

*Capítulo 11*

*Estado de la Contaminación de los Suelos en Chile*

*Sergio González M.*

*Estación Experimental La Platina,  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias*

## CAPITULO 11. ESTADO DE LA CONTAMINACION DE LOS SUELOS EN CHILE

Autor: Sergio González M., Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias

### 1. Introducción

Uno de los conflictos ambientales más importantes se genera en torno al recurso suelo, por presentar la dicotomía de constituir uno de los pilares básicos en que se sustenta el equilibrio biótico natural y ser, al mismo tiempo, uno de los factores de producción más importantes de actividades humanas, los cuales poseen un alto potencial modificador de los recursos y sistemas ambientales, como son la agricultura, la ganadería y la silvicultura. Los suelos poseen un umbral específico de estabilidad, es decir, una capacidad para asimilar las intervenciones humanas sin entrar en procesos de deterioro, la que varía en función del tipo de suelo y de su entorno. Por lo tanto, una misma acción puede inducir efectos de diferente magnitud en función inversa de sus umbrales de estabilidad. Al hablar de acción humana, no sólo se alude al manejo silvoagropecuario de los suelos sino que también a acciones en escenarios ajenos, como sería la contaminación por residuos industriales, mineros o urbanos. Debido a la intercomunicación entre los recursos que constituyen una unidad ambiental, los efectos de la acción humana desencadenante pueden ser propagados, hasta repercutir en toda una unidad.

Una de las actividades con mayor riesgo ambiental es la minería metálica, representada en Chile por el cobre, debido a su poder modificador del paisaje y a sus descargas de residuos tóxicos. Siendo un país de gran riqueza minera, Chile tiene que enfrentar el riesgo permanente de sufrir una profunda alteración ambiental, lo que presiona el establecimiento de una estricta política ambiental preventiva. Por otra parte, la agricultura chilena ha sufrido una verdadera revolución tecnológica desde fines de los setenta, basado en un uso masivo de agroquímicos. Dado el potencial tóxico de los plaguicidas la sociedad se muestra sensible al tema de la eliminación de residuos de estos componentes, por lo que se hace aconsejable preocuparse de su residualidad en recursos ambientales, específicamente en suelos y aguas subterráneas, y por sobre todo su perdurabilidad en los alimentos.

### 2. Aspectos Conceptuales de la Contaminación Ambiental

#### 2.1. Características Definitorias

La contaminación puede ser considerada como un proceso de incorporación de información nueva o adicional a una unidad ambiental, a través de un punto de ingreso llamado recurso receptor primario. Esta información puede transmitirse a los restantes comportamientos ambientales, modificando el estado de equilibrio dinámico de la unidad total, desde  $E_0$  a  $E_1$ . El nuevo estado de equilibrio  $E_1$  será inestable, preservándose sólo si persiste la acción que genera el cambio. Por información debe entenderse el ingreso de residuos de actividades antrópicas; nueva si son sustancias no existentes en el ambiente receptor, pudiendo ser de síntesis artificial o naturales, o adicional si son preexistentes.

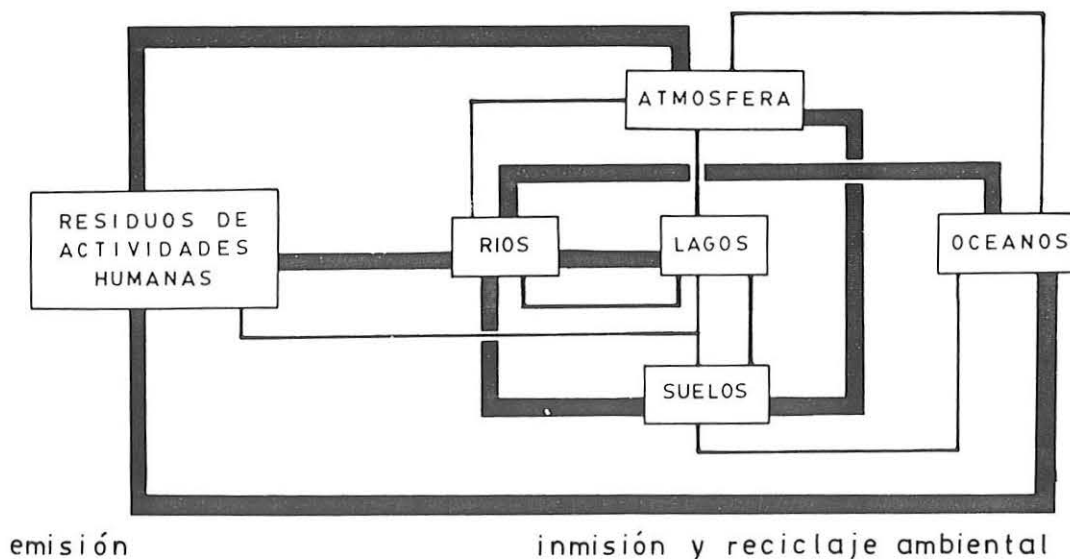
La contaminación puede clasificarse desde muchos ángulos. Uno es según la actividad humana generadora. Así, se habla de contaminación minera, industrial, urbana, agrícola o doméstica. También se clasifica según el residuo vertido, empleándose términos tales como contaminación con metales pesados, residuos de plaguicidas o radiactividad, entre otros. Lo más frecuente es clasificarla según el recurso receptor primario, hablándose así de contaminación atmosférica, hídrica, marina o de los suelos.

Los contaminantes pueden estar representados tanto por sustancias materiales como también por formas de energía residual. Tampoco lo son sólo por sustancias de síntesis artificial, ya que esto dejaría afuera muchos residuos mineros, como el cobre o el anhídrido sulfuroso. Procesos naturales como el vulcanismo, no obstante la similitud con lo expulsado por chimeneas industriales, no entran en el ámbito de la contaminación ambiental. Esta distinción permite separar los procesos no controlables de aquellos susceptibles de serlo.

## 2.2. Reciclaje Ambiental de Contaminantes: dispersión-acumulación

La Figura 11.1 esquematiza la dinámica ambiental que puede asumir un contaminante en una unidad ambiental, una vez ingresado por un recurso primario. La extensión del ciclo ambiental queda supeditada al balance de dos variables, usualmente contrapuestas: la dispersión de los contaminantes en los medios receptores (atmósfera y ríos), y su acumulación en recursos de acopio (suelos, lagos, mares). A medida que se aleja del punto de vertido, la dinámica asumida por el contaminante es progresivamente asimilada a la dinámica del ambiente, dejando de depender de la descarga.

**Figura 11.1**  
Esquema General de Circulación Ambiental de Residuos Antrópicos,  
Indicando las Vías de Interconexión y Fases de Acumulación



Fuente: González, S.P. 1991. *Estrategias para la Evaluación de Impactos de Procesos Contaminantes en la Agricultura. El Conflicto Minería-Agricultura en Chile*. Simiente, 61:65-77.

000038

La persistencia ambiental de un contaminante condiciona la magnitud de las variables dispersión y acumulación, aunque la cuantía de la descarga también debe tomarse en cuenta. En el largo plazo, la extensión geográfica de la dispersión y la cuantía de la acumulación en suelos y cuerpos de agua serán función directa de la persistencia ambiental del contaminante. En general, esta última está dada por su naturaleza, en alguna medida un concepto de valor relativo, ya que los contaminantes biodegradables pueden persistir por tiempos superiores a sus tasas de degradación, lo que es función del balance entre modalidad de descarga y ambiente receptor.

El tiempo de residencia de un contaminante en el ambiente receptor es otra variable importante en la evaluación del contaminante pues, apunta a la reversibilidad del proceso. El tiempo de residencia será función inversa de la degradabilidad del contaminante y directa de la capacidad ambiental para impedir su remoción y extracción. En suelos de textura franca, por ejemplo, la residencia del cobre o plomo es superior a 100 años cuando el pH es 4,2, y baja a unos pocos años a pH de 2,8<sup>1</sup>.

En ecosistemas terrestres y para un mismo contaminante, la extinción, dispersión, remoción, acumulación y residencia alcanzarán valores específicos según el balance entre la capacidad de retención de los suelos y el aporte atmosférico y de aguas. Así, en ambientes húmedos y/o dominados por suelos de baja capacidad de retención, se favorecerá la dispersión y remoción del contaminante a unidades vecinas. Ambientes áridos y/o con suelos con alta retención privilegiarán la acumulación y residencia.

Los contaminantes degradables tienden a mantenerse en la vecindad del recurso receptor primario; son procesos reversibles, de bajo riesgo ambiental en el largo plazo, aunque puede ser alto en el corto plazo. En el otro extremo, los persistentes tenderán a abarcar toda la unidad ambiental; son procesos de lenta reversibilidad, con alto riesgo ambiental en el largo plazo.

El estado físico del contaminante condiciona fuertemente su ciclo ambiental. Los gases tenderán a difundir antes que a acumularse y a degradarse más que a persistir, y sus ciclos ambientales podrán ser extendidos pero de corta duración. Los sólidos tienen baja capacidad de dispersión, alta persistencia y baja cobertura, pero son más duraderos. Los líquidos o las sustancias disueltas en agua se comportan más como gases que sólidos.

### 2.3. Daños Asociados a la Contaminación Ambiental

La simple detección de residuos antrópicos en ambientes y/o recursos naturales no implica contaminación, pues es preciso que dicha presencia cause daños en los seres vivos que habitan o se sirven de la unidad ambiental afectada. Los efectos de la contaminación pueden llevar a reducir las densas poblaciones o los números de especies en las comunidades, reducir en el suelo la actividad enzimática y poblaciones de microorganismos o el potencial para sustentar cubiertas vegetales, reducir el rendimiento, inducir cosechas alteradas y/o rechazo de los consumidores en ambientes agrícolas, ganaderos y silvícolas, emergencia de enfermedades, morbilidad, mutagenicidad, teratogenicidad y mortalidad en humanos, y

<sup>1</sup> Tyler, G. 1989. *Leaching Rates of Heavy Metals in Forest Soils*. Water, Air, and Soil Pollution, 9:137-148.

