monitoreo realizado en la ciudad de Temuco año 1998, concentraciones expresadas en ng/m³N

Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Fe	Ni	Cu	As	Br	Pb
119	262	6	334	161	145	88	7	1	154	0	2	0	49	200
81	163	5	800	8	165	66	2	1	104	0	2	0	28	194
67	147	5	399	8	93	36	6	2	81	0	2	0	20	126
124	264	7	362	8	121	90	8	1	177	0	4	1	59	256
104	235	5	286	105	341	68	2	1	121	1	18	4	51	254
174	340	8	598	8	695	122	21	3	225	1	3	2	90	306
82	174	6	398	307	482	83	11	1	153	0	3	2	87	305
114	266	6	359	21	427	95	7	1	182	0	4	0	90	312
199	410	5	565	30	1.102	175	24	2	255	0	5	1	130	408
117	248	2	842	23	794	73	15	2	162	0	3	2	53	359
54	160	2	963	8	640	72	7	1	185	0	6	2	45	458
27	32	2	291	56	433	33	2	1	30	0	3	3	38	136
25	78	2	2493	8	680	28	2	1	73	1	0	0	43	244
89	177	2	841	23	1.363	83	10	1	212	1	9	3	148	477
48	112	16	960	8	985	49	8	1	149	2	12	1	75	351
49	37	2	793	8	1001	19	2	2	78	0	3	2	104	341
86	97	8	838	19	1.331	47	2	1	128	2	5	1	153	505
87	183	6	265	553	93	60	10	1	113	0	2	0	31	130
54	100	14	438	8	506	44	10	1	78	1	5	2	50	209
111	183	8	522	20	728	98	17	2	176	1	8	0	125	399
47	59	2	670	20	693	32	2	1	68	0	6	3	66	208
81	133	8	609	8	640	72	2	1	122	0	7	5	119	381
30	8	5	243	8	314	18	2	1	29	0	2	0	68	214
76	82	2	602	19	841	50	8	1	90	0	4	2	71	232
76	131	5	440	8	461	74	8	1	111	0	5	2	66	211

ANEXO II**Reporte de correlaciones**

- **Br/Pb**

Ciudad de Iquique

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-26.8	-9.342	0.7197	7.811	42.35

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-23.5158	9.8856	-2.3788	0.0257
Pb	0.3696	0.0609	6.0730	0.0000

Residual standard error: 16.13 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.6058

F-statistic: 36.88 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 2.848e-006

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.3804	-0.3791	-0.3779	-0.3757	2.541

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.5355	0.1281	11.9850	0.0000
Pb	-0.0004	0.0027	-0.1351	0.8930

Residual standard error: 0.88 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.0003579

F-statistic: 0.01826 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0.893

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.04	-1.47	-0.1893	1.618	7.186

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	5.5517	0.4206	13.1985	0.0000
Pb	0.0679	0.0443	1.5313	0.1288

Residual standard error: 2.405 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.02247

F-statistic: 2.345 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0.1288

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-44.84	-5.195	0.3072	4.235	68.86

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.8067	6.4686	0.2793	0.7825
Pb	0.1340	0.0406	3.2992	0.0031

Residual standard error: 18.47 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.3212

F-statistic: 10.88 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0.003136

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-24.59	-8.226	-0.4797	2.481	27.73

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	16.9450	6.7308	2.5175	0.0189
Pb	0.0640	0.0266	2.4079	0.0241

Residual standard error: 12.36 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.1946

F-statistic: 5.798 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.02409

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = BR ~ PB, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-24.12	-3.16	0.1046	2.913	23.6

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.7191	0.8039	-0.8945	0.3722
PB	0.2297	0.0072	31.9034	0.0000

Residual standard error: 6.247 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8392

F-statistic: 1018 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = BR ~ PB, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-10.89	-3.31	-1.517	2.098	39.89

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.0256	0.6632	3.0544	0.0025
PB	0.3770	0.0217	17.4039	0.0000

Residual standard error: 6.062 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5642

F-statistic: 302.9 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-61.92	-8.69	0.9549	16.86	39.59

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-12.0918	10.6655	-1.1337	0.2691
Pb	0.2490	0.0238	10.4782	0.0000

Residual standard error: 25.43 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8331

F-statistic: 109.8 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 5.126e-010

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Br ~ Pb, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-75.73	-9.978	8.51	14.54	22.34

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-5.0830	13.2909	-0.3824	0.7056
Pb	0.2756	0.0432	6.3752	0.0000

