

# PROSPECCION DE ELEMENTOS TRAZAS EN RECURSOS AGRICOLAS DE CHILE. III. SUELOS DE LOS VALLES MAPOCHO Y MAIPO, REGION METROPOLITANA<sup>1</sup>

## Trace element survey in Chilean agricultural resources. III. Soils from Maipo and Mapocho valleys, Metropolitan Region

Sergio González M.<sup>2</sup>

### SUMMARY

A top soil survey within the Maipo and Mapocho valleys to quantify total and 0,05 M EDTA extractable fractions of Cd, Cu, Mn, Mo, Pb and Zn, was carried out since October 1986. Additionally, some local areas suspicious of being submitted to pollution processes were included.

Probably due to their alluvial sedimentary origin, the soils of both valleys reflect the geochemical richness of their aquifers. It was detected that the Mapocho soils contain higher richness of trace elements than those ones belonging to the Maipo valley.

Cu was the most interesting trace element as it showed the largest difference between soils from both valleys. Its higher total contents are restricted to a western area, where two Cu mines are located. Because of this fact, a preferential natural origin for the soil cupricity was presumed.

0.05M EDTA extractable Cu fraction was directly associated to total content; this relationship is valid only if the EDTA-Cu is expressed in absolute terms and not in relative ones. According to some researchers, higher EDTA extractable fractions should be defined as phytotoxic.

Special surveys carried out in various sites within the Metropolitan Region, proved the existence of three areas affected by industrial pollution processes. It was showed that Rungue dam was being polluted by continuous slurry discharges from a refinery plant, that an area in the neighborhood of Caren pond was receiving the discharges of refusals from a Cu mine, and that an area next to Nos was polluted by the atmospheric emissions from a number of industrial chimneys. Impacts upon agricultural production must be assessed.

**Key words:** total copper, exchangeable copper, top soils, heavy metals, trace elements, slurry discharges, mining refusals.

### INTRODUCCION

Como parte de dos proyectos de investigación, ejecutados por INIA entre 1981 y 1990 y financiados por la Fundación Fondo de Investigaciones Agropecuarias (FIA), se prospectó en términos preliminares, el contenido en suelos y aguas de aquellos elementos trazas susceptibles de transformarse en contaminantes ambientales en Chile.

Hasta la fecha, se ha publicado los resultados de la IV Región y de los ríos de la Región Metropolitana (González, 1990, 1991a). El presente artículo, el tercero de la serie, presenta los resultados en los suelos de los valles de la Región Metropolitana, además de una relación de aquellas situaciones supuestamente anómalas.

Por tener influencia sobre los contenidos elementales en suelos, debe recordarse los más relevantes de la prospección en los ríos de la Región Metropolitana. Además del riesgo epidemiológico de la libre disposición y del uso en riego de las aguas servidas no tratadas, se comprobó que el río Mapocho nace con cargas de Cu y  $SO_4^{2-}$  que superan los límites máximos permitidos para aguas de riego (INN, 1978), hecho que ha sido relacionado

<sup>1</sup>Recepción de originales: 12 de Julio de 1991.

Trabajo analítico, a cargo de Regina Ile D. (Químico Laboratorista) y Ximena Gálvez L. (Técnico Químico). Toma de muestras en sector aledaño a la Laguna Carén, realizado por Enrique Bergqvist A. (Médico Veterinario M.S.).

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

con un centro de extracción de Cu que se sirve del río San Francisco.

Los conflictos ambientales con el río Maipo se refieren a los contenidos nativos de  $\text{SO}_4^{2-}$ , que exceden el límite máximo para riego (INN, 1978), a un cuantioso arrastre de sedimentos y a voluminosas descargas intermitentes de materiales fibrosos residuales a una industria papelera, emplazada en Puente Alto.

Los objetivos del presente estudio fueron:

- caracterizar el contenido de elementos traza, total y extraíble con EDTA 0,05M, del horizonte  $A_p$  de suelos de los valles Maipo y Mapocho;
- determinar la distribución espacial de los contenidos totales de elementos traza en el horizonte  $A_p$ ; y

- caracterizar las áreas con contenidos anormalmente elevados de elementos traza, estimando sus causas más probables.

## MATERIALES Y METODOS

### Caracterización de suelos

Entre octubre de 1986 y diciembre de 1987, se llevó a cabo una toma de muestras del horizonte  $A_p$  de suelos de los valles Maipo y Mapocho, desde los sitios identificados en la Figura 1. Cada muestra provino de 10 submuestras, tomadas al azar dentro de un cuadrado de  $100 \text{ m}^2$ ; el material recolectado fue debidamente homogeneizado antes de generar la muestra definitiva.

En laboratorio, las muestras fueron secadas al aire, molidas manualmente, tamizadas bajo  $2 \text{ mm}$  y almacenadas en bolsas plásticas hasta su análisis.

