

ACUMULACION METALICA EN SUELOS DEL AREA BAJO INFLUENCIA DE LAS CHIMENEAS INDUSTRIALES DE VENTANAS (PROVINCIA VALPARAISO, V REGION)¹

Soil metal accumulation in the area under industrial chimney influence (Valparaíso Province, V Region)

Sergio González M.² y Regina Ite D.²

SUMMARY

A surface soil sampling (0-20 cm) within the area under influence of atmospheric emissions from industries located at Ventanas (Valparaíso Province, V Región Chile), was carried out during 1991 to determine the changes in total metal contents after eight years. Seven out of nine selected sites were also included in the survey carried out in 1983.

According to the obtained data, significant increases in copper, lead, zinc and cadmium contents were detected after the 8-year period. For copper, the 1991/1983 change rate ranged from 8.9 to 1.7, being the rate magnitude associated mainly to distance and direction from the industrial zone; lead and zinc changed concordantly, showing ranges from 9.1 to 1.1 and 10.8 to 1.3, respectively. Cadmium contents showed the same trend but rate values cannot be calculated as total contents in 1983 samples are not available.

Arsenic total contents in surface soils (not determined in 1983 samples) have reached high levels of accumulation, clearly over the natural background of the area, estimated in a value around 3 mg/kg. In the nearest site to the industries, the arsenic excess was 241 times over the background.

Taking metal spatial distribution model into account, the industrial origin emerges as the unique possibility for this surface soil metallic enrichment. According to metal identity and importance, it is clear that the copper smelter must be the main source of metal contamination, being the thermoelectric plant a secondary participant of the process.

Key words: copper, lead, zinc, cadmium, arsenic, soil accumulation.

INTRODUCCION

Aquel sector del secano costero de la Provincia de Valparaíso, bajo influencia de las chimeneas industriales, emplazadas en la localidad de Ventanas desde hace 30 años, ha vuelto a la actualidad, en gran medida gracias a la dictación, en 1991 del D.S. 185 del Ministerio de Minería y a la puesta en funciones de la red de monitoreo del SO₂ atmosférico, inaugurada con la presencia del Ministro de Minería en el pasado mes de abril.

En 1983, INIA desarrolló en dicha área, una prospección del contenido de algunos metales pesados, en especial cobre, en la estrata superficial (0-20

cm) de los suelos, llegando a comprobar que los suelos, en una extensión importante, mostraban ya una abundante acumulación de metales, originada en las emisiones industriales, particularmente de una fundición de cobre.

En el sitio de máxima acumulación, localizado al inicio del camino a Los Maitenes, los contenidos totales de cobre, plomo y cinc excedían los niveles basales en 50, 10 y casi 2 veces, respectivamente (1.214 vs. 24 mg de Cu; 150 vs. 15 mg de Pb; 68 vs. 39 mg/kg de Zn). En cuanto al cadmio, se detectó una concentración máxima de 2 mg/kg de Cd; no se determinó arsénico. Gran parte de los resultados se encuentran publicados (INIA, 1986; González y Bergqvist, 1986; Parada, González y Bergqvist, 1987).

En experiencias desarrolladas en invernadero, bajo condiciones no controladas, se comprobó que estos

¹Recepción de originales: 1 de junio de 1992.

²Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

suelos habían perdido gran parte de su potencial de crecimiento vegetal, encontrándose que el umbral crítico de cobre, fluctuante en un valor de 200 y 250 mg/kg de Cu extraíble con EDTA 0,05M (aproximadamente, 300 a 400 mg/kg de Cu total) había excedido en algunos sectores.

En 1991, se repitió el muestreo de suelos en algunos de los sitios utilizados anteriormente, con el fin de determinar, no sólo la tasa de cambio de la acumulación de metales sino que, también, el posible enriquecimiento de los suelos con arsénico.

MATERIALES Y METODOS

La localización y descripción global de los sitios de toma de muestras considerados, son presentados en el Cuadro 1. Con el fin de facilitar la comparación entre épocas, se ha mantenido el número asignado a los sitios en la prospección de 1983 (González y Bergqvist, 1986). En todo caso, debe comprenderse que, entre ambas prospecciones, haya habido alguna diferencia en la localización de los sitios de muestreo; se estima, como posible, una distancia de hasta 300 metros.

