

CAPTURA, CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN TECHUMBRES DE LA CIUDAD DE COPIAPÓ

CAPTURE, QUANTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF THE SETTLABLE PARTICULATED MATERIAL ON COPIAPÓ CITY ROOFS

Leonardo Villarroel S.¹; José R. Morales²; Pedro Miranda J.²;
Claudio Díaz S.¹; Nils Arce M.¹; Claudio Campos¹

RESUMEN

Se realizó la caracterización del material particulado depositado por las empresas mineras de la ciudad de Copiapó en los relaves de mayor impacto ambiental, así como la concentración de algunos de los elementos presentes en ellos. Simultáneamente, se procedió a capturar, cuantificar y caracterizar el material particulado suspendido y precipitable presente en la columna de aire disponible para la población de la ciudad de Copiapó y determinar, además, el porcentaje de los elementos detectados en cada muestra. La caracterización del material particulado, tanto de los relaves como el capturado en la columna de aire y los recolectores PM10 de alto volumen, fue realizada mediante los análisis PIXE (Proton Induced X-ray Emission) y GIXE (Gamma Induced X-ray Emission). Estos análisis no detectaron la presencia de los elementos más dañinos para la salud humana, a saber, cadmio y arsénico, al menos en puntos cercanos a la ciudad de Copiapó; sin embargo, se logró determinar la presencia de plomo en una zona de alta densidad poblacional.

Palabras clave: Contaminación del aire, material particulado.

ABSTRACT

The characterization of the particulated material from highly environmental impact tailings settled by mining companies of Copiapó was carried out together with the concentration of some of the elements they contain. Simultaneously, the suspended settleable particulated material that contains the air column available for the population in Copiapó was captured, quantified and characterized and the percentage of the elements present in each sample was determined. The characterization of the particulated material both from the tailings and from the air column and the PM10 high volume collectors, was carried out by PIXE (Proton Induced X-ray Emission) and GIXE (Gamma Induced X-ray Emission) analysis. These analyses did not detect the presence of harmful elements for human health, such as cadmium and arsenic, at least in nearby points to the city. Though it was possible to detect the presence of lead in a highly populated area.

Key words: Pollution of the air, particulated material.

INTRODUCCIÓN

Copiapó es una ciudad estrechamente ligada a la actividad minera, sin embargo no existe la información deseable sobre el material particulado en suspensión en las vecindades de las poblaciones

y que eventualmente podría estar ingresando al organismo de sus habitantes por vía aérea o digestiva. Las fuentes contaminantes son múltiples, dado que en su entorno existen muchos relaves mineros abandonados y otros en pleno crecimiento debido a plantas procesadoras activas, además de

¹ Universidad de Atacama, Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Física. Casilla 240. Copiapó, Chile. leonardo.villarroell@uda.cl; claudio.diaz@uda.cl

² Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Física. Casilla 653. Santiago, Chile. r.morales@uchile.cl

algunas fundiciones. En particular, es de interés, por el riesgo que significa para la salud de la población, estudiar la posible existencia a nivel de traza de elementos tóxicos como Cu, Fe, As, Pb, entre otros.

METODOLOGÍA

RELAVES

Se tomaron muestras de cinco relaves localizados en Copiapó, a saber, Hochschild Norte, Palomar 1, Palomar 2, San Esteban y Hochschild Uda, ubicados aproximadamente a 7[km], 3[km], 3[km], 5[km], 1,5[km] del centro de Copiapó, res-

pectivamente. De cada relave se tomaron muestras de cinco puntos diferentes, separados entre 30 y 100 m entre ellos. El material recolectado fue depositado en un recipiente común y mediante agitación se obtuvo una mezcla homogénea y representativa. De cada una de las mezclas ya homogeneizadas se prepara la muestra definitiva tomando material de cinco puntos distintos de la mezcla homogeneizada, las cuales fueron ingresadas a sendos portamuestras, procediendo a homogeneizarlas mediante agitación. Finalmente estos cinco portamuestras fueron enviados al Centro de Estudios de Física Experimental de la Universidad de Chile (CEFEX).