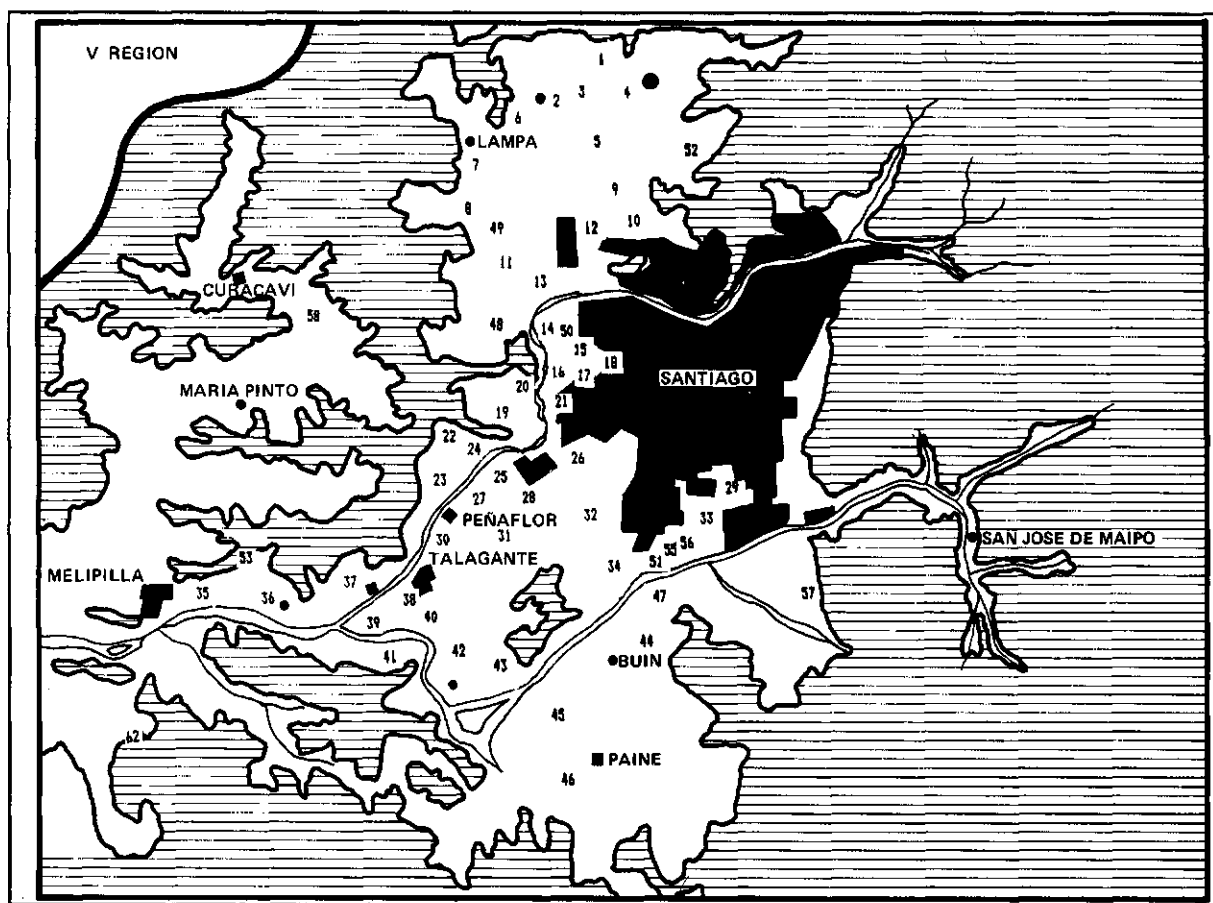


FIGURA 1. Sitios de muestreo de suelos (horizonte  $A_p$ ), en los valles Maipo y Mapocho, Región Metropolitana, Chile.

FIGURE 1. Soil sampling sites ( $A_p$  horizon), within Maipo and Mapocho valleys, Metropolitan Region of Chile.

Al inicio del procesamiento analítico, se determinó la humedad remanente, por calentamiento en estufa a 110 °C hasta peso constante (72 a 96 horas).

El contenido total de elementos traza se determinó en el extracto ácido, resultante de la digestión de la muestra con HNO<sub>3</sub> concentrado, en plato caliente y bajo reflujo (Miller y McFee, 1983); la relación suelo/ácido de trabajo, fue 1/10 p/v. La fracción extraíble con EDTA fue determinada en el extracto, obtenido luego de agitar mecánicamente una suspensión de la muestra y la solución acuosa de EDTA 0,05M pH 7 (MISR-SAC, 1985); la relación muestra/solución fue 1/5 p/v, con agitación moderada durante 2 horas.

Los extractos fueron obtenidos por centrifugación y el contenido de Cd, Cu, Mo, Pb y Zn fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica (EAA), con atomización por llama; se usó indistintamente un Perkin-Elmer 403 y Pye-Unicam 2900.

#### **Prospección de áreas con altos índices metálicos**

Desde 1981, se empezó a recopilar información sobre áreas receptoras de residuos mineros o industriales; las áreas fueron las siguientes:

- un sector al S de San Bernardo, por ser receptor de emisiones fumígenas desde industrias existentes en Nos (Comuna de San Bernardo),
- el área regada con las aguas del embalse Rungue, por ser receptor de residuos líquidos desde una industria refinadora de metales, y
- un sector aledaño a la Laguna Carén, por recibir intermitentes descargas de relaves desde una mina en explotación.