En cada sitio, se obtuvo una muestra final de la estrata superficial (0-20 cm), previa recolección de, al menos, 5 muestras parciales, dentro de una superficie de 100 m² y adecuada homogenización del material.

Las muestras fueron procesadas en laboratorio, en igual forma a la efectuada en la prospección anterior. Una vez ingresadas, las muestras fueron secada al aire, molidas finamente y digeridas con HNO₃ concentrado en caliente bajo reflujo. Las concentraciones totales fueron determinadas en el extracto ácido, vía absorción atómica de llama, para cobre, plomo, cinc y cadmio, y generación de hidruros, para arsénico.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2 incluye los contenidos totales de arsénico, cadmio, cinc, cobre y plomo en las muestras superficiales de suelos de 1983 y 1991. De estos resultados, se hace evidente que:

- En las dos prospecciones, los contenidos totales de metales aumentan en función inversa a la distancia de la zona industrial, configurando un área de máximo impacto hacia el pueblo de Los Maitenes (sitios 5, 6 y 7).
- En todos los sitios de toma de muestras, los suelos se han enriquecido significativamente en los metales analizados, alcanzando niveles muy superiores a los basales para la zona, equivalentes a los determinados en Quintero (muestra testigo, según González y Bergqvist, 1986).

CUADRO 1. Sitios de toma de muestras de suelos (0-20cm)

TABLE 1. Sampling sites of surface soils (0-20cm)

Nº sitio		Localización ¹	Posición fisiográfica	Exposición
1983	1991			
7	7	E 2,5-3,0	Lomajes medios	N, protegido de emisiones industriales
6	6	E 2,0-2,5	Bajo entre lomajes	N, encerrado entre lomajes
	A	SE 1,5-2,0	Lomajes medios	O, enfrentando emisiones industriales
5	5	SE 1,0-1,5	Lomajes medios	O, enfrentando emisiones industriales
	B	NE 2,0	Lomajes medios	SO, enfrentando emisiones industriales
11	11	NE 3,2	Lomajes medios	SO, enfrentando emisiones industriales
13	13	NE 5,5	Lomajes medios	SO, protegido de emisiones industriales
9	9	E 6,1	Lomajes medios	O, enfrentando emisiones industriales
14	14	NE 7,4	Llanura	O, encerrado entre lomajes

¹Ubicación y distancia (estimada en km), en línea recta desde zona industrial.

CUADRO 2. Contenido total de metales (mg/kg) en muestras de suelos (0-20 cm) tomadas en 1991 (se incluye muestra tomada en Quintero y considerada testigo en 1983)

TABLE 2. Total metal contents in surface soil (0-20 cm), sampled in 1991 (blank sample taken up from Quintero area in 1983, is included)

Sitio	As		Cd		Cu		Pb		Zn	
	1991	1983 ¹	1991	1983	1991	1983	1991	1983	1991	
Sitio 7	77	0,2	3,2	78	695	38	347	68	99	
Sitio 6	150	0,5	4,2	228	1.978	46	371	85	167	
Sitio A	98		3,9		1.097		374		137	
Sitio 5	724	2,0	11,9	1.214	7.921	150	717	98	512	
Sitio B	74		3,1		1.236		371		145	
Sitio 11	32	0,2	2,5	162	622	31	62	10	119	
Sitio 13	31	<0,5	2,2	114	334	13	43	55	99	
Sitio 9	18	1,0	2,0	96	242	22	40	90	120	
Sitio 14	32	0,2	1,9	150	250	35	39	32	60	
Sitio 10 (Quintero)	3	<0,5		24		15		39		

¹Cd extraíble con EDTA (no se determinó Cd total). La información de 1983 corresponde a González y Bergqvist (1986).

- En el sitio de máxima acumulación metálica (sitio 5), el exceso de los contenidos totales (calculado por la relación contenidos 1991 vs. muestra Quintero), sigue la secuencia: cobre (330 veces) = arsénico (241 veces) > plomo y cadmio (48 veces) > cinc (13 veces), lo que refleja un enriquecimiento de neto origen antrópico.

- Se trata de un proceso de contaminación ambiental, que se produce por las emisiones de material particulado desde la fundición de cobre, como fuente principal, y de la planta termoeléctrica, como fuente secundaria.