La siguiente figura muestra los puntos donde se recolectaron las muestras de relaves:

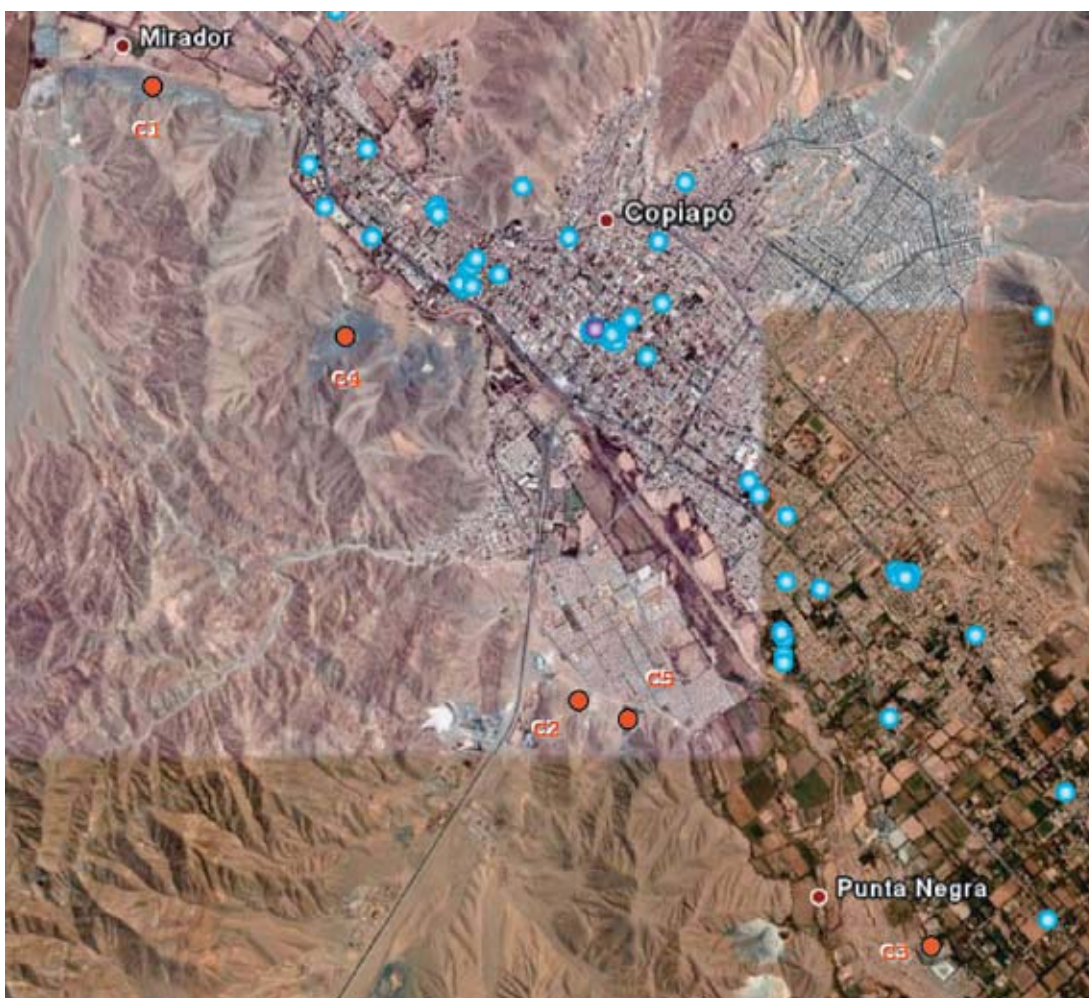


Figura 1. Ubicación de los relaves en la ciudad de Copiapó (•).

MATERIAL PARTICULADO RECOLECTADO A NIVEL DE TECHUMBRES

Se colocaron trampas para capturar material particulado en suspensión a nivel de las techumbres en cinco conjuntos habitacionales situados, en promedio, a 3[km] del centro de Copiapó durante los meses de agosto y septiembre, recolectando en promedio 0,892 g con una dispersión de 0,44 g.

El particulado, recolectado en las trampas, se homogeneizó mediante agitación y los portamuestras respectivos fueron enviados al CEFEX para su análisis PIXE (Proton Induced X-ray Emisión) y GIXE (Gamma Induced X-ray Emisión).

RECOLECTORES PM10 DE ALTO VOLUMEN

Complementariamente, se instalaron recolectores PM10 de alto volumen en dos zonas representati-

vas de Copiapó, los cuales capturaron el material particulado de diámetro menor a 10[μ m] durante 48 y 72 horas, respectivamente. Los filtros respectivos fueron cambiados cada 24 horas. Dichos filtros fueron enviados al CEFEX para sus análisis respectivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS GIXE

Relaves

Con las muestras de relave se confeccionaron pastillas (pellets) que fueron analizadas por el método GIXE usando una fuente radiactiva de Am-241.

