

**PROSPECCION DE ELEMENTOS TRAZAS EN RECURSOS AGRICOLAS  
DE CHILE. AGUAS Y SUELOS DE LOS VALLES DE ELQUI Y LIMARI,  
IV REGION<sup>1</sup>**

**Survey of trace elements in agricultural resources of Chile. Waters and soils  
of the Elqui and Limari valleys, IV Region**

**Sergio González M.<sup>2</sup>**

**S U M M A R Y**

The quality of surface waters and soils of the Elqui and Limarí valleys (IV Region, Chile), with emphasis on trace elements, were surveyed, between November '87 and December '88. The study included the detection of active environmental degradation processes.

Waters of the Limarí basin as well as those of the Claro, in the Elqui system, showed low chemical charges, having good irrigation quality. The Turbio, the other component of the Elqui system, produced waters with higher contents of dissolved salts and metallic elements (Cu, Mn, Pb, Zn); this charge is properly diluted by the Claro river.

Total Mn and Cu contents in Elqui and Na<sup>o</sup>/o values in the lower Limarí, seldomly exceeded their respective maximum allowances, established by the official Chilean norms. Excesses in total Cu, were the most common.

Total trace element contents in the upper layer of soils were relatively high, but lower than expected by climatic conditions. They seem to be inherited from the Andes parent materials. EDTA-extractable fractions were closely related to total contents; water-soluble fractions were a extremely low part and not related with the total contents.

The main degradation problem is the extremely high amount of sediments in the surface waters, mainly during the snow-smelting season. In Elqui, part of them are retained by the soils, whereas in Limarí, they are deposited in the dams built to regulate this basin, shortening their useful lives.

No relevant evidences of antropic pollution were detected in both valleys; nevertheless, its occurrence cannot be discarded, as some potentially present pollutants, as As, B and cyanide, were not included in this survey.

**INTRODUCCION**

<sup>1</sup> Recepción de originales: 16 de mayo de 1989.  
Estudio perteneciente al Proyecto "Fuentes de contaminación en sectores agrícolas, Regiones IV a XI (1987-1989)" Patrocinio FIA (registro 1/86).

Trabajo analítico dirigido por la Sra. Regina Ite D., con la participación de la Srta. Ximena Gálvez L.

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

Los valles del Norte Chico, principalmente Elqui y Limarí (IV Región), constituyen sistemas que han sido transformados, en los últimos años, en monoprodutores de uva de mesa para exportación (Chile-INE, 1976). El gran potencial productivo de estos sistemas se basa en el aporte energético solar que, prácticamente, no tiene pausas en el año (Chile-CNR, 1979).

En lo ecológico, los valles son también importantes, al constituirse en barreras al avance del desierto de Atacama. Por esto, es imperioso evitar que pierdan parte de sus potencialidades.

Por su clima con pronunciada aridez (Chile—CNR, 1979), estos valles presentan un alto riesgo potencial de salinización de suelos; por ello, es importante determinar la calidad de sus aguas superficiales.

Antecedentes pre—existentes (González, 1986 y Sra. Rosa Sandoval L., Lab. Hidrología, Dirección General de Agua, MOP, comunicación personal) señalan una abundancia de sales solubles (Cu, Fe, As y cianuro), con elevados valores de C.E. (conductividad eléctrica, que se expresa en micromhos/cm, a 25° C) en el río Turbio, que forma el Elqui al unirse con el Claro, en Rivadavia. Esta gran carga sería diluida suficientemente en este punto, por lo que las aguas del Elqui no limitarían la agricultura.

La presencia de cianuros se asocia a un centro minero en la alta cordillera y significa una constante vigilancia del Ministerio de Salud. También es probable que la presencia de Cu y As sea, en gran medida, resultante de contaminación. Esta situación estaría restringida al río Turbio, exclusivamente.

Los objetivos del presente estudio fueron:

- caracterizar las aguas de las cuencas del Elqui y Limarí, en cuanto a los contenidos de sales y elementos metálicos, estimando sus variaciones longitudinales y estacionales;
- caracterizar los suelos de los valles del Elqui y Limarí, en cuanto a la salinidad y contenidos de elementos trazas, estimando sus distribuciones espaciales; y
- estudiar la influencia antrópica sobre la calidad natural de las aguas superficiales y suelos.

## MATERIALES Y METODOS

### Muestras de aguas y suelos

Se efectuó una recolección bimensual de muestras de aguas, entre noviembre 87 y marzo 88, desde diferentes sitios constituyentes de las cuencas (Figura 1).

Cada muestra correspondió a 2 lt del punto medio del cauce. Se usaron botellas plásticas, de 1 lt, boca ancha, tapa rosca, previamente lavadas con agua desmineralizada y enjuagadas tres veces con agua del río. Las mediciones de pH y C.E., fueron dentro de las 48 hr siguientes al muestreo.

Se muestreó el estrato superficial (0—20 cm) de los suelos; cada muestra correspondió a lo menos, a 5 submuestras de un cuadrado de 10 x 10 m, homogenizada, para guardar 1 kg. Un primer muestreo en noviembre 87, fue complementado en marzo 88, cubriendo todas las áreas regadas y parte de las potencialmente regables, como las terrazas medias y altas del Limarí (Figura 2).

### Procesamiento químico

El trabajo analítico se concentró en el Laboratorio Central de Contaminación y Alimentos INIA—La Platinilla (LACECONAL). Se siguieron los criterios de mayor aceptación internacional (USA—APHA y otros, 1980). Se determinó pH, C.E., sólidos (totales, suspendidos, disueltos), aniones y cationes mayores disueltos, y elementos trazas (totales y disueltos). La fracción disuelta de elementos trazas correspondió a la extraída acidificando la muestra con HC1 1N.

Por coincidir con la época de máximo deshielo, en las muestras de noviembre se determinó, además, el contenido de sólidos sedimentables, constituidos mayoritariamente, por partículas minerales del tamaño de las arenas (2mm—50 $\mu$ ).