Estas conclusiones se ven reafirmadas al analizar las figuras 1 y 2, que presentan las curvas que se establecen al asociar los contenidos totales de cobre, en 1991, con los de los restantes metales. De estas figuras, se deduce que los contenidos de cobre están estrechamente relacionados con los de arsénico, cadmio y cinc, siendo indicativo de un origen común: el material particulado industrial.

Si bien los contenidos totales de plomo están asociados a los de cobre, el que la relación asuma un modelo no lineal insinúa un cierto grado de

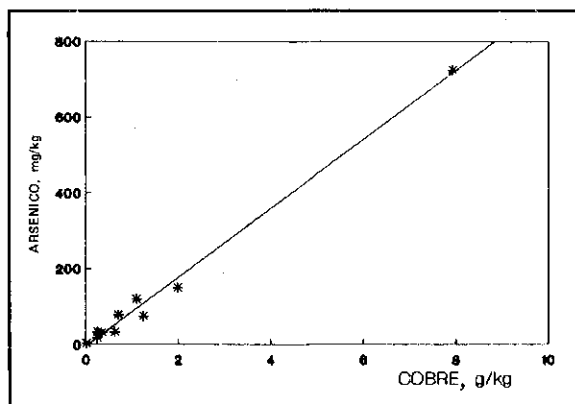


FIGURA 1. Asociación entre contenidos totales de Cu y As en suelos superficiales (0-20 cm) de Puchuncaví, muestreados en 1991.

FIGURE 1. Relationship between Cu and As total contents in Puchuncaví surface soils (0-20 cm) sampled in 1991.

independencia entre ambos metales, apuntando a existencia de fuentes adicionales de plomo, como el transporte vehicular y una refinera de petróleos en Concón. La hipótesis de esta última fuente surgió del hecho que, estudiando un rebaño bovino en un

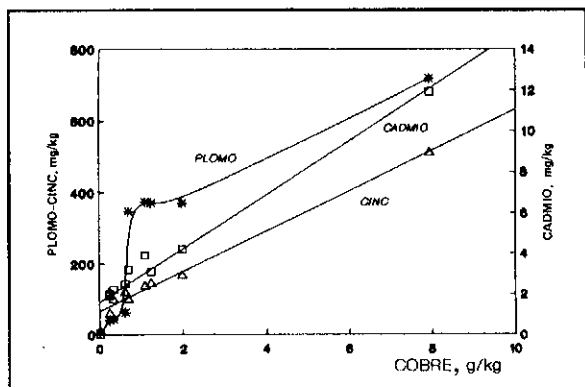


FIGURA 2. Asociación entre contenidos totales de Cu, Pb y Zn en suelos superficiales (0-20 cm) de Puchuncaví, muestreados en 1991.

FIGURE 2. Relationship between Cu, Pb and Zn total contents in Puchuncaví surface soils (0-20 cm) sampled in 1991.

fundo de Valle Alegre, Parada, González y Bergqvist (1987) detectaron valores mayores de plomo en los suelos con exposición sur, enfrentando Concón.

Considerando que ensayos en macetas (González y Bergqvist, 1985) demostraron una afección progresiva del desarrollo y crecimiento de las plantas en estos suelos, por sobre un umbral crítico entre 200 y 250 mg/kg de Cu extraíble con EDTA 0,05M, no obstante que una importante fracción metálica debe mantenerse inactiva, esta última proyección indica, sin lugar a dudas, que tanto la extensión del área con suelos susceptibles de inducir efectos fitotóxicos como la magnitud de éstos creció sustancialmente entre 1983 y 1991.

De acuerdo a referencias extranjeras (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; MISR-SAC, 1986), el umbral crítico de cobre en suelos, sería bastante inferior al obtenido experimentalmente (entre 50 y 100 mg/kg de Cu, extraíble con EDTA). Esta discrepancia no debe sorprender, toda vez que los umbrales críticos de cobre para una misma especie vegetal, varían dependiendo del ambiente en que la contaminación proceda, siendo el tipo de suelos un factor fuertemente incidente (González, 1991).