Los resultados se muestran en página siguiente:

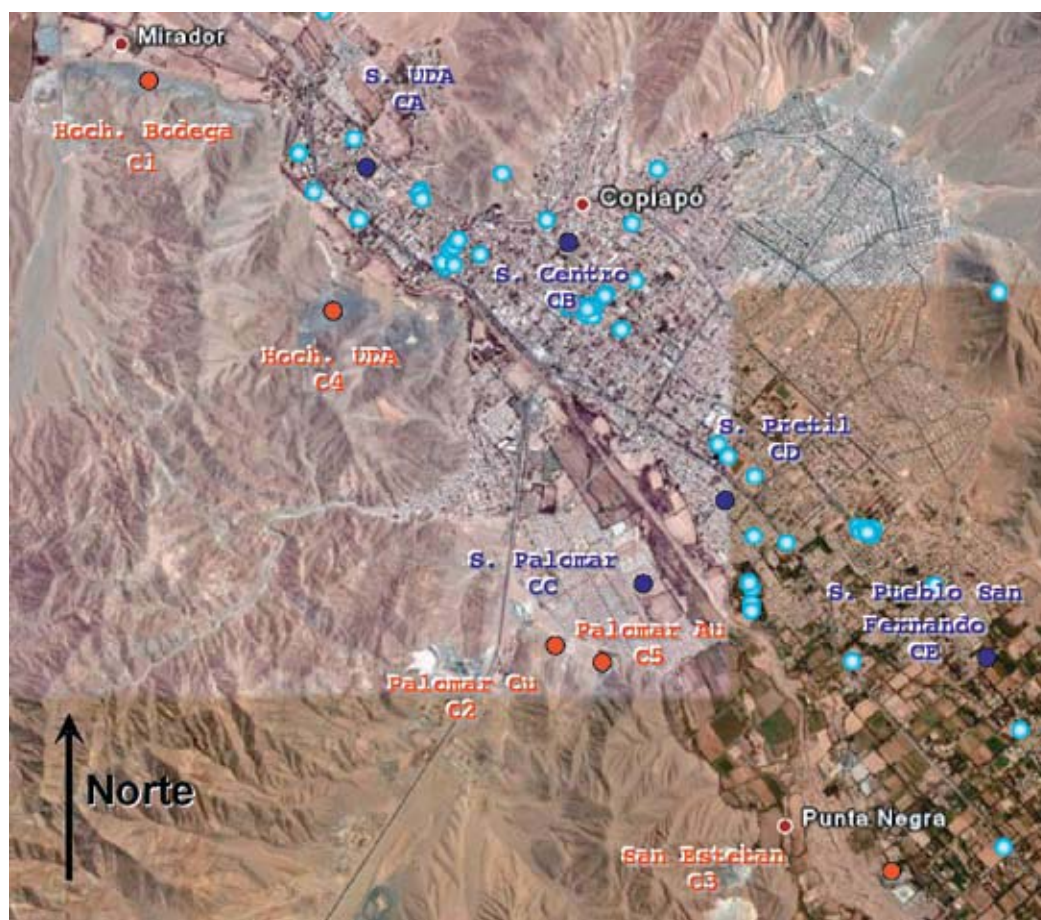


Figura 2. Ubicación de las trampas recolectoras en la ciudad de Copiapó (•).

Tabla 1
Concentración de Fe y Ba de relaves C1, C4 y C5

Muestra	Fe	Ba	Fe/(Ba * 100)
	%	0.01%	
C 1	2.40	4.05	0.59
C 4	2.83	2.52	1.12
C 5	3.49	7.04	0.50
Promedio	2.91	4.54	0.74

La concentración para el Fe está en tanto por ciento y la del bario en centésimas de por ciento. Se ha calculado el cociente entre ambas concentraciones.

La muestra C5 tiene los mayores valores en ambos elementos. El cociente (Fe / Ba) es semejante en las muestras C1 y C5.

La abundancia relativa de Fe con respecto a Ba es mayor en la muestra C4, lo que podría ser una característica del relave en que se recogió el material.

Las mismas pastillas se irradiaron con la fuente radiactiva de Cd-109. Cabe hacer notar que esta fuente no permite detectar el elemento Ba.

Tabla 2
Concentración de Fe de relaves C1, C4 y C5

Muestra	Fe%
C 1	2.16
C 4	2.89
C 5	3.43
Promedio	2.83

Los resultados obtenidos para el Fe con ambas fuentes son semejantes.

PARTICULADO RECOLECTADO A NIVEL DE TECHUMBRES

Los pellets fabricados con las muestras CA, CB, CC, CD y CE se irradiaron con las fuentes de

Am-241 y Cd-109. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 3
Concentración de Fe y Ba a nivel de techumbres

Muestra	Am-241 Fe%	Cd-109 Fe%	Am-241 Ba 0.01%
CA	2.14	1.07	6.18
CB	1.74	1.09	6.07
CC	2.03	1.15	7.67
CD	1.78	1.08	6.80
CE	1.63	0.98	5.42
	1.86	1.07	6.43

Se puede observar que, en general, las concentraciones de Fe determinadas por ambas fuentes son menores que las mostradas en las tablas anteriores referente a las muestras 1, 4 y 5. En cambio, la concentración de Ba es algo mayor.