000039

deterioro de variables sociales, culturales y económicas<sup>2</sup>.

Generalmente se habla de contaminación a partir de la excedencia del umbral crítico del contaminante, límite que es específico para cada ambiente y genotipo. Se entiende que la contaminación de rápida acumulación será de máximo riesgo ambiental, pues el tiempo para alcanzar el umbral crítico será menor. Como base de evaluación se establece que un proceso contaminante será de mayor impacto si los efectos se generan en menor tiempo, son de mayor magnitud, tienen máxima cobertura espacial y son perdurables. Obviamente, estos criterios identifican a las descargas de sustancias persistentes, como los metales. Si a la persistencia se une un alto potencial de daño biocida (toxicidad, mutagenicidad, etc.), el impacto del contaminante se incrementa producto de umbrales críticos menores. El tiempo de extinción de los efectos no depende sólo de la persistencia del contaminante, ya que ciertos contaminantes, como las radiaciones, pueden tener una extinción instantánea, pero inducen efectos perdurables al actuar sobre los códigos genéticos, lo que hace a los daños incluso transmisibles a las descendencias.

En ambientes terrestres, los suelos son parte substancial en la neutralización de contaminantes, por su capacidad para insolubilizarlos o retenerlos con más energía que la succión de las raíces, con lo que se hacen no disponible para las plantas y, por ende, para los seres vivos que se nutren de éstas. La expresión del potencial de daño, reflejado inversamente por los niveles críticos, será función inversa de esta capacidad de amortiguación o tampón.

La composición florística y la estructura poblacional también condicionan el impacto contaminante. En áreas silvestres donde coexisten poblaciones numerosas de distintas especies, el impacto contaminante tiende a diluirse, incluso en especies sensibles. En áreas agrícolas, con muy bajo número de poblaciones de unas pocas especies, el impacto podría ser máximo si coincide con la etapa sensible del crecimiento.

Un aspecto trascendente en la búsqueda del desarrollo sustentable es poder estimar a priori el tiempo de espera (tiempo para exceder el umbral crítico) para un proceso específico, sobre todo cuando se trata de procesos muy lentos, imperceptibles en el corto plazo, cuyos efectos podrían emerger en plazos superiores a la vida humana. La inferencia de efectos en tiempo y espacio, básico para compatibilizar intereses económicos y ecológicos, representa quizás la principal debilidad para una eficiente gestión ambiental.

### 3. Contaminación con Elementos Traza

#### 3.1. Génesis del Conflicto Minero-Agrícola en Chile

Chile posee una extraordinaria riqueza metálica, lo que se ha traducido en el desarrollo de una minería extractiva de gran peso en la economía del país. Baste mencionar que el cobre es el producto que más divisas genera al país, aunque el metal con mayor volumen de producción es el hierro (ver Figura 11.2). Por la concentración de sus

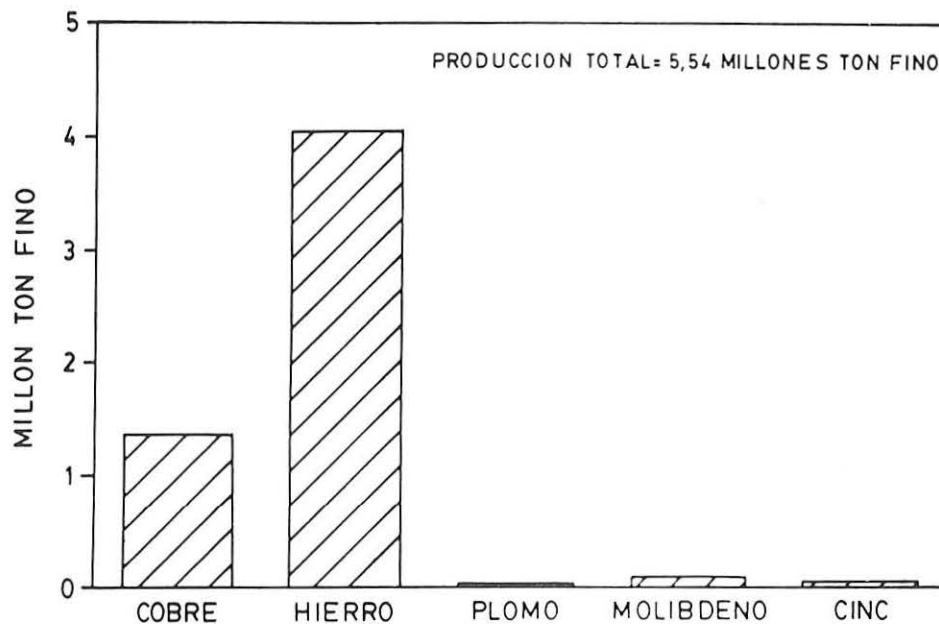
---

<sup>2</sup> Tiller, K. G. 1989. *Heavy Metals in Soils and their Environmental Significance*. *Advance Soil Science*, 9:113-142.

000040

yacimientos en la III Región de Atacama y la IV Región de Coquimbo, y por su baja toxicidad, el hierro presenta un riesgo ambiental muy inferior al cobre y otros metales. Por su parte, las descargas mineras que incluyen plomo también son de menor riesgo ambiental que las de cobre, no por razones de toxicidad sino porque los principales yacimientos están en la XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo, donde hay más eficientes sistemas naturales de dispersión y dilución.

**Figura 11.2**  
Producción Nacional de Metales en 1987

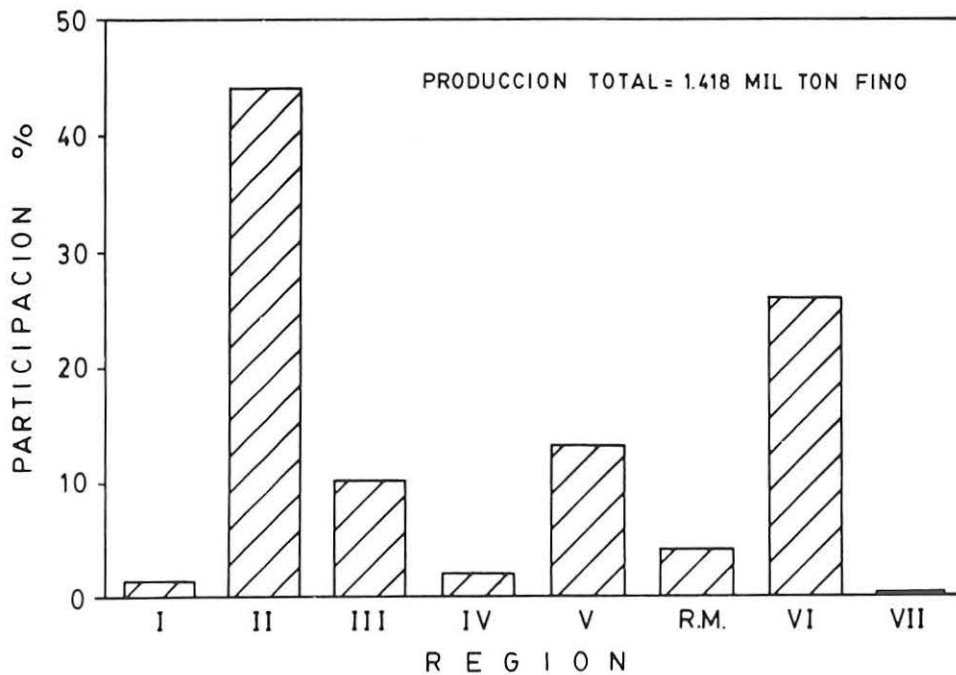


Fuente: INE. 1987. *Anuario de la Minería Año 1987*. Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago.

De la Figura 11.3 se deduce que el escenario potencial para el conflicto minería del cobre-agricultura se extiende desde la I Región de Tarapacá a la VII Región del Maule, especialmente donde coinciden los valles transversales (con la agricultura más productiva del país) con los mayores yacimientos de cobre o las fundiciones más importantes, como el Valle de Copiapó (fundición en Paipote), Valle del Aconcagua (mina en Saladillo y fundición en Chagres), Valle del Mapocho (minas en Los Bronces, Pudahuel y La Africana) y Valle Cachapoal (mina El Teniente).

000041

**Figura 11.3**  
**Participación Regional en la Producción de Cobre durante 1987**



Fuente: INE. 1987. *Anuario de la Minería Año 1987*. Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago.

Los mayores yacimientos de cobre están en la Cordillera de los Andes o en áreas precordilleranas, lo que obliga a los centros de extracción a servirse de los ríos, usados aguas abajo para abastecer a la población y regar los suelos agrícolas. Esto genera el primer conflicto minero-agrícola, ya que los centros mineros devuelven aguas con calidad disminuida, conteniendo relaves y residuos químicos de muy variada naturaleza<sup>1</sup>. Aparte de ello, la expansión minera exige el uso de caudales crecientes, en desmedro también de la actividad agrícola, como ha ocurrido con las comunidades que habitaban las riberas del Río Loa.

El segundo conflicto se genera por las emisiones fumígenas de fundiciones de minerales, que afectan drásticamente y rápidamente las áreas receptoras en sus recursos biológicos y tecnoestructura. Las fundiciones en Chuquicamata (II Región de Antofagasta), Potrerillos

<sup>1</sup> González, S.P. 1991. *Estrategias para la Evaluación de Impactos de Procesos Contaminantes en la Agricultura. El Conflicto Minería-Agricultura en Chile*. Simiente, 61(1):65-77.

y Paipote (III Región de Coquimbo), Chagres y Ventanas (V Región de Valparaíso) y Caletones (VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins), están emitiendo inmensos volúmenes de anhídrido sulfuroso, arsénico y particulado sólido<sup>4</sup>.