En cada área, se procedió a una toma de muestras para caracterizar los procesos contaminantes; en todas ellas, se tomó muestras de suelos, en tanto que en las dos últimas áreas se tomó muestras de aguas, y en la primera, de vegetales. Las aguas fueron analizadas siguiente criterios de amplia aceptación (APHA, AWWA y WPCF, 1984); el contenido elemental total en suelo y relaves de acuerdo al procedimiento arriba descrito.

Antes de su análisis, las muestras vegetales fueron divididas en dos porciones, una para ser analizada con la carga de partículas existentes al momento del muestreo y la otra, para ser analizada luego de remover esta carga particulada; para ello, esta segunda posición fue lavada secuencialmente con HCl 0,1M, EDTA 0,01M y agua bidestilada, antes de ser secada en estufa a 60 °C.

Posteriormente, las muestras fueron molidas mecánicamente y tratadas con HNO<sub>3</sub> concentrado y caliente, para obtener un extracto ácido donde cuantificar los contenidos elementales, en la misma forma descrita precedentemente.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Contenido total de elementos traza en horizonte A<sub>p</sub>**

El Cuadro 1 presenta los resultados de contenidos totales de Cu, Pb y Zn en el horizonte A<sub>p</sub> de los suelos, sobre la base de una agrupación por valle. Los resultados expresan los promedios aritméticos y rangos de variación; no se presenta Mo y Cd, por no mantenerse bajo los respectivos límites de detección de la técnica (0,5 mg Cd kg<sup>-1</sup> y 5 mg de Mo kg<sup>-1</sup>).

El promedio de Cu para los suelos del Mapocho (más los esteros Colina y Lampa), fue 2,7 veces mayor que para los del Maipo (197 vs. 72 mg kg<sup>-1</sup>), mientras que para el Zn, la diferencia se redujo a 1,5 veces (155 vs. 111 mg kg<sup>-1</sup>). Los promedios de Pb fueron similares en ambos valles (29 vs. 24 mg kg<sup>-1</sup>).

Los contenidos extremos de los elementos mantienen la tendencia de los promedios, especialmente el Cu. Así, mientras el contenido máximo del Mapocho fue 3 veces mayor a del Maipo (856 vs. 243 mg kg<sup>-1</sup>), el mínimo del Mapocho superó en más de 5 veces el correspondiente del Maipo (42 vs. 8 mg kg<sup>-1</sup>).

La distinta riqueza en elementos trazas, especialmente Cu, de los valles, evidenciada por determinaciones en el horizonte A<sub>p</sub>, está reflejando la riqueza geoquímica propia de cada acuífero superior. No se olvide que los suelos se han originado a partir de sedimentos líticos que fueron transportados aluvialmente desde los cajones cordilleranos, por lo que mantienen identidad lítica y geoquímica con las formaciones cordilleranas.

Entonces, la cupricidad de valle del Mapocho provendría de la cupricidad de la alta cuenca, lo que es evidente toda vez que allí radica una actividad minera de importancia, hecho que no ocurre en la cuenca del Maipo. Siendo cúprica la cuenca alta, las aguas de drenaje natural deberían ser eficientes agentes de acarreo de parte de la carga cúprica hasta el valle aluvial; dentro de éste, tendería a precipitar al encontrar las condiciones ambientales apropiadas.

**CUADRO 1. Contenido total (mg/kg peso seco) de elementos trazas en el horizonte A<sub>p</sub> de suelos de los valles Maipo y Mapocho, Región Metropolitana****TABLE 1. Total contents of trace elements (mg/kg dry weight) in A<sub>p</sub> horizon of soils from Maipo and Mapocho valleys, Metropolitan Region**

Elemento	Promedio	Mínimo	Máximo	Observado
Valle del Río Mapocho:				
Cadmio	1,0	< 1,0	2,9	40
Cinc	154,5	72,2	343,7	40
Cobre	196,6	41,5	856,4	40
Plomo	28,7	8,2	66,4	40
Valle del Río Maipo:				
Cadmio	0,5	< 1,0	2,8	21
Cinc	111,4	16,0	200,0	19
Cobre	72,3	7,5	242,8	19
Manganeso	920,7	600,0	1.547,6	5
Plomo	23,8	5,0	45,7	19

Analizando la distribución espacial de las isocuantas de Cu (Figura 2), queda en evidencia que la cupricidad edáfica no es generalizada a todo el valle Mapocho y que, por el contrario, se presenta circunscrita a un sector vecino al Cordón Lo Prado, el que está inserto en una matriz con contenidos no muy diferentes a los del Maipo.