Residual standard error: 22.98 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.6386

F-statistic: 40.64 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 1.664e-006

▪ **Al/Si****Ciudad de Iquique**

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-25.94	-8.451	-4.378	4.307	34.9

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	8.2898	3.0476	2.7201	0.0119
Si	0.2156	0.0019	115.7003	0.0000

Residual standard error: 14.66 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9982

F-statistic: 13390 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-93.56	-5.769	1.814	14.02	80.44

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-24.1810	5.5548	-4.3532	0.0001
Si	0.4438	0.0068	65.1551	0.0000

Residual standard error: 29.01 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9881

F-statistic: 4245 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-83.91	-16.17	0.08266	14.58	60.54

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	32.5269	4.6402	7.0098	0.0000
Si	0.4448	0.0161	27.6915	0.0000

Residual standard error: 24.19 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8826

F-statistic: 766.8 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-47.76	-14.02	3.008	12.05	43.54

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-7.4487	9.7634	-0.7629	0.4536
Si	0.3471	0.0367	9.4473	0.0000

Residual standard error: 22.52 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8023

F-statistic: 89.25 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 3.361e-009

Ciudad de Valparaiso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-34.91	-6.271	0.3919	9.089	25.02

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	21.1942	10.2299	2.0718	0.0492
Si	0.1786	0.0511	3.4947	0.0019

Residual standard error: 16.76 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.3373

F-statistic: 12.21 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.001867

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = AL ~ SI, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-100.9	-10.92	0.3403	14.47	108.7

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	11.1677	3.3508	3.3329	0.0010
SI	0.3906	0.0047	82.3484	0.0000

Residual standard error: 26.4 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.972

F-statistic: 6781 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-51.5	-10.92	-3.825	3.001	349.1

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.7364	4.7163	0.1561	0.8761
Si	0.5214	0.0185	28.2341	0.0000

Residual standard error: 30.74 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7731

F-statistic: 797.2 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-124.1	-17.72	5.733	30.81	57.91

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-34.8814	24.7230	-1.4109	0.1723
Si	0.3345	0.0234	14.3229	0.0000

Residual standard error: 43.33 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9031

F-statistic: 205.1 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 1.24e-012

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Al ~ Si, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-29.64	-6.701	-2.434	8.165	28.47

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	18.6206	5.7703	3.2270	0.0037
Si	0.4049	0.0304	13.3018	0.0000

Residual standard error: 14.65 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.885

F-statistic: 176.9 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 2.756e-012

▪ **Ca/Si****Ciudad de Iquique**

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2031	34.21	49.52	62.2	750.1

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-73.6351	93.0335	-0.7915	0.4364
Si	1.2138	0.0569	21.3403	0.0000

Residual standard error: 447.5 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9499

F-statistic: 455.4 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-152.7	-69.35	-8.652	49.04	314.9

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	97.5467	16.2691	5.9958	0.0000
Si	0.2090	0.0200	10.4733	0.0000

Residual standard error: 84.97 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.6826

F-statistic: 109.7 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 2.598e-014

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-78.81	-30.05	-5.24	22.26	161.1

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	82.7093	7.5815	10.9094	0.0000
Si	0.1970	0.0262	7.5068	0.0000

Residual standard error: 39.52 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.3559

F-statistic: 56.35 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 2.352e-011

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-92.57	-30.2	-7.964	7.452	187.4

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-17.2388	26.3375	-0.6545	0.5196
Si	0.5146	0.0991	5.1926	0.0000

Residual standard error: 60.74 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5507

F-statistic: 26.96 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0.00003309

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-45.11	-12.8	-1.439	7.307	69.35

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	55.6391	16.0793	3.4603	0.0020
Si	0.2650	0.0803	3.2993	0.0030

Residual standard error: 26.34 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.312

F-statistic: 10.89 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.003017

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = CA ~ SI, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-138.4	-21.66	4.925	21.22	258.4

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.1247	6.1880	0.9898	0.3235
SI	0.3468	0.0088	39.5822	0.0000

Residual standard error: 48.76 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8893

F-statistic: 1567 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-82.19	-13.96	-2.817	17.1	110.4

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	9.6570	4.7045	2.0527	0.0412
Si	0.4753	0.0184	25.8015	0.0000

Residual standard error: 30.66 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7399

F-statistic: 665.7 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-267.8	-114.6	15.73	114.2	351.3

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	149.4516	84.0933	1.7772	0.0894
Si	0.4425	0.0794	5.5708	0.0000