ANÁLISIS PIXE

Relaves y particulado recolectado a nivel de techumbres

Para peletizar las muestras se utilizó un aglomerante de polietileno. Con el objetivo de determinar las concentraciones absolutas, se utilizó un material de referencia NCS DC 78301 (River Sediment) que proviene del laboratorio CENMA de la Universidad de Chile, obteniéndose la siguiente tabla de concentraciones (Tabla 4).

Las concentraciones relativas al Fe se obtienen de la tabla anterior realizando el cociente entre las concentraciones de los distintos compuestos dividido por la concentración del óxido de hierro (Fe₂O₃). Las tablas de concentraciones relativas son las siguientes (Ver tablas 5 y 6).

El espectro obtenido para la muestra de relave C1 se muestra en el difractograma (Figura 3).

Tabla 4

Concentraciones absolutas promedio de relaves C1 al C5 y material recolectado a nivel de techumbre.

Z	Elemento	K _a	Factor Gravimétrico	C1	C2	C3	C4	C5	CA	CB	CC	CD	CE	CENMA
12	MgO	1,04	0,6030	0,5	0,6	1,9	0,6	1,1	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5
13	Al ₂ O ₃	1,49	0,5293	5,7	5,1	8,6	4,5	8,1	9,7	9,7	7,5	8,8	9,0	12,4
14	SiO ₂	1,74	0,4674	25,1	17,2	33,7	22,0	33,1	31,5	37,0	28,6	30,7	34,4	60,4
15	P ₂ O ₅	2,02	0,4364	0,15	0,08	0,15	0,11	0,16	0,15	0,22	0,12	0,14	0,08	0,17
16	S	2,31	1,0000	0,14	0,04	0,11	0,21	0,17	0,27	0,27	0,22	0,27	0,23	0,00
17	Cl	2,62	1,0000	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,19	0,23	0,14	0,16	0,16	0,00
19	K ₂ O	3,31	0,8301	0,39	0,32	0,63	0,11	0,69	0,90	1,22	0,78	0,91	1,15	2,03
20	CaO	3,69	0,7147	4,3	0,5	1,4	4,4	1,0	4,4	4,1	3,8	4,5	4,8	0,31
22	TiO ₂	4,51	1,1987	0,08	0,10	0,13	0,05	0,09	0,22	0,22	0,15	0,15	0,20	0,42
24	Cr ₂ O ₃	5,41	0,6827	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
25	MnO	5,90	0,7745	0,08	0,00	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,08	0,06	0,06	0,09
26	FeO	6,40	0,7773	1,3	1,3	2,3	1,4	2,2	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,68
26	Fe ₂ O ₃	6,40	0,6994	8,8	8,6	15,4	9,3	14,7	4,0	3,7	2,9	2,9	2,9	4,5
29	Cu ₂ O	8,05	0,8878	0,09	0,03	0,21	0,20	0,16	0,11	0,11	0,10	0,14	0,10	0,05
30	ZnO	8,64	0,8034	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03	0,05	0,07	0,04	0,02	0,03	0,05
82	Pb	14,77	1,0000	0,06	0,04	0,08	0,08	0,08	0,04	0,02	0,05	0,13	0,03	0,05

Tabla 5

Concentraciones relativas a Fe de relaves C1 al C5.

Concentraciones Relativas a Fe			C1	C2	C3	C4	C5	CENMA
Z	Elemento	K _a						
12	MgO	1,04	6,268	7,037	12,587	6,272	20,109	11,953
13	Al ₂ O ₃	1,49	64,959	59,651	55,675	48,179	52,003	277,014
14	SiO ₂	1,74	286,315	199,771	218,253	236,926	159,309	1352,807
15	P ₂ O ₅	2,02	1,669	0,937	0,966	1,182	2,078	3,704
16	S	2,31	1,557	0,432	0,692	2,222	2,735	0,066
17	Cl	2,62	0,140	0,169	0,120	0,128	0,195	0,079
19	K ₂ O	3,31	4,404	3,733	4,105	1,227	0,841	45,553
20	CaO	3,69	49,490	6,228	9,236	47,644	61,022	7,041
22	TiO ₂	4,51	0,950	1,172	0,814	0,532	1,451	9,438
24	Cr ₂ O ₃	5,41	0,284	0,222	0,102	0,215	0,514	0,384
25	MnO	5,90	0,964	0,039	0,352	0,432	0,136	2,127
26	FeO	6,40	15,210	15,210	15,210	15,210	15,210	15,210
26	Fe ₂ O ₃	6,40	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
29	Cu ₂ O	8,05	1,051	0,306	1,375	2,142	0,364	1,071
30	ZnO	8,64	0,105	0,109	0,276	0,208	3,198	1,055
82	Pb	14,77	0,630	0,507	0,496	0,893	2,878	1,071