Dentro del sector cúprico, existen dos minas de Cu en explotación, lo que reafirma la hipótesis de que la cupricidad de los suelos sería de génesis natural; paralelamente, el sector cúprico muestra un ligero enriquecimiento en Zn y Pb. Esta conclusión recibe mayor validación, al conocerse la distribución homogénea del Cu total, en profundidad, en el perfil de suelo del sitio 49 (sector Pudahuel) (Cuadro 2).

Las isocuantas de Cu total identifican a un segundo sector cúprico, de menor superficie al anterior, emplazado en el valle del Maipo al NE de la zona industrial de Nos (Comuna de San Bernardo) y corresponde al área receptora de sus emisiones fumígenas, gaseosas y sólidas.

Esta localidad tiene, desde hace un cierto tiempo, un historial de contaminación. Justamente, en ella se detectó un caso de molibdenosis de origen industrial en animales bovinos, al resultar intoxicados luego de ingerir forraje ensuciado con material particulado rico en Mo (Parada, 1981).

Por tratarse de un área expuesta a emisiones de diversa naturaleza, la contaminación no está restringida a un elemento, como queda comprobado

por los resultados incluidos en el Cuadro 3. En 1985, se detectó que el horizonte A<sub>p</sub> de los suelos de la zona estaba fuertemente enriquecido en Cu y Mo, con participación secundaria de Pb y Cd; el origen industrial de esta contaminación se demuestra por la declinación de los contenidos metálicos con la distancia de la zona industrial.

Es evidente que el contaminante de mayor impacto en este sector es el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), gas emitido abundantemente por, prácticamente, todas las chimeneas industriales y responsable principal del fenómeno de lluvia ácida que lo afecta (Villaseca, 1983); sin embargo, limitaciones analíticas imposibilitaron efectuar mediciones de sus concentraciones atmosféricas.

#### Fracción extraíble con EDTA en el horizonte A<sub>p</sub>

Los contenidos elementales totales en suelos tienden a no explicar el crecimiento vegetal ni menos servir como base de predicción de la absorción vegetal. Por el contrario, ambos parámetros vegetales tienden a asociarse con ciertas formas que presentan los elementos en los suelos, equivalente a una fracción del total poco retenida por las fases sólidas del suelo y, por tanto, más móvil y más fácilmente disponible para las plantas.

Aunque no existe criterios uniformes en materias de extractantes de microelementos vs. respuesta vegetal, la mayor parte de la información disponible coincide en asignar a la fracción de Cu, y otros elementos, que se extrae de los suelos con EDTA