Los suelos fueron secados al aire, molidos manualmente y tamizados bajo 2mm. Se determinó el pH en extracto acuoso (1:1) y la C.E. en el extracto de saturación; en cuanto a los elementos trazas, se determinó el contenido total, las fracciones extraíbles con EDTA 0,05M y en solución suelo, de acuerdo a Millar y McFee (1983) y González (1986a).

El contenido total se obtuvo tratando la muestra con HNO<sub>3</sub> conc.; en ebullición y reflujo, por 12 hr. La fracción EDTA se obtuvo agitando una suspensión EDTA: suelo 10/1 p/v, por 30', centrifugando para separar las fases y repitiendo el ciclo dos veces más. La fracción acuosa, se obtuvo de idéntica forma que la anterior, usando agua en vez de EDTA.

Las determinaciones Cd, Cu, Mn, Mo, Pb y Zn se efectuaron por absorción atómica, con atomización de llama, usando un equipo Pye—Unicam 2900 y otro Perking Elmer 403.

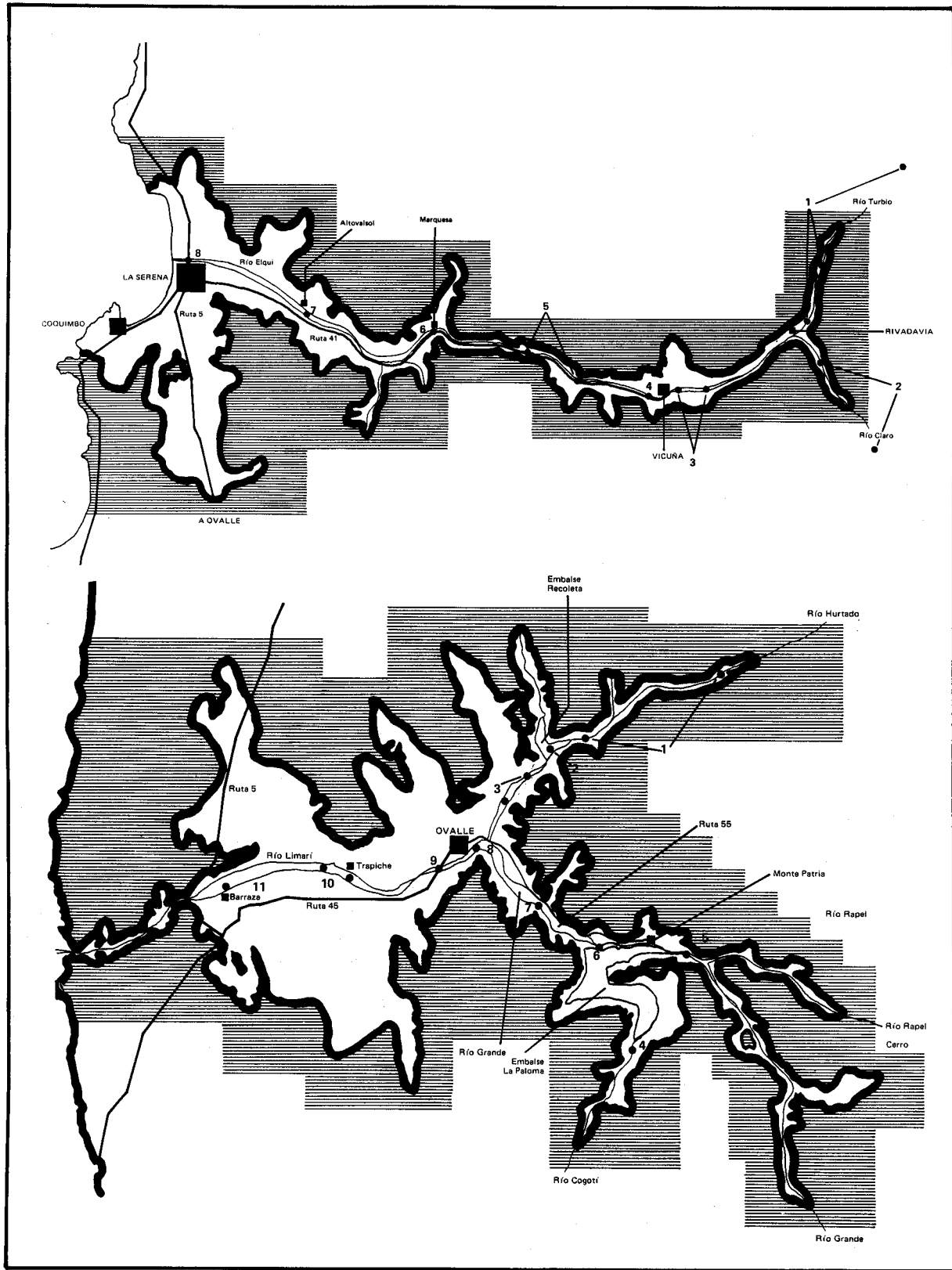


FIGURA 1. Croquis de los ríos Elqui y Limarí, mostrando la ubicación de los sitios de captación de muestras de aguas.  
 FIGURE 1. Sketch of the Elqui and Limarí rivers, showing the water sampling sites.