El cobre, un elemento que conjuga abundancia, distribución y toxicidad en Chile, tiene la mayor probabilidad de estar presente en las emisiones mineras. De acuerdo a los niveles de producción minera, otros elementos con potencial de contaminación ambiental son el arsénico, fierro, molibdeno, plomo y cinc.

### 3.2. Elementos Descargados por las Actividades Mineras

Como se deduce de la Figura 11.1, las sustancias descargadas por la minería entran en un proceso de reciclaje ambiental, dominado por la dinámica del ambiente receptor, y en algún momento tendrán que llegar obligatoriamente a los suelos, donde tenderán a ser acumulados. Si la descarga persiste el tiempo suficiente, se podrían exceder los umbrales de seguridad ambiental.

Los elementos metálicos emitidos son llamados metales pesados, que son todos aquellos con densidad igual o mayor a 5 g/cc. El concepto abarca 60 elementos, de casi todos los grupos del sistema periódico, muy diversos y algunos de síntesis artificial; sin embargo, excluye elementos no metálicos y/o de densidad menor, como el selenio, molibdeno y arsénico, que son contaminantes mineros de alto impacto<sup>5</sup>. Para identificar mejor al grupo de elementos contaminantes, términos tales como elementos traza o microelementos, a pesar de no tener especificidad química, por lo menos restringen el grupo a elementos de síntesis natural en la litósfera en baja concentración (ver Tabla 11.1).

Elemento	Rango en Suelos	Promedio en Rocas
Arsénico	0,10 - 40,0	-
Boro	2,00 - 100,0	-
Cadmio	0,01 - 1,0	0,20
Cinc	10,00 - 300,0	70,00
Cobalto	1,00 - 40,0	25,00
Cobre	2,00 - 100,0	55,00
Cromo	5,00 - 1.000,0	100,00

<sup>4</sup> González, S.P. 1987. *El Impacto de las Fundiciones de Minerales sobre las Actividades Agropecuarias*. I.P.A. La Platina, 39:46-48.

González, S.P. y E. Bergqvist. 1989. *Contaminación por Desechos Mineros de la Agricultura*. I.P.A. La Platina, 54:50-56.

<sup>5</sup> Martin, M.H. y P.J. Coughtrey. 1982. *Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution: Land and Air*. Pollution Monitoring Series ASP, New York. 475 pp.



Elemento	Rango en Suelos	Promedio en Rocas
Estaño	< 1,00 - 10,0	2,00
Estroncio	50,00 - 1.000,0	-
Flúor	30,00 - 300,0	-
Hierro	1x10 <sup>5</sup> - 2x10 <sup>6</sup>	6x10 <sup>4</sup>
Litio	5,00 - 200,0	-
Mercurio	< 0,01 - 0,5	0,08
Manganeso	100,00 - 4.000,0	950,00
Molibdeno	0,20 - 5,0	1,50
Níquel	5,00 - 500,0	75,00
Oro	-	0,05
Plata	0,01 - 5,0	0,07
Plomo	2,00 - 200,0	13,00
Selenio	0,10 - 2,0	-

Fuente: Bridges, E.M. 1991. *Dealing with Contaminated Soils*. Soils Use and Management.

Berrow, M. y J.C. Burridge. 1977. *Trace Element Levels in Soils: Effects of Sewage Sludge*. En: *Inorganic Pollution and Agriculture*. Reference Book N° 326. Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food, Her Majesty Stationary Office. pp. 159-183.

Davies, B. 1984. *Soil and Plant Analysis for Heavy Metals and the Quality of our Environment*. *European Spectroscopy News*, 54:19-22.

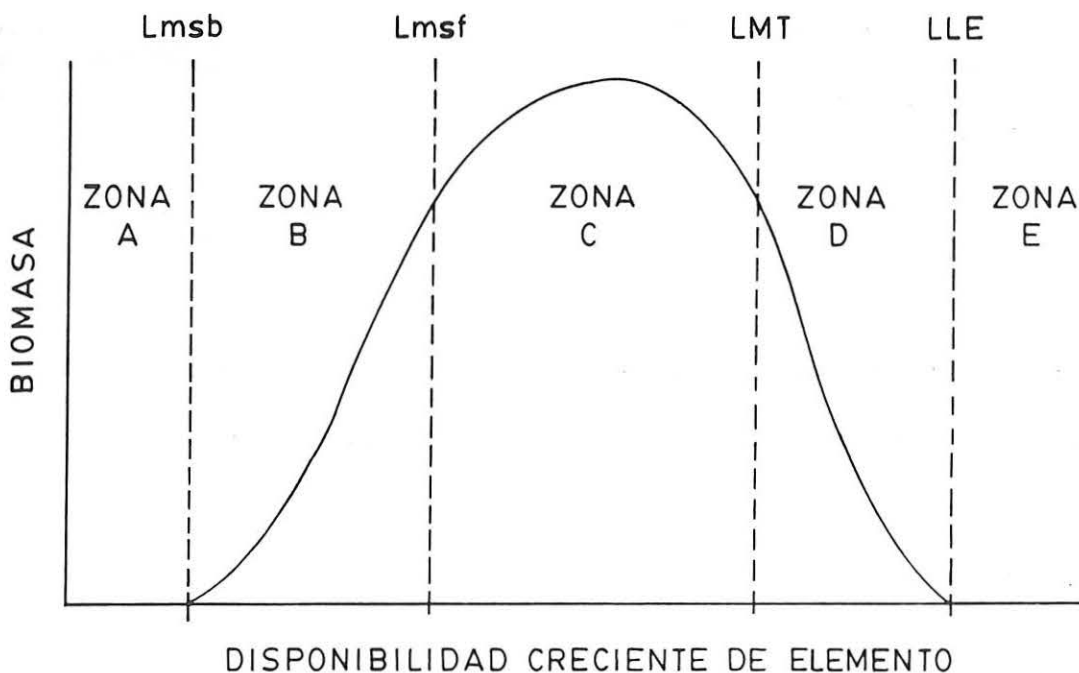
Independiente del término empleado, lo importante es que las descargas mineras aportan al ambiente una carga adicional de elementos persistentes y con alto potencial tóxico, muchos de ellos biomagnificables y con largos tiempos de residencia en los suelos. Para un ambiente dado, el impacto de esta contaminación, medido por la magnitud e irreversibilidad de los daños, extensión de superficie afectada e instantaneidad de emergencia, es función del elemento y del estilo de descarga.

La respuesta de una especie vegetal en un suelo, a la disponibilidad creciente de un elemento esencial, puede describirse por las siguientes cinco zonas indicadas (Figura 11.4):

- A. ausencia de la especie, por disponibilidad del metal bajo el límite crítico de subsistencia (Lcsb);
- B. desarrollo poblacional deficiente (individuos mal desarrollados, densidad poblacional baja o distribución irregular), entre los límites críticos de subsistencia (Lcsb) y de suficiencia (Lcsf);
- C. tolerancia y desarrollo óptimo de la población, entre el límite crítico de suficiencia (Lcsf) y el máximo de tolerancia (LMT);

- D. desarrollo poblacional deficiente (similar a B), entre el límite máximo de tolerancia (LMT) y el límite de letalidad (LLE), y
- E. ausencia de la especie (similar a A.) sobre el límite de letalidad (LLE)\*.

Figura 11.4  
Modelo de Respuesta Vegetal



Fuente: Baker, A.J.M. y P.L. Walker. 1989. *Physiological Responses of Plants to Heavy Metals and the Quantification of Tolerance and Toxicity*. Chem. Speciation Bioavailability, 1:7-17.

El grupo de límites críticos será específico para cada trío elemento-especie-suelo, reflejando la cuantía en que el elemento es requerido, su potencial tóxico, la sensibilidad de la especie afectada y la capacidad tampón a ese elemento, que posee el suelo donde se produce el contacto elemento-planta.

La evaluación de un proceso de aportes de metales es muy compleja, ya que las respuestas vegetales no siempre son coherentes. Algunas especies son tolerantes selectivas, es decir, tolerantes a unos elementos y sensibles a otros. Otras presentan exclusividad en sus respuestas, siendo siempre tolerantes, semitolerantes o sensibles. La respuesta de una especie

\* Baker, A.J.M. y P.L. Walker. 1989. *Physiological Responses of Plants to Heavy Metals and the Quantification of Tolerance and Toxicity*. Chem. Speciation Bioavailability, 1:7-17.

no debe verse a nivel de individuo sino poblacional, ya que puede existir una amplia variación en la sensibilidad individual al contaminante.

Como ejemplo del potencial tóxico expresado por un elemento frente a una especie, una experiencia nacional de cultivo de alfalfa en diferentes suelos del país dio un LMT de cobre variable desde  $> 1.600$  mg/kg a  $< 100$  mg/kg<sup>7</sup>. En general, la toxicidad del cobre fue reducida por la concurrencia de al menos una de las siguientes condiciones: una abundante fracción arcilla dominada por minerales, una abundante fracción orgánica y una abundante dotación de calcio. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros países<sup>8</sup>.

En términos generales, la biomagnificación tiene una relación inversa con la esencialidad del elemento. Los elementos no esenciales tienden a ser absorbidos por vía pasiva en función a su disponibilidad en el suelo, mientras los no esenciales son absorbidos activamente.

### 3.3. Ciclos Ambientales de los Elementos Traza

A diferencia de las sustancias artificiales, los elementos traza están siempre presentes en la corteza terrestre, por lo que aportes antrópicos se sumarán al contenido basal cambiando el estado de equilibrio original de la unidad receptora, en relación directa a la cuantía de los aportes (ver Figura 11.5)<sup>9</sup>. En general, el suelo presenta una gran afinidad por estos elementos, por lo que se espera que su ciclo ambiental esté dominado por fases de acumulación y prolongada resistencia, siendo menor su dispersión y remoción.