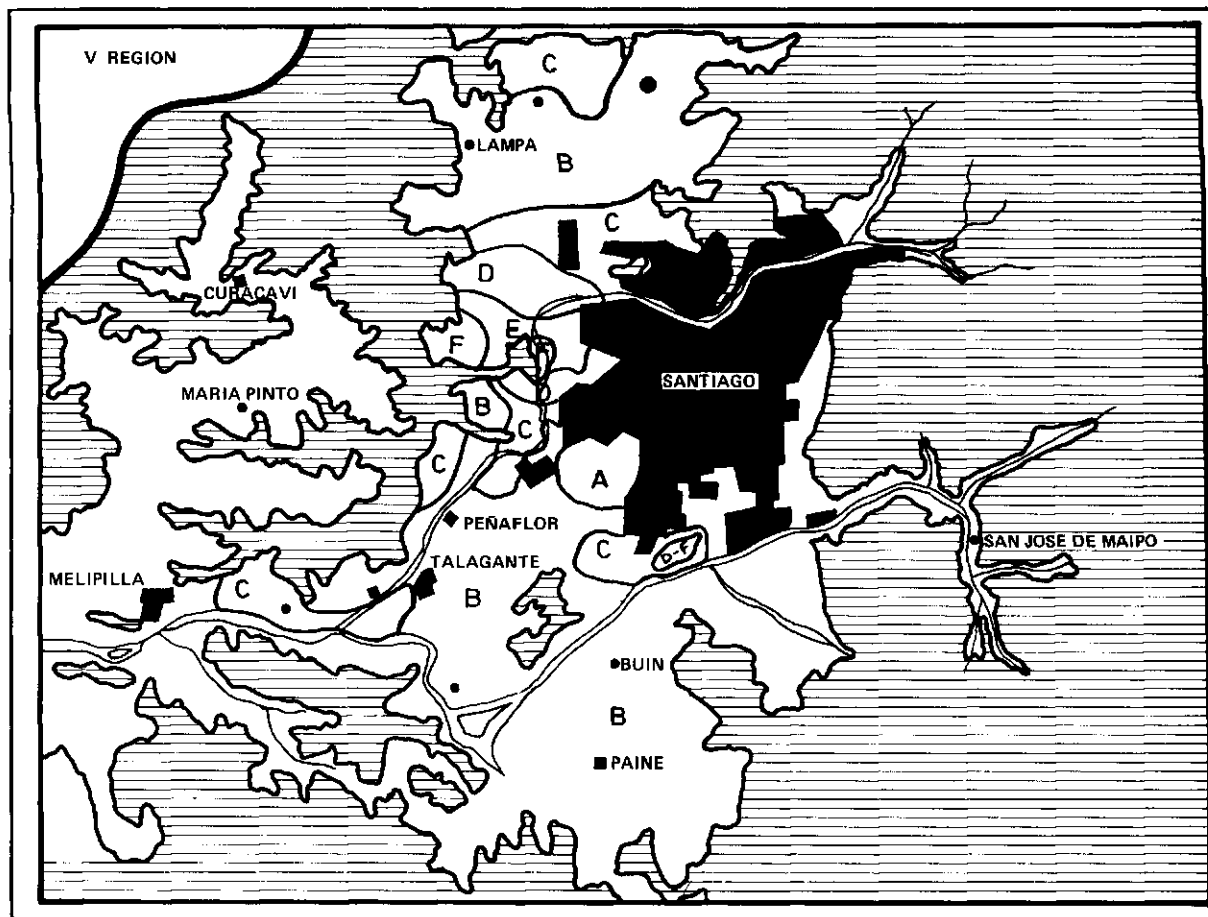


FIGURA 2. Curvas isocuantas de cobre total en el horizonte  $A_p$  de suelos de los valles Maipo y Mapocho, Región Metropolitana, Chile. Leyenda: A = < 50,0 mg kg<sup>-1</sup>. B = 50,1 - 100,0 mg kg<sup>-1</sup>. C = 100,1 - 200,0 mg kg<sup>-1</sup>. D = 200,1 - 400,0 mg kg<sup>-1</sup>. E = 400,1 - 600,0 mg kg<sup>-1</sup>. F = > 600,1 mg kg<sup>-1</sup>.

FIGURE 2. Curves of total copper in soil  $A_p$  horizon, within Maipo and Mapocho valleys, Metropolitan Region of Chile. Legend: A = < 50,0 mg kg<sup>-1</sup>. B = 50,1 - 100,0 mg kg<sup>-1</sup>. C = 100,1 - 200,0 mg kg<sup>-1</sup>. D = 200,1 - 400,0 mg kg<sup>-1</sup>. E = 400,1 - 600,0 mg kg<sup>-1</sup>. F = > 600,1 mg kg<sup>-1</sup>.

0,05M, pH 7, la condición de "disponible para las plantas", por lo que sería el mejor predictor del crecimiento vegetal (Beckett, 1989; Beckett, Warr y Davis, 1983; MISR-SAC, 1985; Davies, 1984).

Sin embargo, no parece lícito asignar similitud a un reactivo químico con la forma de succión de las raíces; por ello, aún aceptando que haya reactivos que extraigan desde los suelos cantidades de microelementos que tengan estrecha relación con el crecimiento y/o la absorción vegetal, es preferible usar el lenguaje más objetivo posible; por ello, en el presente trabajo, se mantiene la denominación de fracción extraíble con EDTA.

La Figura 3 muestra que la fracción de Cu extraíble con EDTA de los suelos presentó estrecha asociación con el contenido total, lo que se significa que

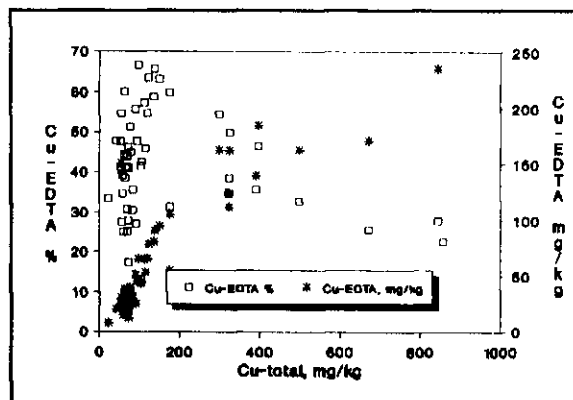


FIGURA 3. Cu-EDTA, asociado al Cu-total en horizonte  $A_p$  de suelos de los valles Mapocho y Maipo, Región Metropolitana, Chile.

FIGURE 3. EDTA-Cu, related to total-Cu, in  $A_p$  horizon of Maipo and Mapocho soil, Metropolitan Region of Chile.

**CUADRO 2. pH, CE y contenidos totales de elementos trazas en suelos de los valles Maipo y Mapocho. Muestras tomadas a tres profundidades**

**TABLE 2. pH, electrical conductivity and trace element total contents in soils belonging to Maipo and Mapocho valleys. Samples produced at three depths**

Sitio <sup>1</sup>	Prof. cm	pH	CE Ds/m	Zn	Cu mg/L	Pb	Valle
Pudahuel (Nº 50)	0-25	7,1	0,9	285	670	46	Mapocho
	25-50	7,6	0,7	294	937	42	
	50-75	7,4	0,6	238	1.116	41	
Noviciado (Nº 49)	0-25	7,3	0,6	146	205	56	Mapocho
	25-50	7,6	0,6	129	216	64	
	50-75	7,4	0,7	131	217	59	
Los Tilos (Nº 47)	0-25	7,7	0,9	90	43	46	Maipo
	25-50	7,5	0,5	111	43	35	
	50-75	7,1	0,4	129	48	36	

<sup>1</sup>Ubicación de sitios, en Figura 1.