Tabla 6
Concentraciones relativas a Fe para particulado recolectado a nivel de techumbre

Concentraciones Relativas a Fe			CA	CB	CC	CD	CE	CENMA
Z	Elemento	K _a						
12	MgO	1,04	18,774	15,611	21,864	23,562	20,015	11,953
13	Al ₂ O ₃	1,49	242,984	262,872	253,224	306,650	308,079	277,014
14	SiO ₂	1,74	785,581	998,555	970,470	1072,551	1171,968	1352,807
15	P ₂ O ₅	2,02	3,670	5,933	4,234	4,800	2,825	3,704
16	S	2,31	6,680	7,322	7,423	9,538	7,779	0,066
17	Cl	2,62	4,630	6,305	4,803	5,591	5,599	0,079
19	K ₂ O	3,31	22,522	32,848	26,421	31,577	39,150	45,553
20	CaO	3,69	109,000	110,282	129,708	155,794	165,201	7,041
22	TiO ₂	4,51	5,440	5,993	4,954	5,277	6,900	9,438
24	Cr ₂ O ₃	5,41	0,748	0,597	0,505	0,717	0,926	0,384
25	MnO	5,90	1,359	1,508	2,834	2,065	1,952	2,127
26	FeO	6,40	15,210	15,210	15,210	15,210	15,210	15,210
26	Fe ₂ O ₃	6,40	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
29	Cu ₂ O	8,05	2,707	3,067	3,271	4,913	3,338	1,071
30	ZnO	8,64	1,306	1,773	1,202	0,670	1,032	1,055
82	Pb	14,77	0,915	0,518	1,564	4,482	0,894	1,071

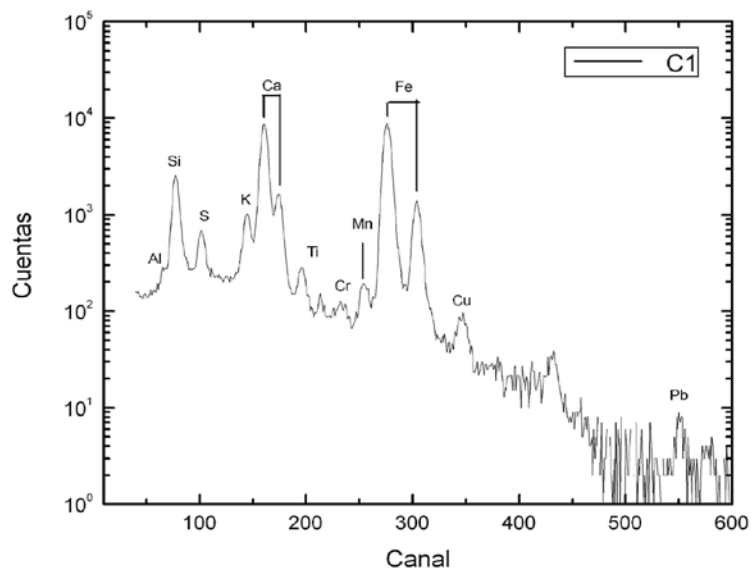


Figura 3. Difractograma relave C1- Hochschule Bodega.

Análogamente, el difractograma correspondiente a la muestra de polvo recolectado a nivel de techumbre CA (Figura 4).

RECOLECTORES PM10 DE ALTO VOLUMEN

Los filtros de cuarzo cargados con material recolectado de los colectores de alto volumen PM10 se irradiaron con el método PIXE, encontrándose varios elementos, entre ellos Al y Cu. Paralelamente se irradió un filtro virgen, y se encontró un espectro multielemental muy similar al anterior. Estas irradiaciones mostraron que el filtro de cuarzo enviado a análisis estaba contaminado, en altas cantidades, con elementos que participaron en su proceso de fabricación (Si, Cl, K, Ca, Fe, Zn, Ba), elementos que distorsionan el análisis del material depositado en él.

A fin de tener un estudio independiente del filtro virgen se realizó una cromatografía iónica a un trozo del filtro. El resultado fue concordante con el encontrado anteriormente en cuanto a que estos filtros se han contaminado o que los

elementos presentes en ellos fueron incorporados en su proceso de fabricación. Para graficar esta situación, en la siguiente figura se muestra la comparación entre el filtro 933 y el filtro virgen (Figura 5).

No obstante lo anterior, este estudio permitió determinar la concentración del particulado PM10 en promedio de 24 horas en dos zonas seleccionadas de Copiapó (Tabla 7).