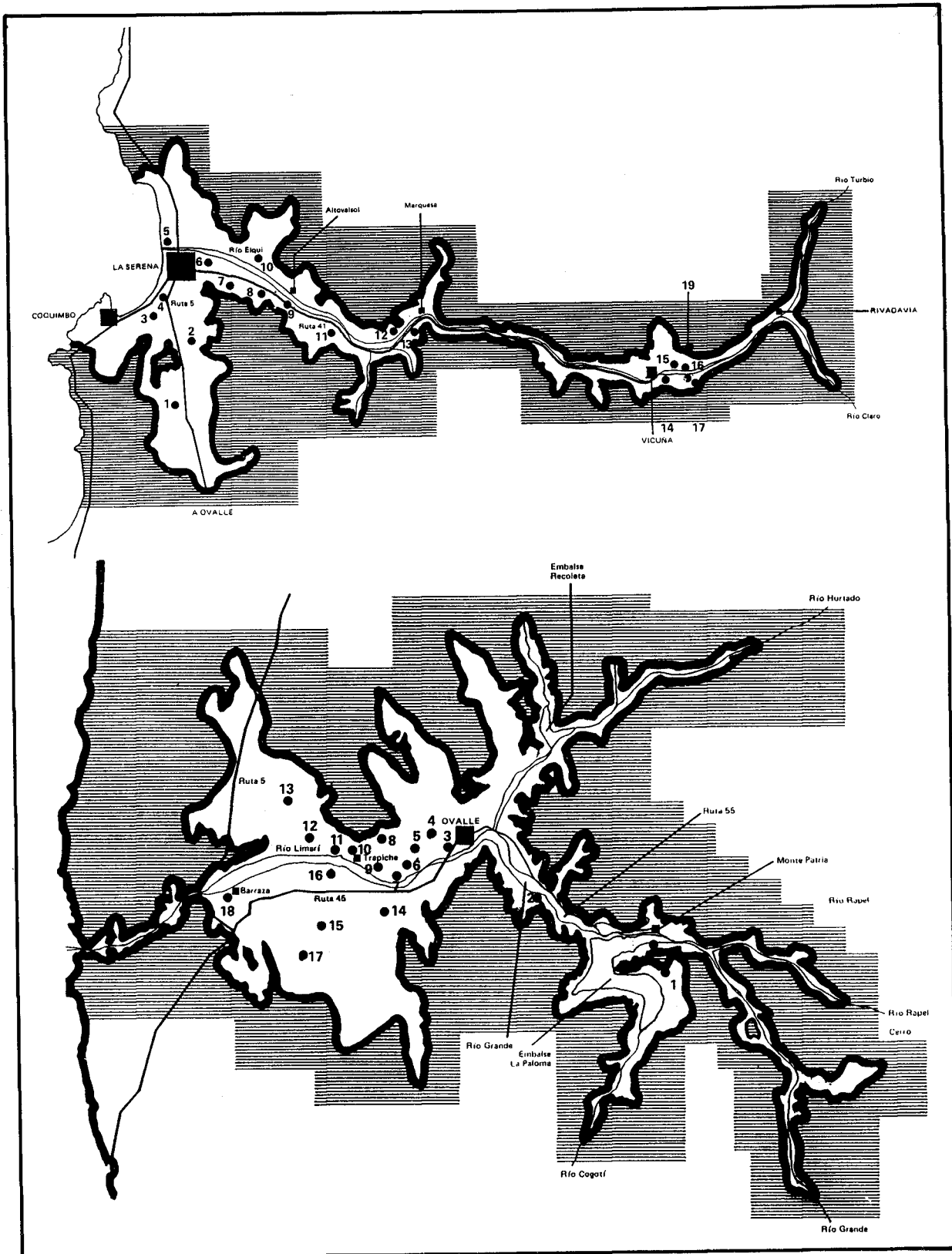


FIGURA 2. Croquis de los valles Elqui y Limarí, indicando la ubicación de los sitios de toma de muestras de suelos.  
 FIGURE 2. Sketch of the Elqui and Limarí valleys, showing the soil sampling sites.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Aguas

Los resultados de caracterización salina se presentan en el Cuadro 1, como promedios por sitio muestral. El pH fue ligeramente alcalino en ambos sistemas fluviales, mostrando un leve aumento en el tramo inferior del Limarí; todos los valores se mantuvieron en el rango de tolerancia (5,5–9,0), definido por NCH–1333 (Chile–INN, 1978). Aunque no hubo tendencias estacionales netas, los valores del último muestreo fueron ligeramente superiores que los del primero, reflejo del menor caudal de fines de verano.

La C.E. presentó valores relativamente bajos en ambas cuencas, menores en el Limarí. Se detectó un sólo caso de C.E. > 750 mmhos/cm, umbral que usa la NCH–1333 para separar aguas sin limitantes para riego de las con efectos sobre cultivos sensibles; ello ocurrió en el río Limarí, frente a Barraza, en el primer muestreo. No se encontró tendencias entre épocas; longitudinalmente, la C.E. aumentó hacia los tramos inferiores de los ríos.

Los sulfatos fueron más abundantes en el Elqui que en el Limarí, debido a los aportes del Turbio; la abundancia de este anión en el Turbio obedecería en parte a causas antrópicas, al recibir evacuaciones desde centros mineros. No obstante, su concentración no excedió 250 mg/lit, límite máximo permitido (LMP) por la NCH–1333. El máximo valor medido en la cuenca Elqui fue 178 mg (río Turbio, en Rivadavia) y en la cuenca Limarí, 77 mg (río Limarí, en Tabalí), ambos en el primer muestreo.

Los cloruros se mantuvieron claramente bajo el LMP (200 mg/lit). Hubo una tendencia a aumentar hacia los tramos inferiores, siendo más notorio en el Limarí, por la recepción de las aguas servidas de su principal centro urbano, Ovalle.

La mayor riqueza química del río Turbio se evidenció, también por los mayores contenidos de Ca, Mg, Na y K, del Elqui, especialmente en los primeros tramos, comparados con el Limarí, aunque todos fueron relativamente bajos.

La suma de cationes tendió a ser constante en el Elqui, mientras que se incrementó en el tramo bajo del Limarí, a partir de Trapiche. Sin embargo, la proporción de Na aumentó hacia los tramos inferiores de los cursos, con valores RAS (relación de adsorción de sodio) y Na<sup>o</sup>/o (sodio porcentual) crecientes.