**CUADRO 3. Elementos trazas extraíbles con EDTA 0,05M (mg/kg peso seco), en el horizonte A<sub>p</sub> de suelos del sector bajo influencia de las emisiones de chimeneas industriales en Nos, Comuna de San Bernardo**

**TABLE 3. Trace element EDTA 0.05M-extractable fraction (mg/kg dry weight) in the A<sub>p</sub> horizon of soils sampled at the area influenced by industrial chimney emissions, at Nos, San Bernardo Comune**

Dist. <sup>1</sup> (m.s.n.m.)	Profundidad (cm)	Cd	Cu	Mo	Pb	Zn
300	0 - 20	3,6	715	57	64	89
500	0 - 20	<1,5	242	21	52	42
800	0 - 20	<1,5	303	16	50	65
1.500	0 - 20	<1,5	24	<15	21	22

<sup>1</sup>Dirección norte, con relación a zona industrial.

la disponibilidad de Cu para las plantas se hace mayor a medida que la cupricidad de los suelos crece.

No obstante, la relación no es lineal, tendiendo a la asintótica hacia los contenidos más altos; ello quiere decir que, a partir de cierto valor de Cu total, su disponibilidad para las plantas no sufre nuevos incrementos. La asociación entre Cu-total y Cu-EDTA sólo es válida cuando ambos se expresan en valores absolutos; si el Cu-EDTA se expresa en proporción del total, la relación se pierde.

Los valores obtenidos de Cu-EDTA permiten precisar que, en la zona de estudio es extremadamente

improbable la limitación al desarrollo vegetal por Cu, incluso en plazos largos y bajo sistemas agrícolas intensivos; por el contrario, es plenamente factible la toxicidad por Cu en suelos cuyos contenidos de Cu-EDTA sobrepasen los 200 µg g<sup>-1</sup>, umbral de tolerancia según Kabata-Pendias y Pendias (1984).

**Area regada con aguas del embalse Rungue**

Aunque se ubica fuera de los valles estudiados, esta área se incluyó en la prospección regional, luego de haberse tomado conocimiento del persistente ingreso al embalse, de abundantes residuos líquidos descargados desde una planta refinadora de metales.

En terreno, se constató el ingreso al embalse del residuo líquido de una planta de refinación de metales, correspondiendo a un fluido líquido, compuesto de una fase líquida y otra coloidal amarillenta. Cuando el nivel baja, se hace evidente la acumulación de la masa coloidal sobre el fondo del tranque; por ello, hacia fines de la temporada de riego, el agua que egresa del canal tiene una mayor proporción de este residuo industrial.

La caracterización química de las aguas del sistema Rungue, incluyendo muestras del RIL, se presenta en el Cuadro 4; se comprueba que el embalse se contamina con un residuo industrial líquido (RIL) que se manifiesta fuertemente ácido y salino, siendo dominantes las sales sulfatadas.

Según la muestra tomada en 1992, se concluye que, además de sulfatos, el principal aporte del RIL es Fe, con aportes de segundo orden de Mn, Cu y Zn, y de tercer orden de Cd y As. Esto significa, entonces, que la fase coloidal del RIL de la refinadora de metales corresponde a Fe.

El posible impacto real de este proceso contaminante, queda indeterminado, toda vez que

a éste concurren dos situaciones contrapuestas, a saber:

- suelos predominantemente montmorilloníticos y con alta carga de calcio, donde los metales tienden a tener prolongados tiempos de residencia pero con baja disponibilidad para los vegetales, ya que adoptan formas poco móviles (González, 1991b);
- residuo con marcado carácter ácido que, en microzonas del suelo, podría favorecer la generación de formas elementales más solubles, o sea más disponibles para las plantas, con el consiguiente riesgo de ingresos a cadenas tróficas y/o la emergencia de efectos tóxicos, en plazos medianos a largos.

#### Sector vecino a la Laguna Carén

Se tiene constancia que un sector vecino a la Laguna Carén, ha recibido descargas intermitentes de relaves, provenientes desde una mina en operación existente en la vecindad. Se aprovechó uno de estos episodios, para tomar muestras de relaves y suelos.

**CUADRO 4. Composición de las aguas del sistema del embalse Rungue**

**TABLE 4. Water composition from the Rungue dam system**

#### A) Caracterización salina:

	Muestra analizada				
	RIL <sup>1,2</sup>	RIL <sup>3</sup> , fase líquida	Aguas de canal <sup>2</sup> , en		
			Caseta salida embalse	Rincón de San Antonio	La Capilla
pH	4,0	3,0	6,3	6,9	7,1
C.E., ds/m	4.378	4.990	928	930	885
Sólidos, mg/L					
Totales	7.110		840	818	758
Suspendidos	2.486		18	42	24
Disueltos	862		822	776	734
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mmol(-)/L	0,0		0,3	0,2	0,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/L	4.221	3.493	528	504	490
Cl <sup>-</sup> , mg/L	350	36	13	12	10
Ca <sup>2+</sup> , mg/L	0,5		4,7	4,5	4,5
Mg <sup>2+</sup> , mg/L	6,4		3,5	3,3	3,4
Na <sup>+</sup> , mg/L	1,8		1,1	1,1	1,1
K <sup>+</sup> , mg/L	0,07		0,05	0,06	0,05
RAS <sup>4</sup>	0,49		0,54	0,56	0,55
Na%	6,3		11,8	12,3	12,2

continuación Cuadro 4. Composición de las aguas del sistema...