Al realizar una comparación con la tabla que la CONAMA Metropolitana utiliza para determinar la calidad del aire por partículas en la Región Metropolitana (Tabla 8) se puede observar que la calidad del aire para los días y lugares señalados se encuentra dentro del índice 0 – 10, lo cual debe considerarse como bueno.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para un mejor análisis de este estudio se procede a hacer cuatro gráficos de barra para seis elementos, a saber, P_2O_5 , S, Cl, Pb, Al_2O_3 y Si. En esta selección se consideró, en parte, el impacto de estos elementos en la salud humana (Figura 6).

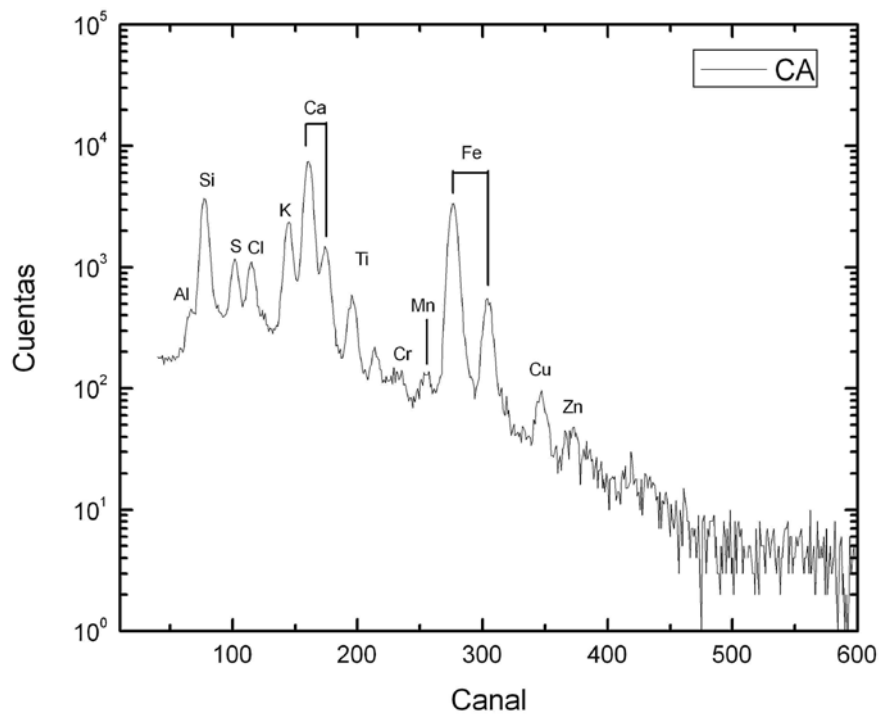


Figura 4. Difractograma CA – Sector UDA.

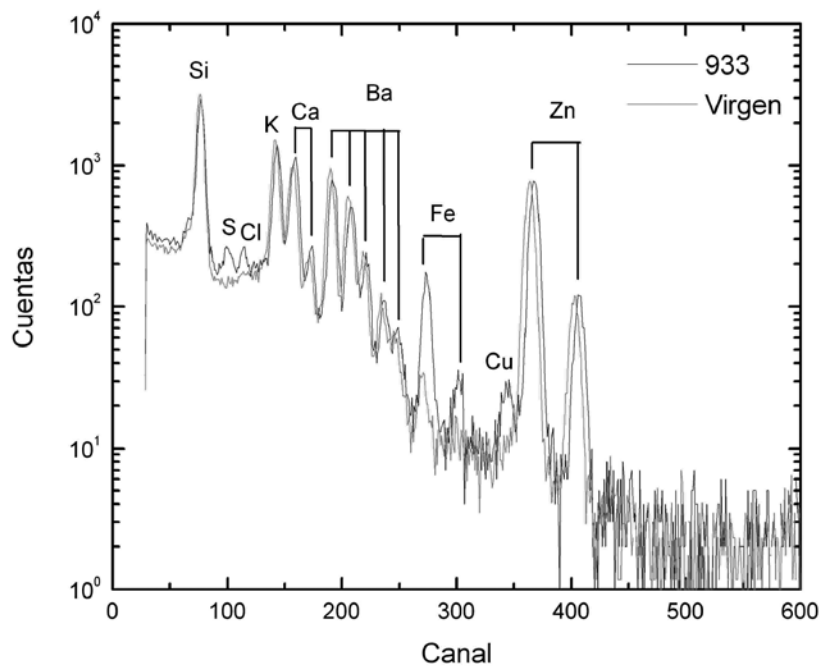


Figura 5. Diffractograma filtro PM10 virgen v/s contaminado.

Tabla 7
Concentraciones particulado PM10.