La NCH–1333 norma sólo sobre el Na<sup>o</sup>/o, fijando un LMP de 35<sup>o</sup>/o para aguas de riego. En el Elqui, los valores máximos fluctuaron de 25 a 30<sup>o</sup>/o, detectados

en el último muestreo, en tanto que hubo un caso de exceso en el Limarí (cerca de 40<sup>o</sup>/o). Esta norma está siendo revisada por el INN, incorporándose la RAS.

Los antecedentes entregados, señalarían un riesgo ligero a moderado de salinización, a plazo mediano, de los suelos regados con aguas extraídas de los tramos inferiores del Limarí.

El Cuadro 1 también presenta los promedios/sitio de elementos trazas en aguas. Los contenidos de Cd y Mo se mantuvieron permanentemente bajo los límites mínimos de detección (lmd) de la técnica empleada (0,1 y 0,006 mg/lit, respectivamente), por lo que no se incluyen en los cuadros.

El Cu fue más abundante en el Elqui que en el Limarí, con contenidos totales cercanos a su LMP (0,2 mg/lit) para aguas de riego. La fracción disuelta fue escasa, con una gran cantidad de muestras con contenidos < lmd (0,02 mg/lit). Se determinó una relación Cu disuelto/total aproximada de 1/10, valor que repite el encontrado para el río Aconcagua, V Región (González, 1984). Estos contenidos se deben, mayoritariamente, al Turbio (cuadros 1 y 2); se detectó un leve enriquecimiento de Cu en el tramo inferior del Elqui, lo que podría generarse por derrames de aguas de riego. El Cuadro 2 indica que no hubo conducta estacional definida.

Todos los contenidos metálicos fueron notoriamente inferiores en las aguas de la cuenca Limarí y subcuenca Claro, estando la mayoría de los datos bajo de los respectivos lmd (0,01 para Mn y 0,02 mg/lit, para Pb y Zn).

Los contenidos totales de Zn en ambas cuencas se mantuvieron bajo su LMP (2,0 mg/lit); a diferencia del Cu, la fracción disuelta de Zn correspondió al 20<sup>o</sup>/o del total, aproximadamente. Esta proporcionalidad proviene de las muestras del Elqui, las que por tener mayor contenidos de Zn, permiten una mejor precisión analítica.

Los máximos excesos metálicos ocurrieron con los contenidos totales de Mn en Elqui, superándose el LMP (0,2 mg/lit) hasta un 400<sup>o</sup>/o, en el sitio 7. Su fracción disuelta es escasa, encontrándose la mayoría de los casos bajo el respectivo lmd (Cuadro 1).

CUADRO 1. Caracterización química (promedios 3 muestreos) de las aguas del Elqui y del Limarí (IV Región, Chile)  
 TABLE 1. Chemical characterization (average 3 samplings) of the Elqui and the Limarí waters (IV Region, Chile)

Sitio (Nº, Río)	pH	CE	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma de cationes	RAS	Na <sup>0</sup> /o	Cobre		Cinc		Manganeso		Plomo					
													dis.	(d/t)	total	dis.	(d/t)	total	dis.	(d/t)	total	dis.	(d/t)	
Cuenca del río Elqui:																								
(1) Río Turbio	7,50	416	129	7,3	1,13	2,34	0,66	0,82	0,07	3,89	0,67	21,08												
(2) Río Claro	7,40	129	22	2,1	0,68	0,73	0,22	0,18	0,03	1,16	0,26	15,52												
(3) Río Elqui	7,60	347	97	4,1	1,00	2,10	0,60	0,60	0,04	3,34	0,52	17,96												
(4) Río Elqui	7,80	365	105	6,2	1,15	2,05	0,60	0,60	0,05	3,30	0,52	18,18												
(5) Río Elqui	7,55	345	89	6,0	1,20	1,98	0,60	0,57	0,06	3,21	0,50	17,76												
(6) Río Elqui	7,75	389	106	6,0	1,30	2,15	0,60	0,60	0,06	3,41	0,51	17,60												
(7) Río Elqui	7,70	367	86	6,6	1,37	1,87	0,60	0,77	0,06	3,30	0,69	23,33												
(8) Río Elqui	7,60	404	91	11,8	1,67	2,17	0,63	0,83	0,06	3,69	0,70	22,49												
Cuenca del río Limarí:																								
(1) Río Hurtado	7,40	168	23	3,3	1,05	1,05	0,22	0,20	0,04	1,51	0,25	13,25												
(2) Emb. Recoleta	7,80	269	46	6,6	1,20	1,40	0,45	0,55	0,04	2,44	0,57	22,54												
(3) Río Hurtado	7,95	269	49	5,6	1,63	1,70	0,50	0,65	0,05	2,90	0,62	22,41												
(4) Río Cogotí	8,00	184	21	5,0	1,30	1,05	0,45	0,45	0,03	1,98	0,52	22,73												
(5) Río Rapel	7,90	225	19	2,7	1,67	1,57	0,30	0,30	0,03	2,20	0,31	13,64												
(6) Emb. La Paloma	8,10	202	18	3,5	1,47	1,10	0,30	0,85	0,04	2,29	1,02	37,12												
(7) Río Grande	7,90	226	26	4,1	1,70	1,20	0,37	0,47	0,05	2,09	0,53	22,49												
(8) Río Limarí	7,95	302	37	7,5	1,90	1,60	0,45	0,70	0,04	2,79	0,69	25,09												
(9) Río Limarí	8,98	333	51	11,8	1,65	1,45	0,50	1,30	0,04	3,29	1,32	39,51												
(10) Río Limarí	8,30	466	55	38,0	2,13	1,83	0,80	1,07	0,96	4,66	0,93	22,96												
(11) Río Limarí	8,50	367	55	28,0	1,85	1,65	0,70	1,10	0,68	4,13	1,01	26,63												
Cuenca del río Elqui:																								
(1) Río Turbio	0,15	0,02	0,13	0,08	0,09	1,13	0,48	0,05	0,10	0,04	<0,02	<0,50												
(2) Río Claro	0,02	<0,02	0,00	0,02	0,02	1,00	0,02	<0,01	<0,50	<0,02	<0,02	<0,02												
(3) Río Elqui	0,15	0,03	0,20	0,11	0,03	0,27	0,43	0,04	0,09	0,03	<0,02	<0,66												
(4) Río Elqui	0,15	0,02	0,13	0,11	0,03	0,27	0,41	<0,01	<0,03	0,02	<0,02	<1,00												
(5) Río Elqui	0,13	0,02	0,15	0,12	0,02	0,17	0,58	<0,01	<0,03	0,03	<0,02	<0,66												
(6) Río Elqui	0,21	0,02	0,10	0,16	0,03	0,19	0,63	0,01	0,02	0,03	<0,02	<0,66												
(7) Río Elqui	0,19	0,02	0,11	0,14	0,03	0,21	0,98	0,03	0,03	0,05	<0,02	<0,40												
(8) Río Elqui	0,21	<0,02	0,00	0,18	0,03	0,17	0,69	<0,01	<0,01	0,05	<0,02	<0,40												
Cuenca del río Limarí:																								
(1) Río Hurtado	0,02	0,02	1,00	0,03	0,03	1,00	0,09	<0,01	<0,11	<0,03	<0,02	<0,02												
(2) Emb. Recoleta	<0,02	<0,02	0,00	0,03	0,02	0,67	<0,01	<0,01	<0,16	<0,03	<0,02	<0,02												
(3) Río Hurtado	<0,02	<0,02	0,20	<0,02	0,02	>	0,06	<0,01	<0,16	<0,03	<0,02	<0,02												
(4) Río Cogotí	<0,02	<0,02	0,13	0,02	0,03	1,50	<0,01	<0,01	<0,03	<0,03	<0,02	<1,00												
(5) Río Rapel	0,02	<0,02	<1,00	0,04	0,03	0,75	0,14	0,02	0,14	<0,03	<0,02	<0,66												
(6) Emb. La Paloma	<0,02	<0,02	0,00	0,04	0,02	0,75	0,01	<0,01	<1,00	<0,03	<0,02	<0,66												
(7) Río Grande	<0,02	<0,02	0,00	0,05	0,02	0,40	<0,01	<0,01	<1,00	<0,03	<0,02	<0,66												
(8) Río Limarí	<0,02	<0,02	0,00	0,02	0,03	1,50	0,01	<0,01	<1,00	<0,03	<0,02	<0,66												
(9) Río Limarí	<0,02	<0,02	0,00	0,05	0,04	0,80	0,01	<0,01	<1,00	<0,03	<0,02	<0,66												
(10) Río Limarí	<0,02	<0,02	0,00	0,12	0,10	0,83	0,01	<0,01	<1,00	<0,03	<0,02	<0,66												
(11) Río Limarí	<0,02	<0,02	0,00	0,03	0,03	1,00	0,01	<0,01	<1,00	<0,03	<0,02	<0,66												