En relación a la nutrición vegetal, si bien la aparición de daños a largo plazo podría asociarse al contenido total de un elemento en el suelo, en el corto plazo la carga agregada tiende a mantenerse en la forma en que fue emitida (no soluble). Para que esta carga adquiera forma soluble capaz de inducir efectos tóxicos, la masa sólida debe ser procesada por el suelo. Por ello, más que determinar los daños actuales de una contaminación específica, debe poder inferirse los daños de largo plazo, determinando el área total de dispersión probable y el tipo y tiempo de emergencia de daños futuros.

---

<sup>7</sup> González, S.P. 1991. *Upper Critical Level of Copper to Alfalfa in Ten Chilean Soils*. Water, Air, and Soil Pollution, 57/58:201-208.

<sup>8</sup> Hue, N.V., J.A. Silva y R. Arifin. 1988. *Sewage Sludge-Soil Interactions as Measured by Plant and Soil Chemical Composition*. Journal of Environmental Quality, 17(3):384-390.

McBride M.B. 1989. *Reactions Controlling Heavy Metal Solubility in Soils*. Advance Soil Science, 10:1-56.

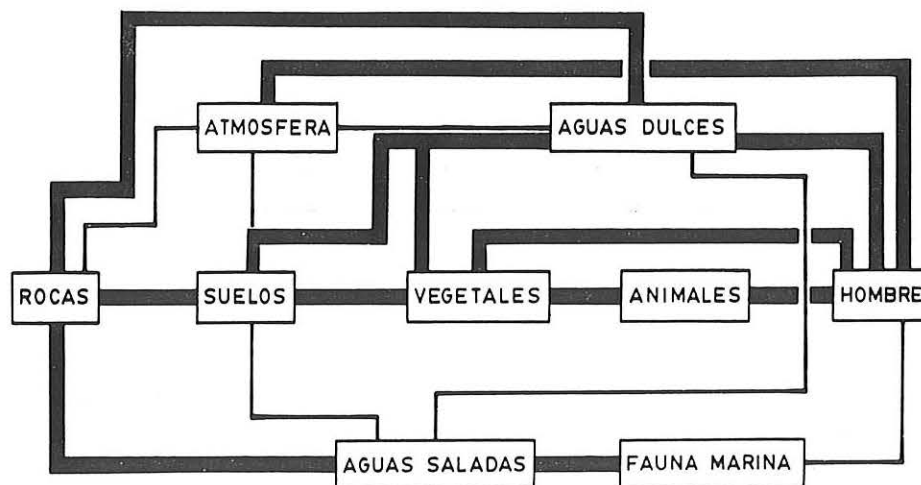
Petruzelli, G., G. Guidi y L. Lubrano. 1978. *Organic Matter as an Influencing Factor on Copper and Cadmium Adsorption by Soils*. Water, Air and Soil Pollution, 9(3):163-169.

Id. a nota 2.

<sup>9</sup> Id. a nota 3.

000046

**Figura 11.5**  
**Equilibrio Natural de Elementos Traza en el Ambiente**



Fuente: González, S.P. 1991. *Estrategias para la Evaluación de Impactos de Procesos Contaminantes en la Agricultura. El Conflicto Minería-Agricultura en Chile*. Simiente, 61(1):65-77.

#### 4. Contaminación con Residuos de Plaguicidas

##### 4.1. Generalidades

Chile no escapa a la tendencia mundial, originada en países desarrollados, de considerar a los agroquímicos como insumos de producción que deberían ser excluidos. De las cifras publicadas por la *General Accounting Office* de los Estados Unidos en 1990, se desprende que en gran medida la problemática chilena no es la de Estados Unidos o Japón, aun considerando que nuestra agricultura esté sobre el promedio latinoamericano y posea rubros en los que la aplicación de plaguicidas sea similar a la de Estados Unidos (ver Tabla 11.2). Chile posee una condición de "isla biológica", con barreras naturales para la propagación de plagas sólo franqueables en la medida que se permita, voluntariamente o por negligencia. Esto significa que la producción agrícola nacional tiene una menor incidencia de plagas, y por tanto requiere de menores tasas de aplicación de plaguicidas. Mantener esta ventaja comparativa involucra un uso racional de plaguicidas y la mantención de barreras artificiales que impidan el ingreso de nuevas plagas. Esto resalta la necesidad de proteger esta condición natural de "isla" vía barreras fitosanitarias estrictas.

000047

**Tabla 11.2**  
**Consumo de Plaguicidas sobre la Base**  
**de Principios Activos**

Continente/País	Consumo al Año (k/ha)
Japón	10,79
Europa	1,87
Estados Unidos	1,49
América Latina	0,22
Oceanía	0,20
África	0,13

#### 4.2. Tipos de Plaguicidas Modernos

Los plaguicidas que hoy dominan el mercado son compuestos orgánicos de síntesis artificial, aplicados a los cultivos para impedir la proliferación de parásitos en las plantas. Si bien subsisten plaguicidas de base mineral, su uso está prácticamente discontinuado y no parecen representar un riesgo ambiental masivo. La Tabla 11.3 presenta las generaciones de plaguicidas orgánicos, desde los organoclorados (OC), grupo de sustancias orgánicas unidas a átomos de cloro, a los piretroides sintéticos, primera generación de plaguicidas de base natural, que reproducen un compuesto que otorga resistencia contra insectos a las plantas del género *Chrisantenum*, existente en Kenya.

**Tabla 11.3**  
**Síntesis General sobre Plaguicidas Orgánicos Sintéticos**

Plaguicida	Uso Principal	Estructura Química	Toxicidad Especificidad	Persistencia	Acción Biológica
Organoclorados (OC)	Insecticida Acaricida	Cadenas aromáticas y alifáticas con átomos de cloro	Muy tóxicos a tóxicos; No específicos	Prolongada (años)	Afecta el metabolismo del calcio y sistema nervioso central
Organofosforados (OP)	Insecticida; Acaricida; Fungicida	Cadenas orgánicas con base en el ácido fosfórico	Muy tóxicos a tóxicos; No específicos	Prolongada (meses)	Afecta la acción de la acetilcolinesterasa
Carbamatos y ditiocarbamatos	Fungicida; Insecticida	Basado en ácidos carbámico y ditiocarbámico	Tóxicos a moderadamente tóxicos; Especificidad creciente	Moderada (días)	Afecta la acción de la acetilcolinesterasa
Piretroides sintéticos	Insecticida Acaricida	Síntesis artificial de la piretrina	Escasamente tóxicos; Mayor especificidad	Escasa (horas)	No se conoce acción tóxica
Hormonas vegetales	Herbicida; Control de crecimiento	Síntesis artificial de hormonas vegetales	No tóxicos; Específicos	Escasa (horas)	No se conoce su acción tóxica

000048

El mayor riesgo ambiental se asocia a los plaguicidas OC, pues los factores de deterioro, como inespecificidad de acción, fuerte toxicidad para mamíferos superiores y prolongada persistencia ambiental, manifiestan una máxima expresión favoreciendo su acumulación y un máximo potencial de biomagnificación. En general, el riesgo sigue la secuencia organoclorados > organofosforados > carbamatos > piretroides sintéticos.

#### 4.3. Regulaciones al Uso de Plaguicidas

La regulación al uso de plaguicidas en Chile empezó al dictar el Ministerio de Salud una resolución que fijó los niveles residuales máximos de éstos en alimentos de consumo humano<sup>o</sup>. Debido a denuncias de residuos de DDT en leche de vacas, e incluso en leche de mujeres parturientas, el Ministerio de Agricultura dictó una resolución que prohibió su uso en empastadas de la IX Región de la Araucanía y X Región de Los Lagos, y en todo subproducto vegetal susceptible de usarse en alimentación vacuna<sup>a</sup>. Esta resolución fue complementada por otra que prohibió completamente el uso de DDT en la agricultura chilena<sup>a</sup>. Finalmente, una tercera resolución prohibió la importación, fabricación, comercialización y uso en áreas agrícolas de todos los plaguicidas OC<sup>a</sup>.

### 5. Residuos de Plaguicidas Organoclorados en el Horizonte A,

#### 5.1. Ocurrencia, Identidad y Contenidos de Residuos Organoclorados en Suelos

Entre 1982 y 1984 se efectuó una prospección sobre la ocurrencia, identidad y contenido de residuos de plaguicidas OC en el horizonte A, en suelos del Valle Aconcagua, V Región de Valparaíso. Entre 1987 y 1989 la prospección fue ampliada entre la IV Región de Coquimbo y la XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo<sup>a</sup>.

##### 5.1.1. Aspectos Generales

El empleo del Horizonte A<sub>1</sub>, como diagnóstico de la residualidad de plaguicidas OC, es un criterio válido si se considera que su ingreso a los suelos ocurre por la superficie, y que son sustancias lipofílicas retenidas preferentemente por la fracción orgánica del suelo.

---

<sup>a</sup> Ministerio de Salud Pública. 1982. Resolución N° 1.450 exenta (13/12/82): Fija tolerancias máximas de residuos de pesticidas en los alimentos de consumo interno. Diario Oficial República de Chile N° 31.456.

<sup>a</sup> Ministerio de Agricultura. 1983. Resolución N° 4 exenta (18/01/83): Impone restricciones al uso de plaguicidas DDT, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Clordano y Heptacloro. Diario Oficial República de Chile N° 31.469.