N° Filtro	Fecha	Aire aspirado (24 horas) m ³	Masa Inicial	Masa Final	MP10 (µg/Nm ³)
933	28-May	1558	2,7877	2,9226	86,5
934	29-May	1563	2,805	2,947	90,8
935	30-May	1572	2,7793	2,932	97,1
938	03-Jun	1559	2,787	2,8812	60,4
940	04-Jun	1577	2,7905	2,8593	43,6

Tabla 8
Indicadores de concentración CONAMA

Estado	Índice	Partículas
Bueno	0-10	(0 a 150 PM10 µg/m ³)
Regular	101-200	(150 a 195 PM10 µg/m ³)
Alerta	201-300	(195 a 239 PM10 µg/m ³)
Preemergencia	301-500	(240 a 329 PM10 µg/m ³)
Emergencia	501-más	(330 o más PM10 µg/m ³)

Fuente: CONAMA.

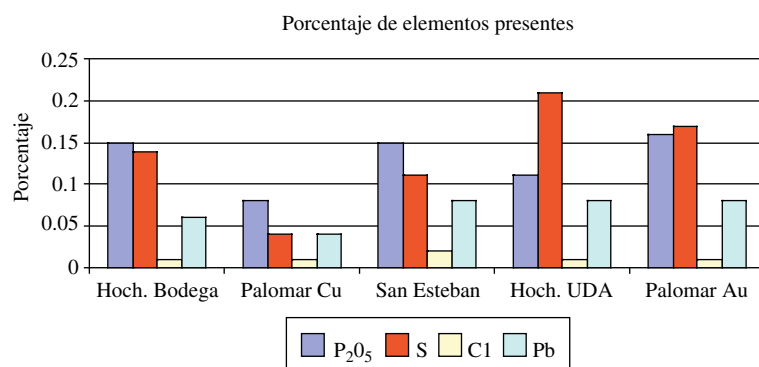


Figura 6. Porcentaje de concentración relaves.

Claramente se observa que el relave Palomar Au en comparación con el relave cercano Palomar Cu representa un mayor riesgo potencial para la salud de la población que existe en su entorno.

Con respecto a la concentración del compuesto P₂O₅, se observa que es prácticamente la misma en tres relaves y algo menor en los relaves Palomar Cu y Hoch. UDA, siendo este último el que presenta mayor concentración de azufre.

Como se puede apreciar en el siguiente gráfico las concentraciones de Al₂O₃ y SiO₂ en el relave activo San Esteban son comparables a las mostradas en el relave pasivo Palomar Au. (Figura 7).

Los siguientes gráficos se refieren a la concentración obtenida de la recolección del particulado a nivel de techumbre en cinco poblaciones de la ciudad de Copiapó (Figura 8).

Se observa que la concentración de azufre es prácticamente uniforme en los cinco sectores, así como la concentración de cloro. En cambio, se nota una concentración de plomo mayoritaria en el sector El Pretil, siendo las restantes prácticamente uniformes.

Como se puede apreciar en el gráfico siguiente, a nivel poblacional, el particulado respirable logra cierta uniformidad para los componentes mostrados (Figura 9).

CONCLUSIONES

El análisis PIXE no permitió detectar, a nivel de trazas, los elementos cadmio y arsénico, lo cual

nos indica que la concentración de estos elementos, de existir, es muy baja y menor a cinco partes por millón, pues este método no detecta concentraciones tan bajas. Esto es muy relevante dado que está comprobado que estos elementos son altamente dañinos para la salud humana.

En general, al observar la Tabla N° 4 se puede decir que no existe una uniformidad en la concentración del material particulado a nivel de techumbre en los distintos sectores poblacionales, notando que para algunos elementos la mayor concentración se presenta en el centro de la ciudad de Copiapó.

En este estudio no se puede sugerir una correlación explícita entre el material recolectado a nivel de techumbres y los relaves estudiados.

En la figura 9 se observa que en el sector El Pretil existe una concentración de plomo tres veces superior a la media de los otros cuatro sectores poblacionales. Lo anterior hace pensar que existe una fuente que emite plomo al ambiente en el entorno al Parque El Pretil, probablemente esto esté asociado a un proceso artesanal de recuperación del oro.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este trabajo expresan su agradecimiento a la Dirección de Investigación y Postgrado de la Universidad de Atacama por el financiamiento otorgado al proyecto DIUDA 221155/2008

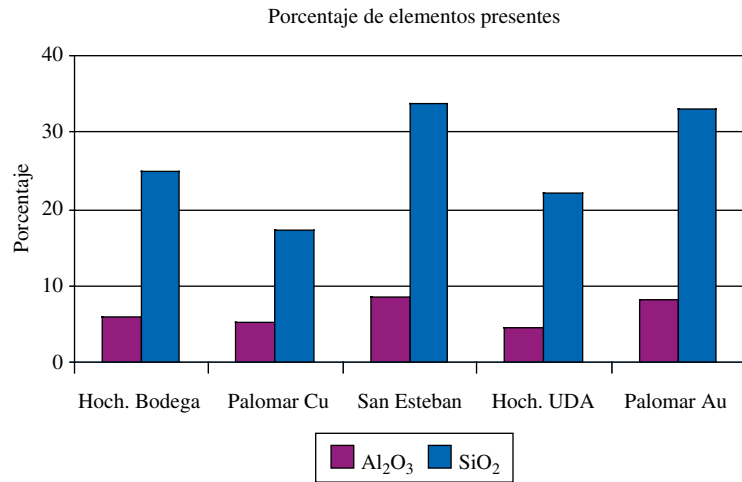


Figura 7. Porcentaje de concentración relativas.