B) Caracterización elemental (mg/L, excepto Fe que se expresa en g/L):

	Muestra analizada					
	RIL <sup>1,2</sup>	RIL <sup>3</sup> fase líquida	RIL <sup>3</sup> fase coloidal	Caseta salida embalse	Rincón de San Antonio	La Capilla
Cd						
Total	0,18		1,45	0,03	0,03	0,02
Disuelto		0,57		0,03	0,03	0,02
Zn						
Total	20,0		135,5	1,2	1,2	1,0
Disuelto		30,0		1,1	1,2	0,8
Cu						
Total	55,0		371,0	0,9	1,1	1,0
Disuelto		90,0		2,8	1,2	0,5
Fe						
Total	0,4		50,8	6,8	7,0	6,5
Disuelto		50,0		0,2	0,4	0,2
Mn						
Total	130,0		596,1	17,5	15,8	13,5
Disuelto		280,0		17,0	15,0	16,5
Pb						
Total	0,08		ND <sup>5</sup>	0,02	0,02	0,02
Disuelto		0,30		0,02	0,02	0,02
Se total		< 0,01	< 0,01			
As total		< 0,01	20,8			

<sup>1</sup>RIL: residuo industrial líquido, muestreado en cabecera de embalse; analizado en total. <sup>2</sup>Muestras tomadas en abril de 1988.

<sup>3</sup>Muestras tomadas en abril de 1992. <sup>4</sup>RAS: relación de adsorción de sodio. <sup>5</sup>ND: no detectado.

El Cuadro 5 señala que el relave depositado en la superficie de los potreros contaminados, poseyó una marcada acidez, gracias a una elevada concentración de sulfatos, y elevados contenidos no solubles de Cu; el metal forma parte de

partículas sólidas, por lo que no debería haber efectos fitotóxicos, en el corto plazo. Aparentemente, la composición elemental de estos relaves no incluye elementos de mayor riesgo ambiental, como Pb o Cd.

**CUADRO 5. pH, CE (ds/m a 25 °C) y contenidos totales de Cu, Pb, Zn y Cd (mg/kg peso seco) en relaves y suelos, muestreados en predio vecino a mina de cobre en explotación**

**TABLE 5. pH, electrical conductivity (ds/m at 25 °C) and total contents of Cu, Pb, Zn and Cd (mg/kg dry weight), in mining refusals and soils, sampled at a farm next to a Cu open mine under exploitation**

Muestra	Profundidad cm	pH	CE	Cu	Pb	Zn	Cd
Relave				19.180	104,0	430	2,7
Mezcla relave/suelo				1.560	44,6	290	2,0
Suelo en sitio de máxima afección:	0-20 cm	5,1	0,5	1.425	73	210	<0,5
	20-40 cm	8,2	2,8	190	80	130	<0,5
Suelo en sitio de poca afección:	0-20 cm	8,8	2,2	71	71	97	<0,5
	20-40 cm	8,8	2,3	70	49	100	<0,5
Suelo en sitio de moderada afección:	0-20 cm	10,3	11,8	110	68	90	<0,5



El análisis del material contenido en los 20 cm superficiales de los suelos afectados, revela un aumento del contenido total de Cu, siendo proporcional a la carga de sedimentos recibidos. Los contenidos de otros elementos analizados, como Zn, Pb y Cd, no mostraron incrementos debidos a estas descargas de relaves.

Al igual que para la zona regada por el embalse Rungüe, esta contaminación también debe ser evaluada, con el fin de determinar sus impactos en plazos medianos a largos.

### CONCLUSIONES

- El contenido de elementos trazas en el horizonte  $A_p$  de los suelos del valle del río Mapocho es, en general, mayor que en el valle del río Maipo, siendo Cu el elemento que presenta la máxima diferencia entre ambos valles; el Zn y el Pb presentan diferencias menores.
- Se estima que la cupricidad de los suelos del Mapocho es de origen natural dominante, siendo derivada de la cupricidad del acuífero, en su parte alta.

- Esta cupricidad edáfica no es generalizada en todo el valle del Mapocho, sino que se encuentra circunscrita a un sector determinado, emplazado al oeste del valle.
- Se reafirma la hipótesis de una cupricidad natural de los suelos de este sector, al comprobar que la distribución del elemento en el perfil de suelos tiende a ser uniforme en profundidad.
- Es altamente probable la emergencia de efectos fitotóxicos de Cu en los suelos del sector cúprico, así como se estima como altamente improbable la emergencia de deficiencias cúpricas, aún en el largo plazo.
- Aunque se comprobó la incidencia de procesos contaminantes en ciertos sectores de la Región Metropolitana, desencadenados por actividades industriales y mineras (área regada por el Embalse Rungüe; sector vecino a mina activa de Cu; y área vecina a la zona industrial de Nos), no es posible determinar el verdadero alcance de dichos procesos.