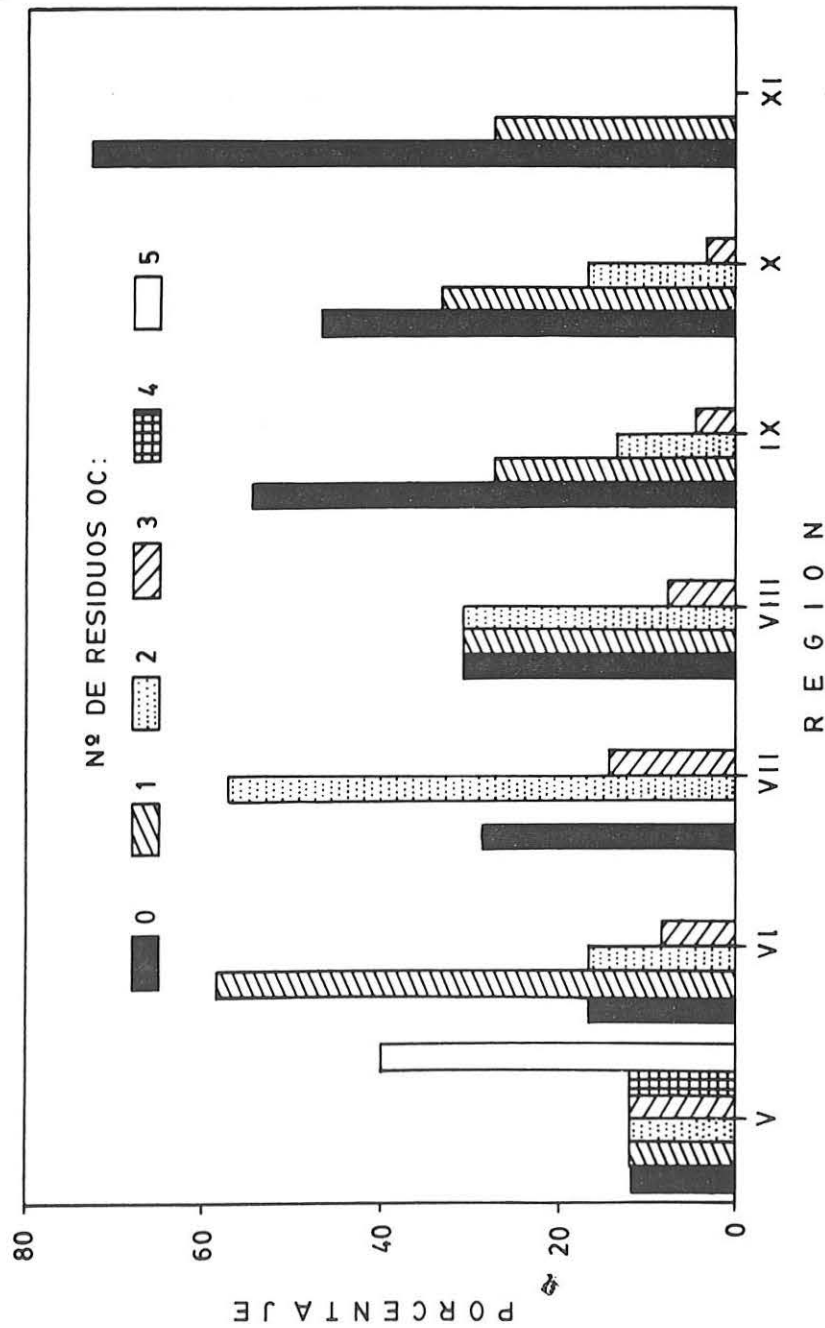
<sup>a</sup> Ministerio de Agricultura. 1984. Resolución N° 639 (07/05/84): Prohíbe la importación, fabricación y uso del plaguicida DDT.

<sup>a</sup> Ministerio de Agricultura. 1987. Resolución N° 2.142 exenta (19/10/87): Prohíbe la importación, fabricación, venta, distribución y uso de Deldrín, Endrín, Heptacloro y Clordano. Diario Oficial República de Chile N° 32.902.

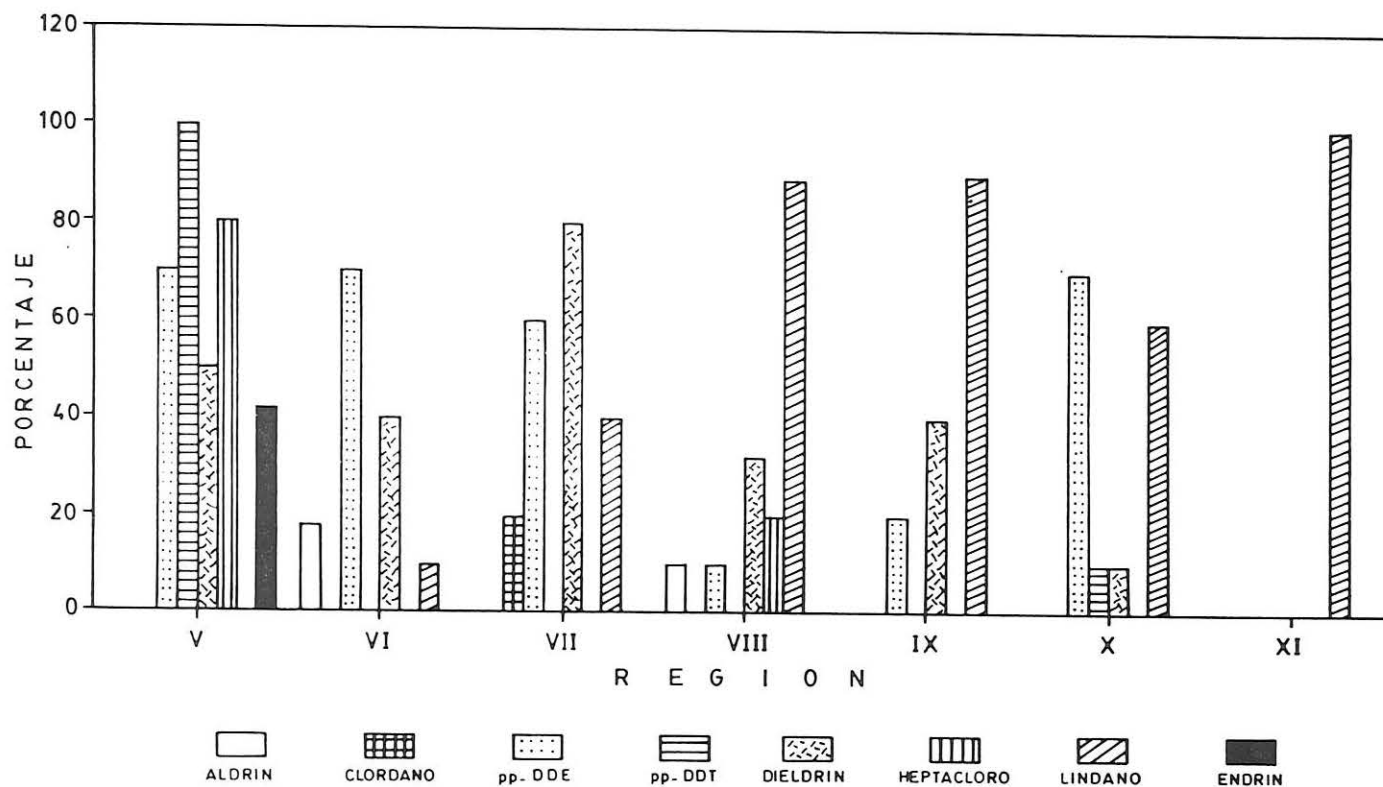
<sup>a</sup> INIA. 1986. Proyecto FIA 72/80 Contaminación en el Valle Aconcagua, V Región, Informe Final. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago. 125 pp.

Los resultados se presentan en las Figuras 11.6 y 11.7. En general, el porcentaje de ocurrencia regional de residuos OC disminuye consistentemente hacia el sur, con valores extremos de 88% (V Región de Valparaíso) y 27% (XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo). Paralelamente, se detectó una gama de residuos variables de acuerdo a la ocurrencia. Así, la mayor cantidad de residuos (5) se identificó en la V Región de Valparaíso, mientras que la menor (1) correspondió a la XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo.

Figura 11.6  
Porcentaje de Muestras por Región, según Número de Residuos



**Figura 11.7**  
**Identidad y Ocurrencia de Residuos Organoclorados en Suelos entre la V Región de Valparaíso y la XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo**



000050



000051

La Tabla 11.4 presenta los rangos de contenidos de residuos OC. Los mayores valores, porcentajes de ocurrencia y gama de residuos se dieron en la V Región de Valparaíso, siendo escasos en las restantes regiones. Esta diferencia tendría relación con las distinta época en que fueron tomadas las muestras. En esta región ocurrió entre 1982 y 1984, antes que se decretara su prohibición, en tanto que entre la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo fue entre 1988 y 1989, 3 a 4 años después de su prohibición. Antecedentes propios indican que la presencia de residuos OC inició un descenso, tanto en frecuencia como en contenido, desde que se dictó su prohibición total en 1985<sup>15</sup>.

Residuo	Regiones						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Aldrín	ND	0,5	ND	0,5	ND	ND	ND
Clordano	ND	ND	0,5	ND	ND	ND	ND
pp-DDE	3,0 - 105,0	0,5 - 6	0,5 - 2,4	0,5	0,5 - 2,0	0,5 - 15	ND
pp-DDT	4,0 - 105,0	ND	ND	ND	ND	4,0	ND
Dieldrín	3,0 - 247,0	0,5 - 50,0	0,5 - 11,0	0,5 - 4,4	0,5 - 4,0	16,0	ND
Endrín	3,0 - 32,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Heptacloro	3,0 - 5,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hep.-Epóxido	ND	ND	ND	0,5 - 3,2	ND	ND	ND
Lindano	ND	0,5	0,5	0,5 - 6,3	0,5 - 6,0	0,5 - 3,2	0,5 - 2,0

Nota: Límite de detección: 0,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$   
ND: contenido no detectado

### 5.1.2. V Región de Valparaíso

El estudio prospectivo del Valle Aconcagua y sector costero de Puchuncaví mostró un 88% de ocurrencia de residuos OC, siendo el más alto del país<sup>16</sup>. Todas las muestras positivas provinieron del Valle Aconcagua, por lo que en él la ocurrencia es 100%, lo que sumado a la mayor gama de residuos (5) refleja la intensidad de su agricultura. Entre las muestras positivas, el 40% contuvo cinco de los residuos identificados, el 54% contuvo más de tres y el 69% más de dos. En orden decreciente de importancia, los residuos fueron: pp-DDT en el 100% de las muestras (asociado a pp-DDE en cerca del 90%) y Dieldrín y Endrín en 40 al 50% de los casos. Esta es la única región donde fue detectado Endrín. La presencia de pp-DDE, metabolito producido en los suelos por degradación microbiana, acusa la aplicación de DDT en el pasado. Sin embargo, la ubicuidad del DDT en los suelos del Aconcagua revela su uso masivo al momento del estudio.