dis.: disuelto

**CUADRO 2. Contenido de cobre (mg/lit) en aguas de los sistemas Elqui y Limarí. Detalle por época de muestreo**

**TABLE 2. Copper content (mg/lit) of waters belonging to Elqui and Limarí basins. Data detailed by sampling season**

Sitio (Nº, lugar)	Total			Disuelto		
	1 <sup>1</sup>	2	3	1	2	3
Cuenca del río Elqui:						
( 1) Río Turbio	0,09	0,15	0,22	<0,03	<0,03	0,02
( 2) Río Claro	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	<0,02
( 5) Río Elqui	0,24	0,08	0,06	<0,03	<0,03	0,02
( 7) Río Elqui	0,38	0,16	0,05	0,03	<0,03	0,02
( 8) Río Elqui	0,41	0,19	0,02	0,03	<0,03	<0,02
Cuenca del río Limarí:						
( 3) Río Hurtado	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	<0,02
( 4) Río Cogotí	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	<0,02
( 5) Río Rapel	0,05	<0,03	<0,02	0,04	<0,03	<0,02
( 6) Emb. La Paloma	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	<0,02
( 7) Río Grande	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	<0,02
(10) Río Limarí	0,03	<0,03	<0,02	0,03	<0,03	<0,02

<sup>1</sup> Fechas de muestreo: 1 = 23.11.87; 2 = 15.01.88; 3 = 28.03.88.

Al parecer, existe una relación entre la presencia de metales y de sedimentos en las aguas. Puede verse que los máximos contenidos totales de Mn y Cu se presentaron cuando los sedimentos fueron máximos. El mayor problema ambiental es la presencia de estos sedimentos, alcanzando valores extremadamente altos (3 g/lit, en el río Elqui), en el último trimestre de 1987 (Cuadro 3).

Dichos sedimentos, de naturaleza mineral y del tamaño de las arenas, proceden de la erosión de las zonas altas, debido a su deforestación masiva. En el caso del Elqui, gran parte de esos materiales están siendo incorporados a los suelos; aunque no se ha medido, este proceso debe traducirse en una pérdida progresiva de sus capacidades de retención de agua y nutrientes y del porcentaje de saturación.

El proceso erosivo es aparentemente inexistente en el Limarí, por el efecto regulador de las grandes represas de la cuenca, como Recoleta, La Paloma y Cogotí. Aquí, el problema se traduce en una colmatación acelerada de los embalses, reduciendo sus capacidades de almacenamiento.

#### Suelos

El pH (no mostrado) presentó valores similares en ambos valles, con escasa dispersión, en un rango ligeramente alcalino. En Elqui, el rango fluctuó de 7,6 a 8,7, en tanto que en Limarí, fue de 7,0 a 8,7.

La C.E. (Figura 3) se mantuvo, generalmente, bajo el umbral de 4 mmhos/cm, usado internacionalmente para separar los suelos salinos de los no salinos, excediendo este límite sólo un escaso número de casos.