### RESUMEN

A partir de octubre de 1986, INIA desarrolló una prospección para determinar los contenidos de Cu, Cd, Mn, Mo, Pb y Zn (totales y extraíbles con EDTA 0,05M pH 7) en el horizonte  $A_p$  de los suelos de los valles Maipo y Mapocho, en la Región Metropolitana. Además, se procedió a tipificar, en términos preliminares, algunos sectores específicos, afectados por procesos contaminantes industriales y mineros.

Probablemente, el origen sedimentario aluvial de los suelos, hace que reflejen la riqueza geoquímica propia de cada acuífero. Así, los suelos del Mapocho poseen mayores contenidos de elementos trazas, totales y extraíbles con EDTA, que los del Maipo.

El Cu es el elemento de mayor interés, ya que marca la mayor diferencia entre ambos valles. La cupricidad de los suelos del Mapocho se circunscribe a un sector al oeste del valle, donde existen dos yacimientos de este metal; por ellos, se estima que esta situación es de origen preferentemente natural.

Los contenidos de Cu extraíble con EDTA están condicionados por los contenidos totales; sin embargo, esta relación sólo se da cuando la fracción Cu-EDTA se expresa en términos absolutos y no relativos. Los contenidos máximos de Cu EDTA se asocian a valores definidos como fitotóxicos por investigadores extranjeros.

Las prospecciones llevadas a cabo en áreas sospechosas de estar contaminadas, permitieron comprobar que, efectivamente, el Embalse Rungüe estaba siendo contaminado con residuos de una industria refinadora de metales, que un sector vecino a la Laguna Carén lo era con relaves desde un centro extractor de Cu y que un área en Nos lo era con residuos diversos emitidos por las chimeneas industriales. Los impactos sobre la producción agrícola deben ser evaluados.

**Palabras claves:** cobre total, cobre-EDTA, suelo superficial, metal pesado, elemento traza, relave, residuo industrial líquido.

## LITERATURA CITADA

- APHA-AWWA-WPCF-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION and WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, EUA. 1984. Standard methods for waters and wastewaters. 15th ed. APHA-AWWA-WPCF, Washington D.C. 1.134 p.
- BECKETT, P.H.T. 1989. The use of extractants in studies on trace metals in soils, sewage sludges and sludge-treated soils. *Advances in Soil Science* 9: 143-176.
- BECKETT, P.H.T.; WARR, E. and DAVIS, R.D. 1983. Cu and Zn in soils treated with sewage sludge. Their "extractability" to reagents compared with their "availability" to plants. *Plant and Soil* 70(1): 3-14.
- DAVIES, B. 1984. Soil and plant analysis for heavy metals and the quality of our environment. *European Spectroscopy News* 54: 19-22.
- INN-INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, CHILE. 1978. Norma 1330: requisitos de calidad de agua para diferentes usos. INN, Santiago.
- INIA-INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, CHILE. 1986. Proyecto "Contaminación en el valle Aconcagua". Informe Final. INIA-FIA, Santiago, Chile. 125 p.
- INIA-INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, CHILE. 1990. Proyecto "Fuentes de Contaminación por residuos de pesticidas organoclorados y metales pesados en sectores agrícolas, Regiones IV a XI". Informe Final. INIA-FIA, Santiago, Chile. 362 p.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1990. Prospección de elementos trazas en recursos agrícolas de Chile. Aguas y suelos de los valles Elqui y Limarí, IV Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 50: 60-70.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1991a. Prospección de elementos trazas en recursos agrícolas de Chile. II: aguas superficiales de los valles Maipo y Mapocho, Región Metropolitana. *Agricultura Técnica (Chile)* 51: 22-29.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1991b. Upper critical level of copper for alfalfa in ten Chilean soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 57/58: 201-208.
- KABATA-PENDIAS, A. and PENDIAS, H. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton (Florida). 315 p.
- MILLER, W.P. and MCFEE, W.W. 1983. Distribution of cadmium, zinc, copper, and lead in soils of industrial Northwestern Indiana. *J. Environ. Qual.* 12(1): 29-33.
- 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.
- PARADAN., R. 1981. Molibdenosis industrial en bovinos. INIA-Intendencia Región Metropolitana. II Simposio de Contaminación Ambiental (y su incidencia en el sector agropecuario). Santiago, noviembre de 1981. p.: 37.
- VILLASECA, S. 1983. Acidez de aguas lluvias en la Región Metropolitana y V Región. INIA-SEREMI Agricultura Región Metropolitana - Intendencia Región Metropolitana. III Simposio sobre Contaminación Ambiental (orientado al recurso agua), Santiago. 5 al 7 de diciembre de 1983. Tomo I: 144-150.