<sup>15</sup> INIA. 1990. *Proyecto FIA 1/86 Fuentes de Contaminación en Sectores Agrícolas, Regiones IV a XI, Informe Final*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago. 362 pp.

<sup>16</sup> Id. a nota 14.

Llama la atención la ausencia de Lindano, con mayor presencia en las demás regiones y especialmente en aquellas dedicadas a la producción ganadera. Dado que este producto continúa siendo de uso permitido en sanidad animal, su ausencia en el Valle Aconcagua refleja la inexistencia de ganadería.

#### **5.1.3. VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins**

La ocurrencia de residuos OC en los suelos de los valles Cachapoal y Tinguiririca fue de 84%, estando el 70% de las muestras contaminadas con un solo residuo (casi siempre pp-DDE), el 20% con dos residuos, y cerca del 10% con tres. Se identificó cuatro compuestos, siendo el pp-DDE el de mayor frecuencia de ocurrencia (70% en muestras positivas). También se detectó Dieldrín (40%), Aldrín (20%) y Lindano (10%), el que inicia su curva ascendente hacia el sur reflejando la importancia creciente de la ganadería. La presencia de pp-DDE y la ausencia de DDT indican claramente una contaminación relictiva sin aportes frescos de DDT, lo que pondría de manifiesto el acatamiento de las disposiciones legales que prohíben su uso (y de todos los OC) en la agricultura.

#### **5.1.4. VII Región del Maule**

En los suelos aluviales de los valles Teno, Lontué y Maule, la ocurrencia de OC alcanzó un 71%, estando el 80% de las muestras contaminadas con dos residuos, normalmente Dieldrín y pp-DDE. El restante 20% contuvo tres residuos, no habiéndose detectado casos con uno o más de tres residuos. Se identificó residuos de cuatro compuestos, siendo el Dieldrín el de mayor ocurrencia (casi 80%). Paralelamente se detectó pp-DDE (60%), Lindano (40%) y Clordano (20%), este último encontrado sólo en esta región. La inexistencia de DDT y presencia de pp-DDE indican una contaminación residual.

#### **5.1.5. VIII Región del Biobío**

Las llanuras de los ríos Laja y Biobío presentaron una ocurrencia de residuos OC cercana al 70%, manteniendo la tendencia decreciente hacia el sur del país. La casi totalidad de las muestras contaminadas presentaron uno o dos residuos distintos, correspondiendo casi siempre a Lindano, solo o asociado a otro compuesto. Una proporción menor de las muestras contuvo tres residuos. La región presentó una gama de cinco compuestos OC, aunque en contenidos substancialmente inferiores a los de la V Región de Valparaíso. El compuesto dominante fue Lindano (90% de las muestras), y en orden decreciente de importancia, Dieldrín, Heptacloro-epóxido, Aldrín y pp-DDE. La no detección de DDT permite asumir que la presencia de OC responde a una contaminación relictiva, producto de la baja tasa de degradación de los residuos generados por aplicaciones pasadas.

#### **5.1.6. IX Región de la Araucanía**

En esta región la ocurrencia de residuos OC sufre una fuerte caída, más de la esperada por la tendencia global. Esto puede explicarse por la existencia de numerosas reducciones indígenas cuyos suelos no contienen residuos. Si no se consideran estos predios, la ocurrencia alcanza un valor similar al de la X Región de Los Lagos. Más de la mitad de las muestras positivas contuvo un compuesto (Lindano o Dieldrín), un tercio contuvo dos, y sólo una pequeña proporción contuvo tres residuos. Aparte de Lindano, presente en casi

000053

todas las muestras, y Dieldrín, con 40% de ocurrencia, se identificó pp-DDE en no más del 20% de las muestras, y los resultados reflejarían un buen acatamiento de las disposiciones que prohíben su uso.

#### 5.1.7. X Región de Los Lagos

En esta región, a diferencia de la IX Región de la Araucanía, la ocurrencia de residuos OC se enmarca en la tendencia nacional con un valor que bordea el 55%. La frecuencia de residuos por muestra es similar en ambas regiones. De cuatro residuos indentificados, el de mayor frecuencia (casi 80%) fue pp-DDE, seguido por Lindano (60%). Dieldrín y DDT tuvieron una mínima presencia. Se presume que la contaminación es relicta; sin embargo la detección de pp-DDT indican casos puntuales de aplicación al tiempo del estudio, en contravención a las disposiciones legales.

#### 5.1.8. XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo

Esta región, en particular los sectores agrícolas intensivos en áreas aledañas a Coihaique, Puerto Aisén, Ñiregüao, Balmaceda y vecindades del Lago General Carrera, presentó la menor ocurrencia de compuestos OC a nivel nacional, con un 27%. Se detectó un solo compuesto (Lindano), indicando que los plaguicidas OC no alcanzaron a ser masivamente usados en esta región, y por el contrario, ello se debería al uso de Lindano en sanidad animal.

### 5.2. Conclusiones

Es indudable que la dictación de una serie de disposiciones legales por el Ministerio de Agricultura, prohibiendo el uso de plaguicidas OC en áreas agrícolas, se tradujo en una reducción significativa de los residuos acumulados en los suelos, hasta alcanzar niveles de poca trascendencia. Sin embargo, la labor de prospección de residuos en recursos del ambiente está recién empezando. Un campo de gran importancia a explorar es la posible contaminación de recursos ambientales por la amplia gama de agroquímicos actualmente en uso, de los que no se conoce su reciclaje ambiental. A modo de ejemplo, la introducción de cero labranza, práctica de resultados halagüeños en el establecimiento de cultivos sin riesgo de erosión, está condicionada al uso de grandes volúmenes de herbicidas, muchos de ellos con alta toxicidad. Igualmente, los huertos frutales en la zona central basan parte de su éxito productivo en el uso de herbicidas invernales de prolongada persistencia.

Es necesario determinar la degradación/extinción, retención en suelos, preservación por absorción y capacidad de biomagnificación de estos residuos, a fin de evaluar su conducta ambiental, conocimiento básico para la toma de decisiones tendientes a prevenir la ocurrencia de problemas.



## 6. Contenido de Cobre y Otros Elementos en el Suelo

### 6.1. Contenido en Elementos Traza en el Horizonte A<sub>p</sub>

Entre 1981 y 1990 el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias estudió el contenido en suelos de algunos elementos metálicos, especialmente cobre, cuya presencia en descargas mineras había sido detectada desde el valle del Río Huasco (III Región de Atacama) hasta las vecindades del Lago General Carrera (XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo). El objetivo fue determinar los contenidos para la producción agrícola. La contaminación de suelos se inicia por su horizonte superficial A<sub>p</sub>, el cual fue escogido para muestreo. También se estimó el nivel de disponibilidad de cobre para los vegetales (extraído con EDTA), además de su contenido total, determinado también para todos los elementos incluidos.