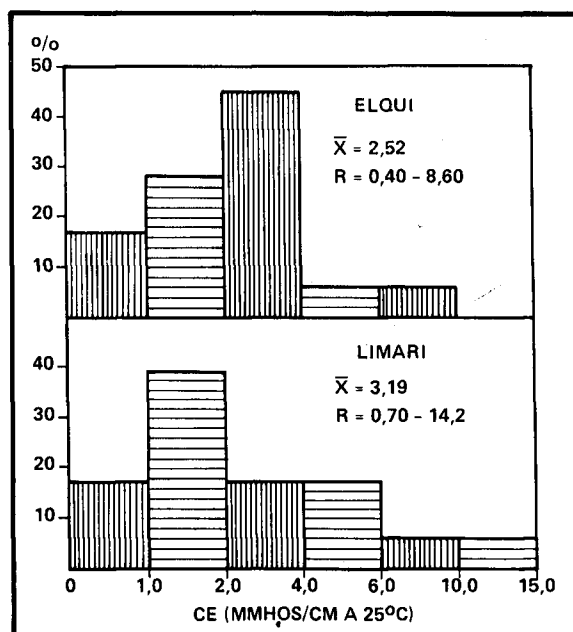


FIGURA 3. Frecuencia de distribución de valores de CE del estrato superficial (0-20 cm) de suelos de los valles Elqui y Limarí.

FIGURE 3. Distribution frequency of EC values, belonging to the upper layer of the soils of the Elqui and Limarí valleys.

**CUADRO 3. Contenidos de sólidos (mg/lt) en aguas provenientes del muestreo del 23.11.87****TABLE 3. Solid contents (mg/lt) in waters collected at the first sampling date (23.11.87)**

Sitio (Nº, Río)	Sedimentables	Totales	Suspendidos	Disueltos
Cuenca del río Elqui:				
( 1) Río Turbio		460	74	386
( 2) Río Claro	99	236	88	148
( 3) Río Elqui	2748	732	215	517
( 4) Río Elqui	3133	860	237	623
( 5) Río Elqui	2524	783	208	575
( 6) Río Elqui	2540	916	242	674
( 7) Río Elqui	2422	827	220	607
( 8) Río Elqui	2640	779	242	537
Cuenca del río Limarí:				
( 1) Río Hurtado	252	287	105	182
( 2) Emb. Recoleta	93	34	8	26
( 3) Río Hurtado	72	122	12	110
( 4) Río Cogotí	47	126	21	105
( 5) Río Rapel	551	18	6	12
( 6) Emb. La Paloma	33	130	25	105
( 7) Río Grande	13	166	31	135
( 8) Río Limarí	17	196	16	180
( 9) Río Limarí	2	183	25	158
(10) Río Limarí	13	425	6	419
(11) Río Limarí	13	235	16	219

No se encontró relación entre C.E. y posición topográfica o tipo de suelos. En Elqui, el valor máximo fue el del sitio 3 (Figura 2), correspondiente a la Serie Veguita (Chile—CNR, 1979), pero ello no fue general para todas las vegas de La Serena. En el Limarí, la C.E. no estuvo relacionada con los niveles de terrazas (bajas, medias o altas).

La Figura 4 presenta los contenidos totales de elementos trazas, expresados en mg/kg ss (miligramos de un elemento por kilogramo de suelo seco a 105°C), como histogramas de frecuencias relativas. Con la excepción del Mn, los suelos de Elqui presentaron una mayor riqueza metálica que los del Limarí; para el Zn, la diferencia fue de 113,5% y para el cobre, 33,8%. Los rangos de variación fueron consistentemente menores en el valle Limarí, generando consecuentemente, valores modales significativamente mayores que en el valle Elqui.

En los estratos superficiales, la dotación de elementos trazas es mayor que la encontrada en otros países, incluso para áreas que sufren contaminaciones industriales (Millar y McFee, 1983; Novoa, 1980).

Esta riqueza de elementos trazas, incluyendo metales pesados, parece ser común en las zonas semiáridas de Chile, ya detectada en el valle Aconcagua (González, 1986a). Los suelos estudiados fueron formados por depósitos aluviales de materiales transportados desde la Cordillera de Los Andes, formación que concentra una gran riqueza mineral, sobre todo de Cu, entre las regiones II y VI; por condiciones climáticas, se preservaría esta carga mineral de los materiales parentales.

Normalmente, el contenido total de un elemento no da la mejor estimación de la cantidad a disposición de los vegetales. Para elementos menores, ésta es mejor estimada por la fracción extraíble con EDTA o DTPA (O'Connors, 1988; Hue, Silva y Arifin, 1988; Adams y Kissel, 1989; Beckett, Warr y Davis, 1983).

En general, los contenidos de Cu, Mn y Zn extraídos con EDTA fueron relativamente altos, suficientes en todo caso para una adecuada nutrición mineral de los vegetales. Sin embargo, a pesar de tener un clima más árido, los contenidos fueron notoriamente menores que en los suelos de Aconcagua (González, 1986a).