Llama la atención las altas tasas de cambio en los contenidos totales de metales entre 1983 y 1991. En el sitio 5, de máxima acumulación, las tasas de incremento en el período estudiado fueron: 6,5 para el cobre, 4,8 para el plomo y 5,2 para el cinc. No es posible establecer la tasa de incremento de cadmio, por no contar con la información del contenido total en 1983; sin embargo, pareciera que su tasa de incremento fluctuaría en valores similares al cinc y plomo.

Las figuras 3, 4 y 5 presentan una relación visual de las tasas de incremento de metales, en función de la distancia de la zona industrial. Se observó que el sitio de acumulación máxima de metales (sitio 5), coincide con el de máximas tasas de incremento (sitio 7 para cobre, plomo y cadmio; sitio 11 para cinc). Con ello, se ilustra que el máximo impacto contaminante no es una simple función de la distancia de las industrias sino que otras variables como regímenes de vientos, relieve del área y exposición geográfica, deben ser también tomadas en cuenta.

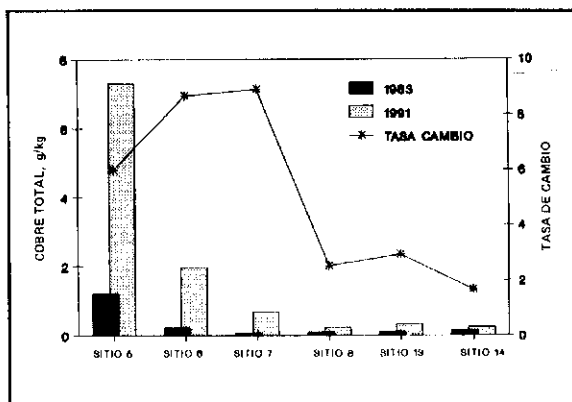


FIGURA 3. Contenido total de Cu en suelos superficiales (0-20 cm) de Puchuncaví, determinados en 1983 y 1991, y su tasa de cambio en el período de 9 años.

FIGURE 3. Total Cu content in Puchuncaví surface soils (0-20 cm), measured in 1983 and 1991, and its change rate in the 9 year period.

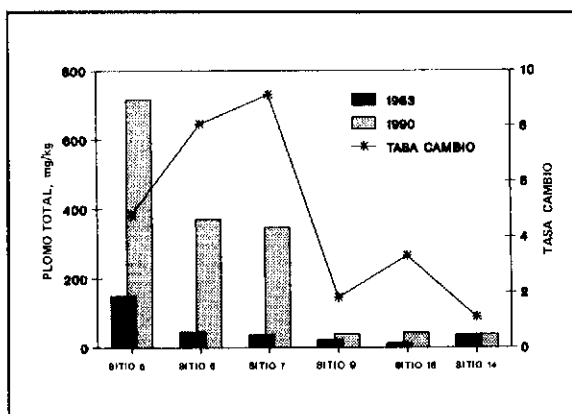


FIGURA 4. Contenido total de Pb en suelos superficiales (0-20 cm) de Puchuncaví, determinados en 1983 y 1991, y su tasa de cambio en el período de 9 años.

FIGURE 4. Total Pb content in Puchuncaví surface soils (0-20 cm), measured in 1983 and 1991, and its change rate in the 9 year period.

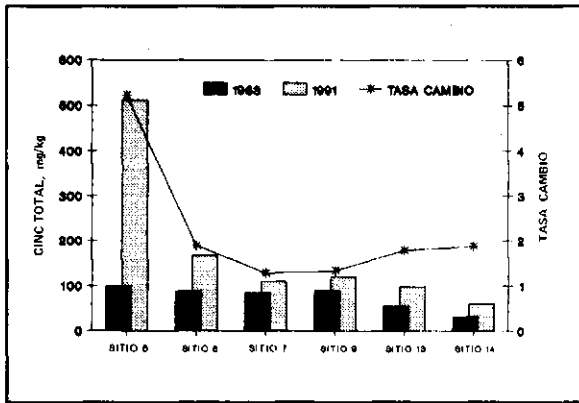


FIGURA 5. Contenido total de Zn en suelos superficiales (0-20 cm) de Puchuncaví, determinados en 1983 y 1991, y su tasa de cambio en el período de 9 años.