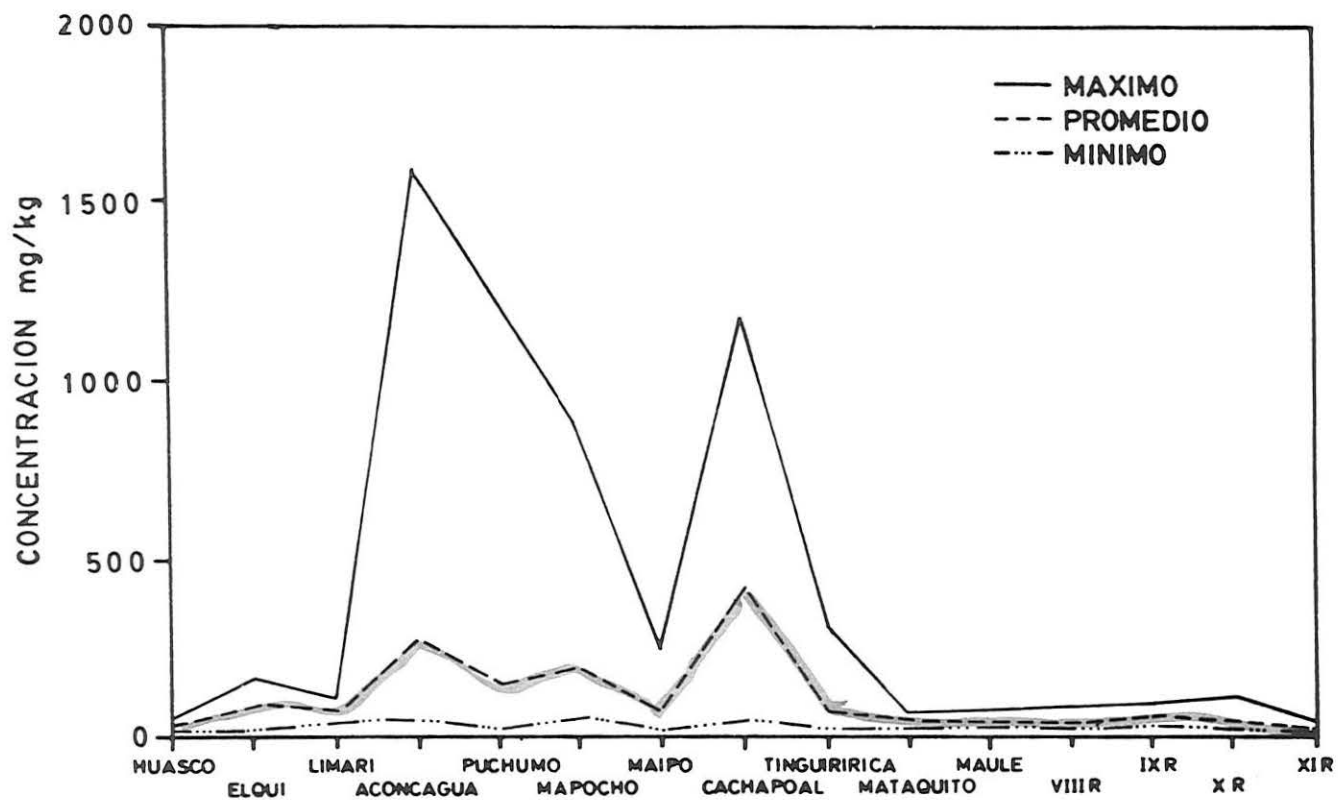
### 6.2. Aspectos Generales

Los resultados de contenidos totales de los distintos elementos metálicos se presentan en las Figuras 11.8 a 11.12. En áreas no contaminadas, los parámetros calculados permiten estimar en términos preliminares la riqueza nativa de los suelos, en tanto que en las contaminadas, la riqueza basal se refleja por los valores mínimos, siendo los máximos una aproximación de la acumulación alcanzada, y los valores promedios una estimación de la extensión superficial del proceso.

En relación al cobre total, se detectó que los suelos de los valles Huasco, Elqui, Limarí, Maipo y Tinguiririca, y de la VIII Región del Biobío, IX Región de la Araucanía y XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo, aparentan una situación normal, con un valor promedio equidistante de los extremos; en esas áreas se estima que lo medido debe corresponder a lo nativo.

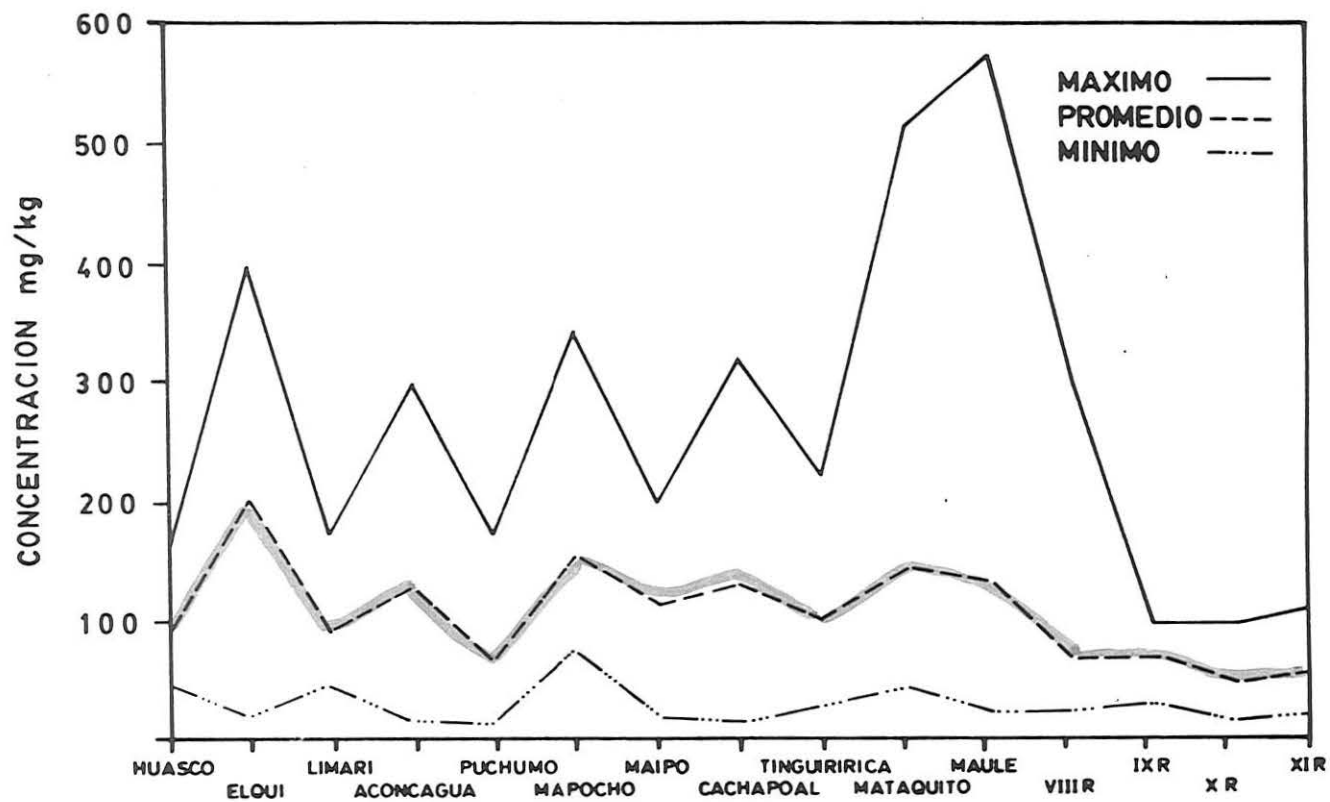
Una situación anormal se da en la áreas con gran actividad de la mediana y gran minería del cobre, como los valles Aconcagua, Mapocho, Cachapoal, y en el sector de Puchuncaví, ya que si bien los mínimos no difieren de los de otras unidades el rango de variación es muy amplio. A juzgar por la posición relativa del promedio, la cobertura geográfica de los suelos cúpricos estaría restringida a sectores vecinos a los centros mineros. Una excepción sería el Valle del Cachapoal, por su promedio de cobre total equidistante de los extremos.