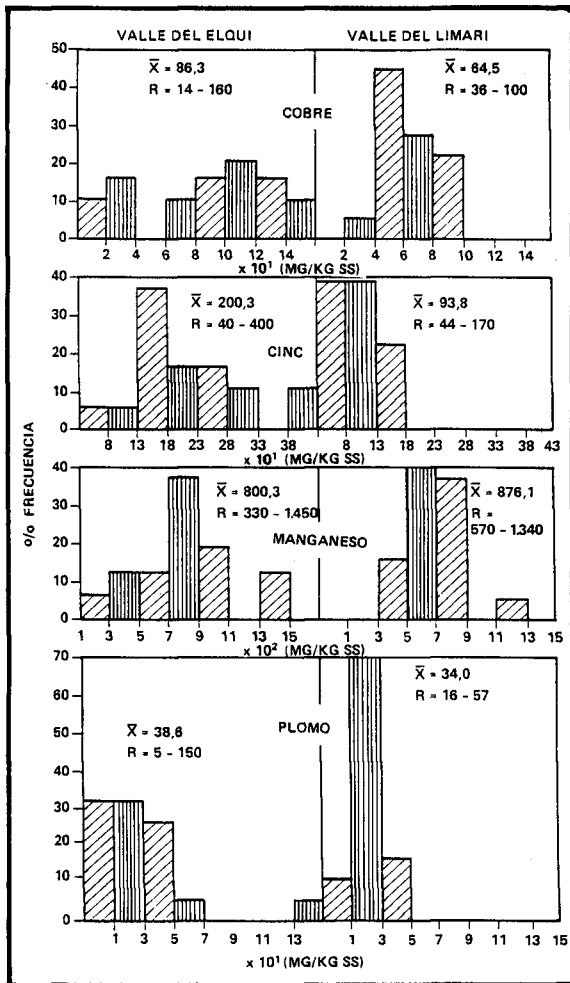


FIGURA 4. Histogramas con la frecuencia porcentual de contenidos totales de Cu, Zn, Mn y Pb en el estrato superficial de suelos.

FIGURE 4. Histograms showing the frequency distribution (%/o) of total content of Cu, Zn, Mn and Pb of the upper layer of soils.

La Figura 5 muestra que la cantidad de Cu extraíble con EDTA es función de su contenido total, lo que también ocurre con el Zn, Pb y Mn (no incluidos). Así, si el contenido total de Cu es mayor, la fracción extraíble con EDTA también se incrementa en una relación cuadrática. No obstante, si la fracción EDTA se expresa en porcentaje del total, la asociación se empobrece estadísticamente ( $R^2 = 0,37$  versus  $0,79$ ) y tiende a indicar que si el contenido total baja, la proporción extraíble con EDTA aumenta, hasta significar el 80% del total cuando éste es de 30 mg/kg; en promedio, la fracción EDTA de Mn y Pb fue 30% y de Zn < 10%.

La fracción Cu—disuelta en agua (solución suelo) es una proporción pequeña del total (0,03% en Elqui y 0,07% en Limarí). Además, no se relaciona al contenido total ( $R^2 = 0,04$ ) ni a la fracción EDTA ( $R^2 = 0,18$ ). Con algunas diferencias en relación a sus pesos relativos, esto también es válido para Zn (< 0,02%), Mn y Pb (< 0,01%).

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que:

- las aguas de la cuenca del Limarí (ríos Hurtado, Rapel, Cogotí y Limarí) y de la subcuenca del Claro, presentaron bajos contenidos de sales disueltas y elementos metálicos;
- las aguas del Elqui presentaron mayores contenidos de sales y elementos metálicos que las ya mencionadas, producto de los aportes de la subcuenca del Turbio;
- la gran carga química de éste, no se refleja plenamente en el Elqui, por el efecto de dilución causado por las aguas del Claro. Sus valores tienden a mantenerse dentro de los rangos de tolerancia, definidos por la NCH—1333, para aguas de riego;
- sólo ocasionalmente, los contenidos totales de Cu y Mn en el Elqui, excedieron sus respectivos LMP;
- los suelos de Elqui poseen una mayor riqueza química, especialmente de elementos menores, que los de Limarí, pero a su vez, menores que los de Aconcagua;
- dicha riqueza mineral proviene de la Cordillera de Los Andes; casi todos los suelos estudiados se han formado a partir de materiales cordilleranos transportados aluvialmente y depositados en las zonas bajas;
- no se detectó una alteración importante de la calidad de los suelos y aguas por contaminación, aunque no puede descartarse la concurrencia de este proceso, por cuanto el estudio no incluyó todos los posibles contaminantes; y
- el mayor problema ambiental es el de erosión hídrica de las zonas altas de las cuencas, que se traduce en un activo proceso de sedimentación, que debe repercutir en la calidad de los suelos del valle Elqui y en la vida útil de las represas construidas en la cuenca del Limarí.