FIGURE 5. Total Zn content in Puchuncaví surface soils (0-20 cm), measured in 1983 and 1991, and its change rate in the 9 year period

Finalmente, por posibles diferencias en la ubicación de los sitios de toma de muestras por sitio, y/o en los procedimientos analíticos, es lícito suponer un cierto margen de variabilidad al comparar los resultados entre épocas. En todo caso, si bien los valores absolutos de las tasas de cambio

podieran ser en alguna medida imprecisos, ello no invalida, en modo alguno, las tendencias detectadas.

CONCLUSIONES

- El enriquecimiento con metales, experimentado por los suelos del área vecina a la zona industrial de Ventanas, progresó significativamente en el período estudiado.
- Dada la similitud en los modelos de acumulación y distribución espacial de cobre, plomo, cinc y cadmio, se infiere un origen común para todos ellos.
- Por ser el cobre el elemento más abundante y por concentrar sus máximos en sus vecindades, se hace evidente que el origen del proceso de acumulación metálica en suelos, se origina, mayoritariamente, en las emisiones de material particulado desde una fundición de cobre, con aportes secundarios de una planta termoeléctrica.
- Dada la relación no lineal entre los contenidos totales de cobre y plomo, es posible suponer la concurrencia de aportes adicionales menores de este último desde otras fuentes, insinuándose como posibles, el transporte vehicular y las emanaciones de una refinería de petróleos en Concón.

RESUMEN

En 1991, se procedió a tomar muestras superficiales de suelos (0-20 cm) desde una serie de nueve puntos dentro del área de influencia de las chimeneas industriales de Ventanas, siete de los cuales correspondieron a sitios incluidos en una prospección efectuada en 1983.

Los resultados indican sustanciales incrementos en los contenidos de cobre, plomo, cinc y cadmio, con rangos de tasas de cambio 1991/1983 entre 8,9 y 1,7 para cobre, 9,1 y 1,1 para plomo y 10,8 y 1,3 para cinc; las tasas de incremento de cadmio estarían en rangos similares. Con ello, 330 veces ha aumentado el cobre, 48 veces el plomo y el cadmio y 13 veces el cinc.

Los contenidos de arsénico en suelos, no determinados en las muestras tomadas en 1983, son extraordinariamente elevados, manteniéndose en todas las muestras tomadas en 1991, claramente por encima del valor de la zona, estimado en 3 mg/kg. La tasa de acumulación ha alcanzado las 241 veces en uno de los sitios muestreados.

Por los modelos de distribución espacial de los contenidos metálicos, se comprueba que este enriquecimiento metálico de los suelos ha sido originado por las emisiones desde las industrias de la zona de Ventanas, siendo mayoritario el aporte de la fundición de minerales cúpricos, con participación secundaria de la planta termoeléctrica.

Palabras claves: cobre, cinc, cadmio, arsénico, plomo, acumulación en suelos.

LITERATURA CITADA

- GONZALEZ M., SERGIO. 1991. Upper critical level of copper to alfalfa in ten Chilean soils. *Water, Air and Soil Pollution* 56/57:201-208.
- GONZALEZ M., SERGIO y BERQGVIST A., ENRIQUE. 1985. Suelos contaminados con metales pesados. Efectos sobre el desarrollo vegetal. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Intendencia Región Metropolitana, Secretaría Regional Ministerial de Agricultura-Región Metropolitana. IV Simposio sobre Contaminación ambiental (orientado al recurso aire). Santiago, Chile. Tomo I. p.: 24 - 26.
- GONZALEZ M., SERGIO y BERQGVIST A., ENRIQUE. 1986. Evidencias de contaminación con metales pesados en sector del secano costero de la V Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 46: 299-306.
- INIA - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1986. Contaminación en el valle Aconcagua, V Región. Informe Final, Proyecto FIA 72/80, Santiago, Chile. 125 p.
- KABATA-PENDIAS, A. and PENDIAS, H. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press. Boca Ratón, Florida. 315 p.
- MISR - SAC - MACAULAY INSTITUTE FOR SOIL RESEARCH and SCOTTISH AGRICULTURAL COLLEGES. 1985. Advisory soil analysis and interpretation. MISR-SAC, Aberdeen. Bulletin Nº 1. 13 p.
- PARADA N., ROBERTO; GONZALEZ M., SERGIO and BERQGVIST A., ENRIQUE. 1987. Industrial pollution with copper and other heavy metals in a beef cattle ranch. *Veterinarian and Human Toxicology* 29(2): 122-126.