Residual standard error: 147.4 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5852

F-statistic: 31.03 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0.00001339

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ca ~ Si, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-25.79	-9.871	-1.492	9.907	27.89

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	13.8264	5.5917	2.4727	0.0212
Si	0.3254	0.0295	11.0312	0.0000

Residual standard error: 14.2 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.841

F-statistic: 121.7 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 1.163e-010

▪ **K/Fe****Ciudad de Iquique**

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-119.5	-75.91	-31.26	24.87	441.7

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	163.4156	24.9061	6.5613	0.0000
Fe	0.3487	0.0300	11.6146	0.0000

Residual standard error: 119.5 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.849

F-statistic: 134.9 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 2.449e-011

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-232.5	-22.47	2.885	18.53	183.2

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-41.1015	12.4866	-3.2916	0.0018
Fe	1.0486	0.0555	18.9057	0.0000

Residual standard error: 58.3 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8751

F-statistic: 357.4 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-76.48	-27.48	-6.081	24.44	166.5

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	122.4331	7.4110	16.5205	0.0000
Fe	0.0713	0.0374	1.9066	0.0594

Residual standard error: 39.07 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.03441

F-statistic: 3.635 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0.05939

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-228.6	-56.49	7.974	55.8	242.4

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	89.4309	62.6560	1.4273	0.1675
Fe	0.7987	0.2995	2.6667	0.0141

Residual standard error: 115.8 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.2443

F-statistic: 7.111 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0.01409

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-145.9	-68.46	-13.15	78.05	265.8

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	254.3514	32.3797	7.8553	0.0000
Fe	0.0380	0.1219	0.3115	0.7581

Residual standard error: 103 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.004027

F-statistic: 0.09705 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.7581

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ FE, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-92.1	-40.95	-16.52	29.68	299.3

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	89.2009	9.5118	9.3779	0.0000
FE	0.2276	0.0230	9.9056	0.0000

Residual standard error: 61.26 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.3347

F-statistic: 98.12 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-243.9	-95.33	-29.86	49.65	1146

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	187.5936	19.7603	9.4934	0.0000
Fe	0.2895	0.0517	5.6009	0.0000

Residual standard error: 146.3 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.1182

F-statistic: 31.37 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 5.962e-008

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-381.7	-174.8	-12.42	161.6	402.7

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	366.1423	136.6756	2.6789	0.0137
Fe	0.6602	0.2057	3.2097	0.0040

Residual standard error: 240.7 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.3189

F-statistic: 10.3 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0.004039

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Fe, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-578	-242.6	10.65	217.6	732.9

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	336.1746	174.7125	1.9242	0.0668
Fe	2.0477	1.2274	1.6683	0.1088

Residual standard error: 352.6 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.1079

F-statistic: 2.783 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0.1088

- Fe/Si

Ciudad de Iquique

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-489.8	-8.332	8.263	32.77	179.6

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	9.5612	22.8983	0.4175	0.6800
Si	0.5011	0.0140	35.7928	0.0000

Residual standard error: 110.1 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9816

F-statistic: 1281 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-73.94	-14.02	-2.244	9.865	68.72

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	34.2882	4.5014	7.6172	0.0000
Si	0.2437	0.0055	44.1424	0.0000

Residual standard error: 23.51 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9745

F-statistic: 1949 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-186	-11.04	0.2655	13.2	96.74

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.3187	6.6388	1.1024	0.2729
Si	0.6538	0.0230	28.4467	0.0000

Residual standard error: 34.61 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8881

F-statistic: 809.2 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-76.64	-30.71	-9.993	21.34	122.1

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	94.7658	9.7887	9.6811	0.0000
Si	0.4206	0.0086	49.1120	0.0000

Residual standard error: 45.03 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9906

F-statistic: 2412 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-78.43	-58.49	-40.4	-5.158	801.3

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	141.4308	104.2300	1.3569	0.1874
Si	0.3489	0.5206	0.6702	0.5091

Residual standard error: 170.7 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.01837

F-statistic: 0.4492 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.5091

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = FE ~ SI, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-233.3	-63.67	-3.911	39.03	745.8

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	126.4598	12.2758	10.3015	0.0000
SI	0.4129	0.0174	23.7590	0.0000

Residual standard error: 96.74 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7432

F-statistic: 564.5 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-302.9	-85.87	-10.5	68.52	425

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	76.0997	21.3621	3.5624	0.0004
Si	1.1196	0.0836	13.3859	0.0000