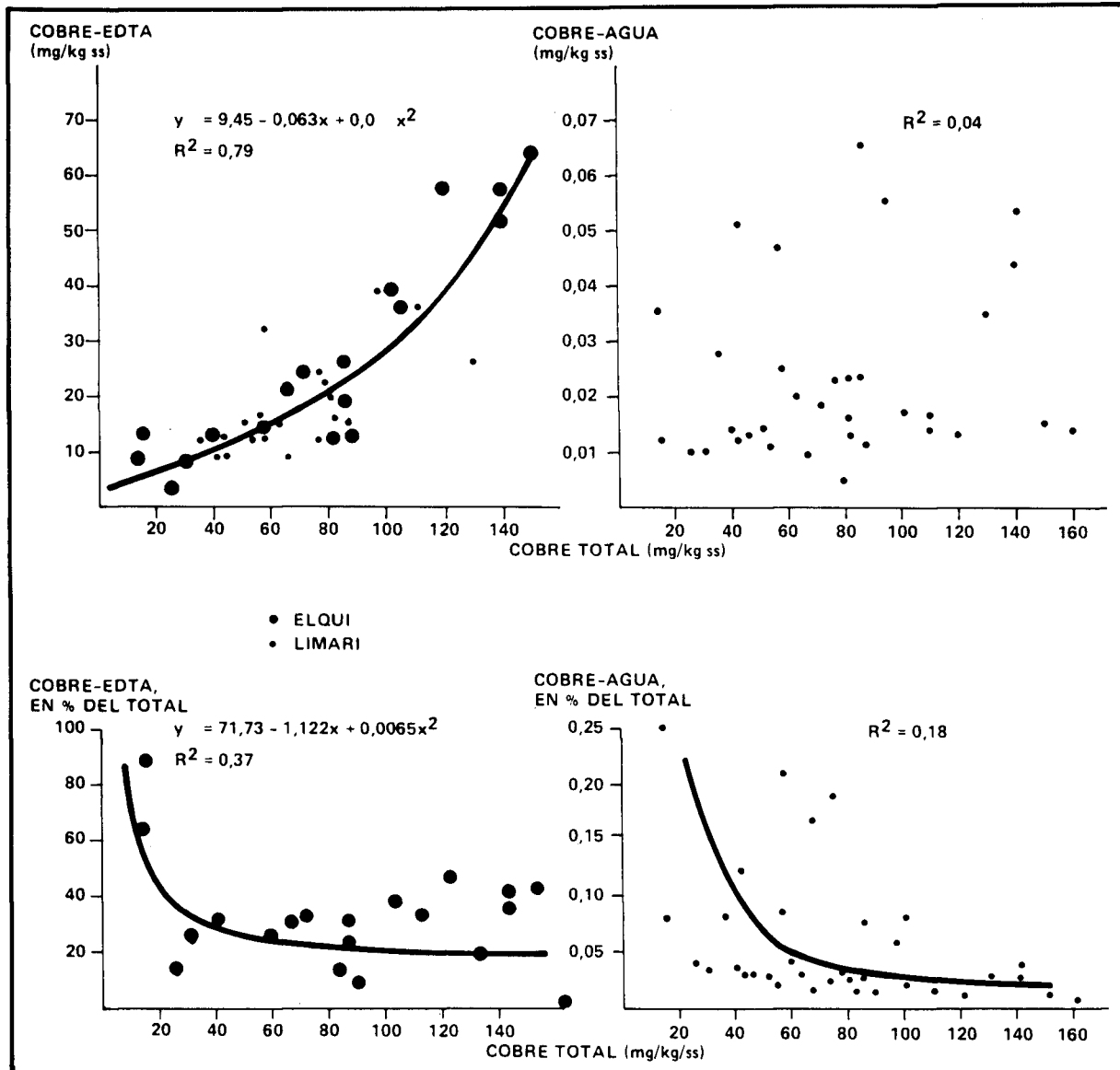


FIGURA 5. Relaciones del contenido total de cobre con las fracciones extraíbles con EDTA y solubles en agua, en la capa superficial de los suelos.

FIGURE 5. Relations between Cu total content with EDTA and H<sub>2</sub>O soluble fractions, in the upper layer of the soils.

## RESUMEN

Se prospectó la calidad de las aguas superficiales y suelos de los valles Elqui y Limarí, IV Región, con énfasis en elementos trazas, entre noviembre 87 y diciembre 88. Se intentó detectar posibles procesos antrópicos de degradación ambiental.

Las aguas de la Cuenca del Limarí y de la Subcuenca del Claro tuvieron bajas cargas químicas, reflejando una buena aptitud para riego. Las aguas de la Sub-

cuenca del Turbio aportaron mayores contenidos de sales y elementos metálicos, los que son adecuadamente diluidos por el río Claro, al formar el Elqui.

Sólo los contenidos totales de Cu y Mn del Elqui y el Na<sup>0</sup>/o en los tramos inferiores del Limarí, excedieron ocasionalmente sus respectivos LMP, fijados por la NCH-1333; el Cu total se excedió el mayor número de veces.

El estrato superficial de los suelos del valle Elqui, posee una mayor riqueza química, especialmente elementos trazas, y un mayor rango de valores que los del Limarí. Ello se debe a causas naturales, siendo una herencia de los materiales generadores. Existe una relación entre este contenido en los suelos de los valles de las regiones IV y V y la riqueza mineral de la Cordillera de Los Andes, zona de procedencia de los materiales que los rellenaron.

Las fracciones de elementos trazas extraíbles con EDTA se relacionaron estrechamente con sus conte-

nidos totales; la disuelta en agua, fue una proporción mínima del total y no se relacionó con el contenido total.

El mayor problema de degradación de los valles estudiados es el abundante arrastre fluvial de sedimentos, desde cerros y montañas, resultante de la deforestación masiva de las cuencas. Estos sedimentos son incorporados a los suelos del Elqui, en tanto que son retenidos por los embalses del Limarí, acortando drásticamente sus vidas útiles.

#### LITERATURA CITADA

- 
- ADAMS, J. F. and KISSEL, D. E. 1989. Zinc, copper and nickel availabilities as determined by soil solution and DTPA extraction of sludge amended soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20 (1-2): 139-158.
- BECKETT, P.M.T.; WARR, E., and DAVIS, R.S. 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.
- CHILE-CNR, Comisión Nacional de Riego. 1979. Estudio agrológico del Valle del Elqui. CNR, Santiago, 3 tomos y mapas.
- CHILE-INE, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 1976. Tabulaciones manuales V Censo Nacional Agropecuario. Provincias de Atacama a Magallanes. INE, Santiago. 39 p.
- CHILE-INN, Instituto Nacional de Normalización. 1978. Norma Oficial Chilena 1333: requisitos de agua para diferentes usos. INN, Santiago.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1984. Caracterización química del río Aconcagua. *Agricultura Técnica (Chile)* 44(3): 229-236.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1986a. Contenido natural de metales pesados extraíbles con EDTA en suelos del valle Aconcagua. *Agricultura Técnica (Chile)* 46 (3): 323-327.
- GONZALEZ M., SERGIO. 1986b. Calidad de las aguas de riego en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 46 (4): 467-474.
- HUE, N. V., SILVA, J. A., and ARIFIN, R. 1988. Sewage sludge-soil interactions as measured by plant and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.* 17 (3): 384-390.
- O'CONNORS, G.A. 1988. Use and misuse of the DTPA soil test. *J. Environ. Qual.* 17 (4): 715-718.
- MILLAR, 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.
- NOVOA S-A., RAFAEL. 1980. Contaminación de aguas y vegetales por metales pesados. En: Chile-INIA. Simposio de contaminación del medio ambiente (y su incidencia en el sector agropecuario). E.E. La Platina-Intendencia R.M., Santiago. Anales: 56-72.
- USA-APHA, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 1980. Standard methods for the examination of waters and wastewaters. APHA-AWWA-WPCF, Washington D.C. (15th ed.).