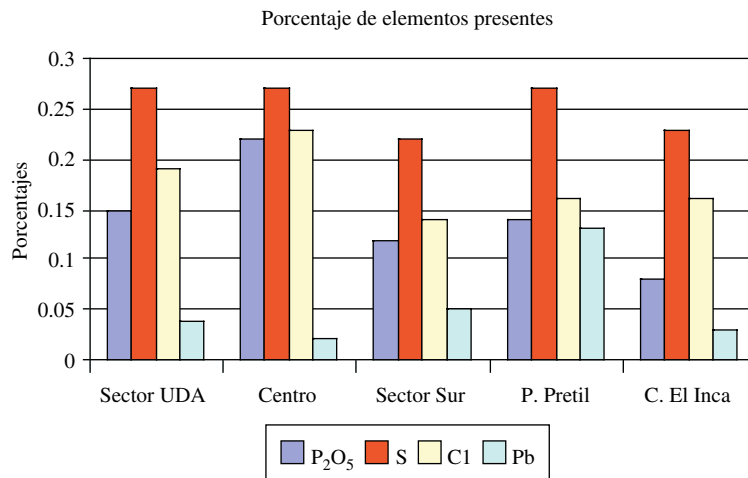


Figura 8. Porcentaje de concentración particulado a nivel de techumbres.

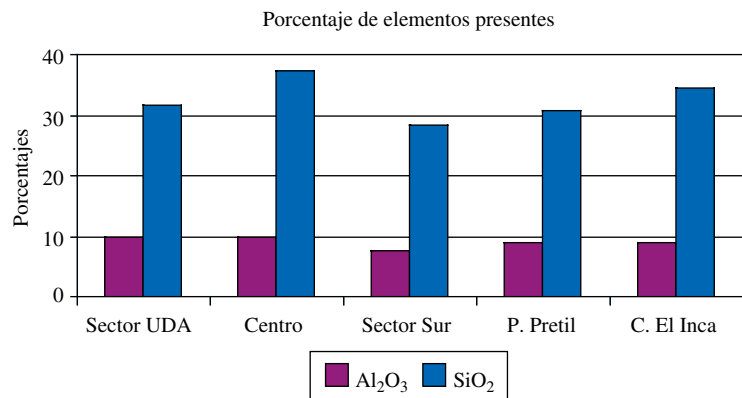


Figura 9. Porcentaje de concentración particulado a nivel de techumbres.

LITERATURA CONSULTADA

- CELIS, J.E.; MORALES, J.R.; ZAROR, C.A.; CARVACHO, O.F. 2007.** Contaminación del Aire Atmosférico por Material Particulado en una Ciudad Intermedia: El Caso de Chillán (Chile). *Información Tecnológica*. Vol 18 (3), 49-58 (2007).
- BRUNEKREE F.B.; FORSBERG, B. 2005.** Evidencia epidemiológica de los efectos de las partículas gruesas aerotransportadas en la salud. *European Respiratory Journal* 6; 309-318 (2005).
- VALLEJO, L.R.; FUENTESECA, J.W.; ROMO-KROGER, C.M.; MORALES, J.R.; LLONA, F. 1991.** Efecto del traslado y embarque de minerales sobre la calidad del aire en una ciudad puerto de Chile. *Interciencia*; Julio-Agosto 1991, vol. 16 N° 4 (1991).
- CONAMA R.M. 1996.** Estudio: Caracterización y cuantificación de las distribuciones de material particulado respirable. Conama RM – U. de Sao Paulo – USACH (1996).
- ALDAPE, F.; FLORES, J.; DÍAZ, R.; MIRANDA, J.; CAHILL, T.; MORALES, J. 1991.** Seasonal Study of the Composition of Atmospheric Aerosols in Mexico City; *Int. J. PIXE* 1, 355-371 (1991).
- SESMA (Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente).** Caracterización de elementos inorgánicos presentes en el aire de la Región Metropolitana 1997-2000. Ministerio de Salud, Laboratorio de Salud Ambiental, Santiago de Chile, 42 p. (2002).