Residual standard error: 139.2 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.4337

F-statistic: 179.2 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-178.3	-85.1	6.645	62.32	255

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	51.1163	58.2925	0.8769	0.3900
Si	0.5755	0.0551	10.4524	0.0000

Residual standard error: 102.2 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8324

F-statistic: 109.3 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 5.364e-010

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Fe ~ Si, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-46.26	-22.11	-2.584	12.08	75.07

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	46.8178	12.1981	3.8381	0.0008
Si	0.5108	0.0643	7.9380	0.0000

Residual standard error: 30.98 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7326

F-statistic: 63.01 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 4.9e-008

- Ni/V

Ciudad de Iquique

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.301	-0.5638	-0.028	0.4973	1.306

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.0764	0.2223	0.3435	0.7342
V	0.3406	0.0224	15.1823	0.0000

Residual standard error: 0.8167 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9057

F-statistic: 230.5 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 8.338e-014

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.193	-0.2569	-0.07144	0.1466	1.644

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.2671	0.0736	3.6267	0.0007
V	0.2601	0.0195	13.3721	0.0000

Residual standard error: 0.4658 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7781

F-statistic: 178.8 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.439	-0.3673	0.0194	0.4721	1.596

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.1950	0.1092	-1.7855	0.0772
V	0.3676	0.0107	34.2297	0.0000

Residual standard error: 0.7389 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9199

F-statistic: 1172 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.349	-1.17	-0.1026	0.5654	7.365

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.5848	0.4833	1.2101	0.2391
V	0.3509	0.0120	29.1888	0.0000

Residual standard error: 1.91 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9748

F-statistic: 852 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.581	-0.9592	-0.234	0.5087	3.575

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.3016	0.4264	3.0528	0.0055
V	0.2645	0.0250	10.5867	0.0000

Residual standard error: 1.312 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8236

F-statistic: 112.1 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 1.596e-010

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.82	-0.4365	-0.09333	0.355	5.75

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.2928	0.4186	0.6993	0.4891
V	0.2738	0.0744	3.6804	0.0008

Residual standard error: 1.212 on 34 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.2849

F-statistic: 13.55 on 1 and 34 degrees of freedom, the p-value is 0.0008008

161 observations deleted due to missing values

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.2683	-0.2644	-0.2511	0.1869	2.891

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.5213	0.0352	14.8074	0.0000
V	-0.0256	0.0692	-0.3694	0.7122

Residual standard error: 0.4276 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.0005828

F-statistic: 0.1365 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0.7122

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.867	-0.8596	0.01042	0.8895	3.737

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.3578	0.5670	2.3945	0.0256
V	0.3052	0.0562	5.4324	0.0000

Residual standard error: 1.446 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5729

F-statistic: 29.51 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0.00001861

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Ni ~ V, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.2901	-0.2901	-0.2901	0.1109	1.597

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.6219	0.2446	2.5422	0.0182
V	-0.0460	0.1977	-0.2329	0.8179

Residual standard error: 0.5207 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.002353

F-statistic: 0.05426 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0.8179

- P/S

Ciudad de Iquique

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.374	-3.296	-1.215	3.355	7.959

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.1685	1.7626	4.0669	0.0004
S	-0.0007	0.0005	-1.3471	0.1905

Residual standard error: 4.075 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.07029

F-statistic: 1.815 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.1905

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-10.99	-2.606	0.9477	2.219	7.887

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-2.9189	1.2827	-2.2755	0.0271
S	0.0366	0.0012	30.6117	0.0000

Residual standard error: 3.737 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9484

F-statistic: 937.1 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.23	-1.044	-0.7427	-0.6217	6.267

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.0950	0.6563	4.7157	0.0001
S	-0.0002	0.0002	-0.9567	0.3486

Residual standard error: 2.086 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.03828

F-statistic: 0.9154 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0.3486

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Valparaiso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.208	-2.316	-1.913	1.915	12.98

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.2524	1.5654	2.0776	0.0486
S	0.0004	0.0007	0.5414	0.5932

Residual standard error: 3.761 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.01207

F-statistic: 0.2931 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.5932

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-7.648	-4.2	-0.9119	2.351	25.09

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	9.0619	1.0240	8.8493	0.0000
S	0.0030	0.0006	4.9388	0.0000

Residual standard error: 5.393 on 104 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.19

F-statistic: 24.39 on 1 and 104 degrees of freedom, the p-value is 3.012e-006

91 observations deleted due to missing values

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-24.06	-2.903	-0.3085	2.69	16.1

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	5.9493	0.5950	9.9980	0.0000
S	0.0361	0.0005	70.9437	0.0000

Residual standard error: 4.52 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9556

F-statistic: 5033 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.254	-1.013	-0.8643	-0.2586	3.671

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.5327	0.7064	3.5855	0.0016
S	0.0001	0.0003	0.3686	0.7160

Residual standard error: 1.79 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.006137

F-statistic: 0.1359 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 0.716

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = P ~ S, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.307	-3.188	-0.4516	0.7175	10.66

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.5798	1.2750	5.1605	0.0000
S	-0.0017	0.0016	-1.0097	0.3231

Residual standard error: 3.622 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.04244

F-statistic: 1.019 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0.3231

- **Cu/As**

Ciudad de Iquique

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Iquique.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-7.128	-3.592	-2.637	-1.905	46.17

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.0574	2.9880	2.3619	0.0266
As	0.2680	0.3577	0.7493	0.4610

Residual standard error: 10.69 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.02286

F-statistic: 0.5614 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.461

Ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-23.75	-6.868	-1.709	3.402	65.73

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.1159	2.5655	-1.2145	0.2301
As	0.8047	0.0431	18.6727	0.0000

Residual standard error: 15.51 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8724

F-statistic: 348.7 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-35.35	-23.91	-16.05	13.05	253.7

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	38.8895	5.1668	7.5268	0.0000
As	-0.3432	0.5472	-0.6273	0.5319

Residual standard error: 41.38 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.003843

F-statistic: 0.3935 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0.5319

Ciudad de Viña del Mar

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Vi.a.del.Mar.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-49.33	-7.944	-4.639	13.66	41.5

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	11.4197	4.9842	2.2912	0.0314
As	0.5134	0.0783	6.5584	0.0000

Residual standard error: 19.75 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.6516

F-statistic: 43.01 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 1.083e-006

Ciudad de Valparaíso

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Valparaíso.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-55.01	-13.81	-8.236	11.33	78.47

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	20.7757	7.2637	2.8602	0.0086
As	0.6458	0.1506	4.2874	0.0003

Residual standard error: 26.87 on 24 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.4337

F-statistic: 18.38 on 1 and 24 degrees of freedom, the p-value is 0.0002543

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = CU ~ AS, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-32.44	-9.625	-3.072	6.736	55.82

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	20.7010	1.4472	14.3043	0.0000
AS	0.3088	0.0396	7.8068	0.0000

Residual standard error: 14.6 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.2381

F-statistic: 60.95 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 3.509e-013

Ciudad de Santiago año 2004

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Stgo2004.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-32.58	-6.83	-2.48	5.96	42.7

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	13.4504	1.2054	11.1581	0.0000
As	1.1169	0.0936	11.9341	0.0000

Residual standard error: 10.95 on 234 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.3784

F-statistic: 142.4 on 1 and 234 degrees of freedom, the p-value is 0

Ciudad de Rancagua

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = Rancagua.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-26	-9.422	-1.809	4.307	38.24

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	22.5436	3.9569	5.6973	0.0000
As	0.1061	0.0135	7.8716	0.0000

Residual standard error: 15.6 on 22 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.738

F-statistic: 61.96 on 1 and 22 degrees of freedom, the p-value is 7.713e-008

Ciudad de Temuco

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ As, data = temuco.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.043	-2.392	-1.293	0.604	13.11

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.8355	0.8488	5.6972	0.0000
As	0.1137	0.1647	0.6906	0.4967

Residual standard error: 3.727 on 23 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.02031

F-statistic: 0.4769 on 1 and 23 degrees of freedom, the p-value is 0.4967

Otras correlaciones importantes

- K/Si

Ciudad de Calama

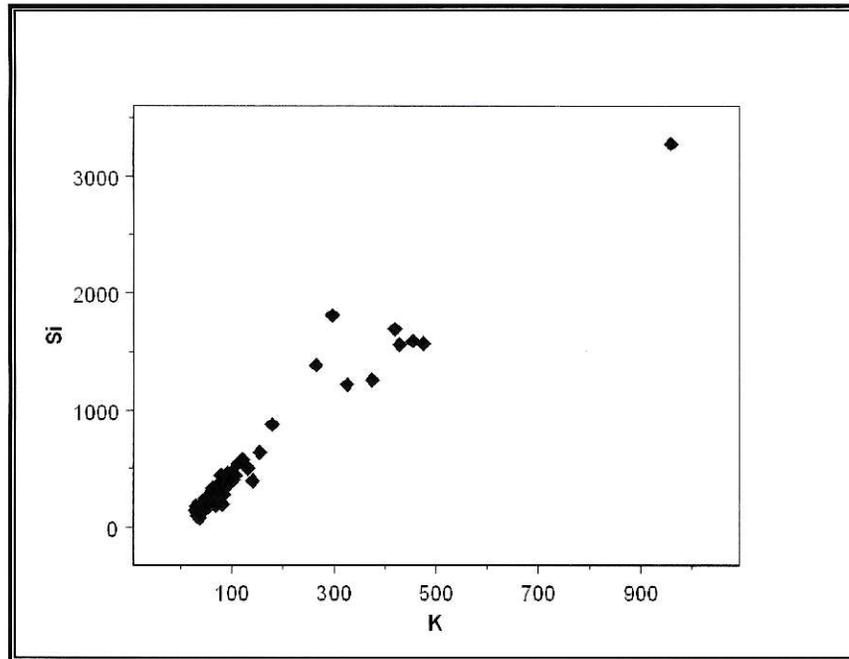


Figura 72. Correlación K/Si para la ciudad de Calama

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = K ~ Si, data = Calama.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-177.9	-8.744	0.1761	13.72	87.95

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-13.1328	7.1196	-1.8446	0.0709
Si	0.2696	0.0087	30.8752	0.0000

Residual standard error: 37.18 on 51 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9492

F-statistic: 953.3 on 1 and 51 degrees of freedom, the p-value is 0

- Cu/Si

Ciudad de Tocopilla

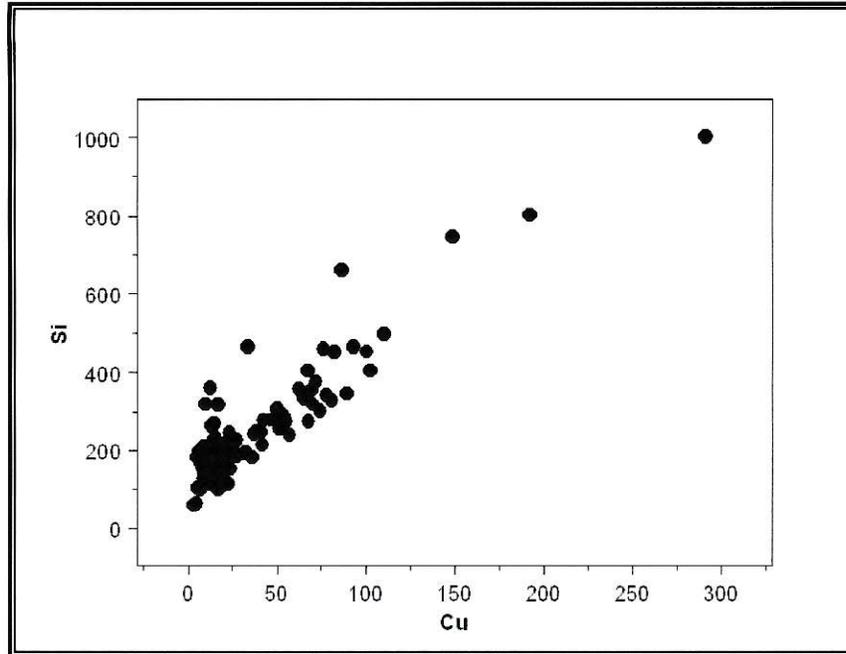


Figura 73. Correlación Cu/Si para la ciudad de Tocopilla

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = Cu ~ Si, data = Tocopilla.para.S.Plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-58.02	-6.198	1.707	9.527	63.84

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-25.8708	3.3140	-7.8066	0.0000
Si	0.2528	0.0115	22.0319	0.0000

Residual standard error: 17.28 on 102 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8264

F-statistic: 485.4 on 1 and 102 degrees of freedom, the p-value is 0

▪ **BC/Pb**

Ciudad de Santiago año 1999

*** Linear Model ***

Call: lm(formula = BC ~ PB, data = Stgo.99.para.s.plus, na.action = na.exclude)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-8.446	-0.9079	-0.1392	0.7886	5.716

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.7415	0.2125	8.1965	0.0000
PB	0.0448	0.0019	23.5376	0.0000

Residual standard error: 1.651 on 195 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7397

F-statistic: 554 on 1 and 195 degrees of freedom, the p-value is 0