Figura 11.8  
Perfil de Cobre Total en Suelos



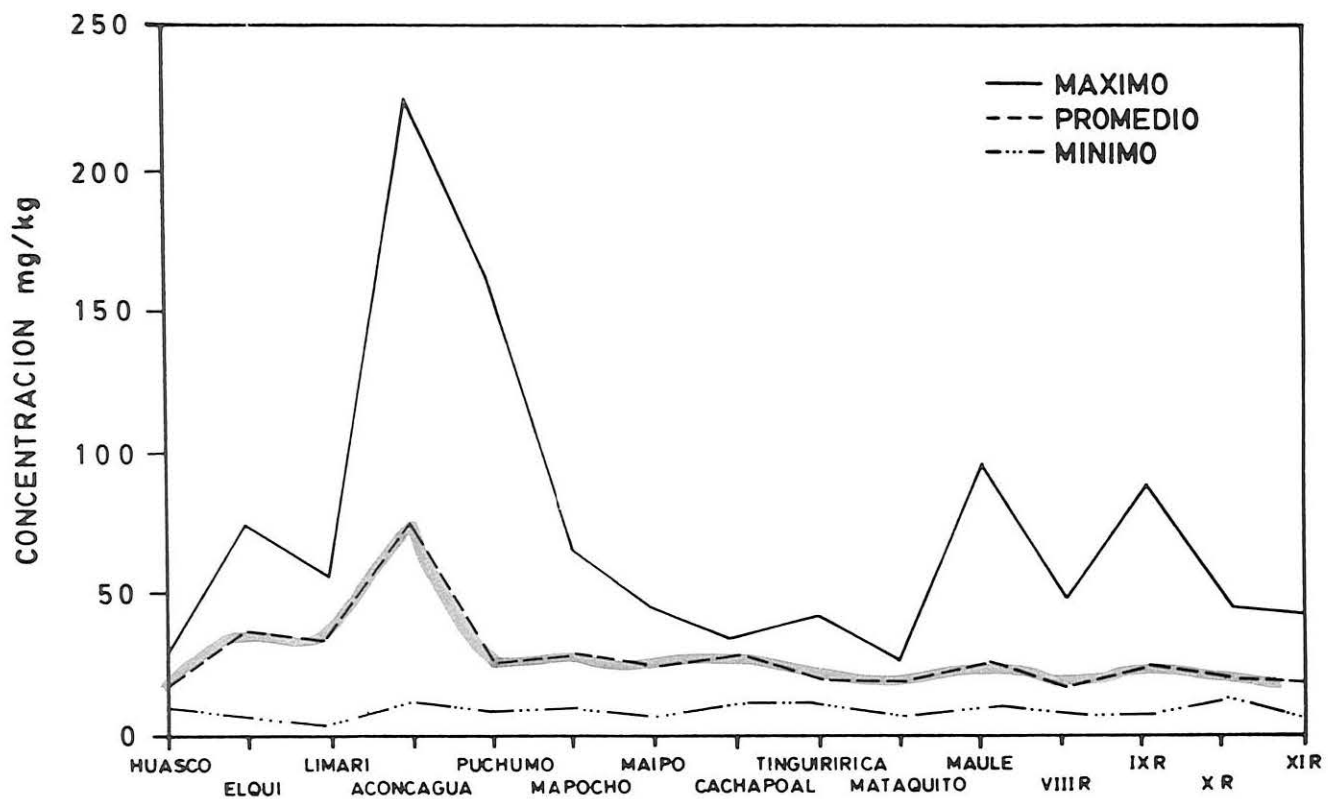
000052

Figura 11.9  
Perfil de Cinc Total en Suelos



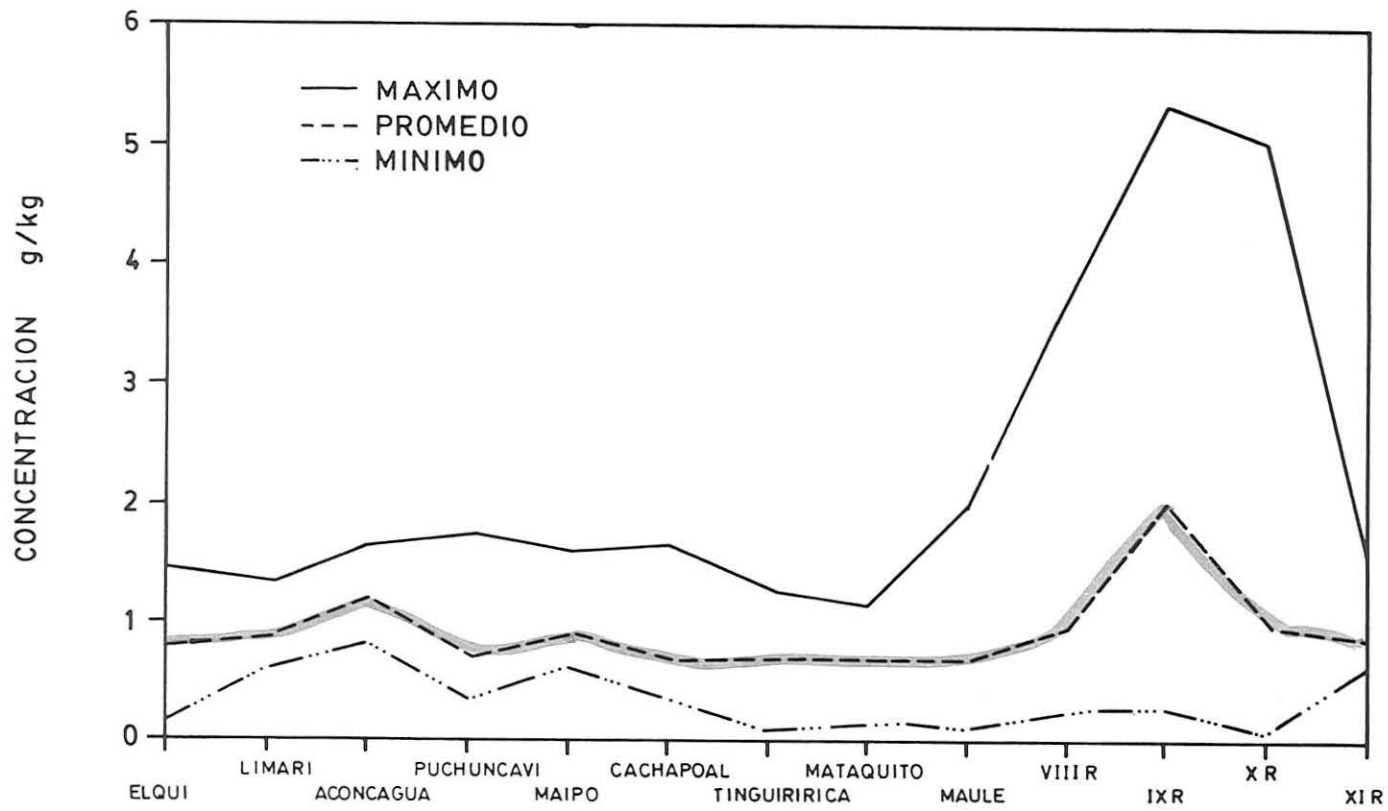
000056

Figura 11.10  
Perfil de Plomo Total en Suelos



000057

Figura 11.11  
Perfil de Manganeso Total en Suelos

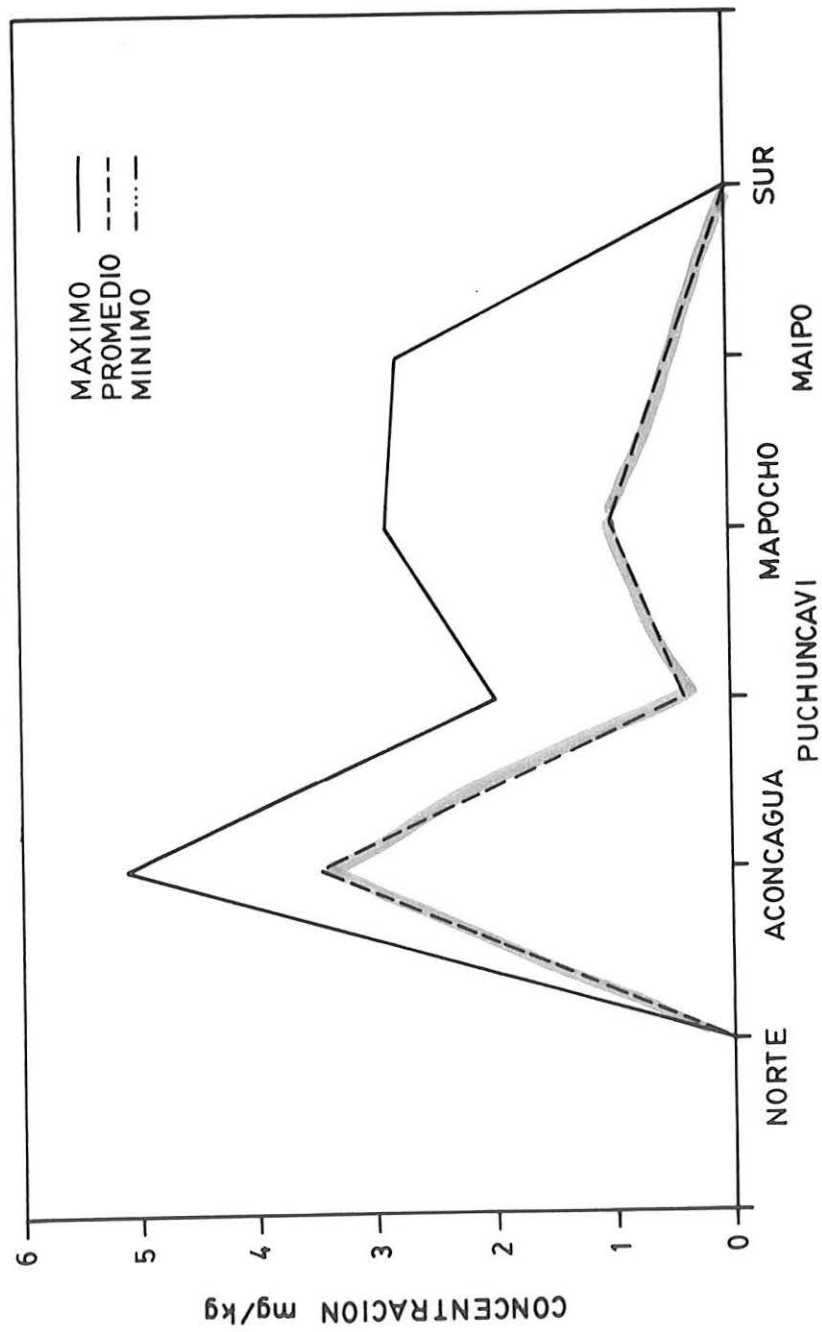


000058



000059

Figura 11.12  
Perfil de Cadmio Total en Suelos



000060

Lo anterior también concuerda con los antecedentes de la literatura<sup>17</sup>. Aceptando amplias variaciones del contenido de cobre en suelos, podría concebirse a priori un límite de 100 mg/kg para el primer llamado de atención sobre una probable existencia de suelos contaminados. No obstante, la certificación de la ocurrencia de un proceso contaminante estará en el conocimiento del contenido de cobre nativo para el área en cuestión, pudiendo éste diferir grandemente.

Los promedios por unidad de la proporción de cobre-EDTA, con respecto a cobre Total, fluctúan entre 23 (XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo) y 59% (Valle Aconcagua), con un promedio nacional cercano al 40% (ver Figura 11.13). Es motivo de inquietud que las máximas proporciones de cobre-EDTA se den en las áreas con máximos contenidos de cobre, como Aconcagua, Mapocho, Cachapoal y Puchuncaví, así como que las mínimas se den en las áreas más pobres en cobre. En el primer caso, es posible que haya suelos con contenidos cúpricos tóxicos para los vegetales en Aconcagua, Mapocho, Cachapoal y Puchuncaví. Según MacNicol y Beckett<sup>18</sup>, MISR-SAC<sup>19</sup>, Kabata-Pendias y Pendias<sup>20</sup>, González<sup>21</sup>, González y Bergqvist<sup>22</sup> e INIA<sup>23</sup>, los efectos tóxicos podrían iniciarse desde 50 mg/kg de cobre-EDTA, dependiendo de la especie y el suelo. En el segundo caso pueden haber suelos deficitarios en cobre en el sur y áreas costeras. De acuerdo a antecedentes de Escocia, país con suelo deficitario en cobre, el límite mínimo de suficiencia (Lmsf) fluctuaría alrededor de los 10 mg/kg de cobre-EDTA<sup>24</sup>.

<sup>17</sup> Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 1984. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 315pp.

Lepp, N.W. 1981. *Copper*. En: Lepp, N. W. (ed.). *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants*. Vol. 1: *Effects of Trace Metals on Plant Function*. Pollution Monitoring Series ASP, New York. 312 pp.

MacLaren, R.G. y D.V. Crawford. 1973. *Studies on Soil. I: The Fractionation of Copper in Soils*. *Journal of Soil Science*, 24:172-181.

Mengel, K. y E.A. Kirby. 1987. *Principles of Plants Nutrition*. Cuarta Edición. International Potash Institute, Berna. 687 pp.

<sup>18</sup> MacNicol, D. y P.H.T. Beckett. 1985. *Critical Tissue Concentration of Potentially Toxic Elements*. *Plant and Soil*, 85:107-129.

<sup>19</sup> MISR-SAC. 1985. *Advisory Soil Analysis and Interpretation*. Macaulay Institute for Soil Research-Scottish Agricultural Colleges, Aberdeen. Bulletin N° 1. 13 pp.

<sup>20</sup> Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 1984. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 315pp.

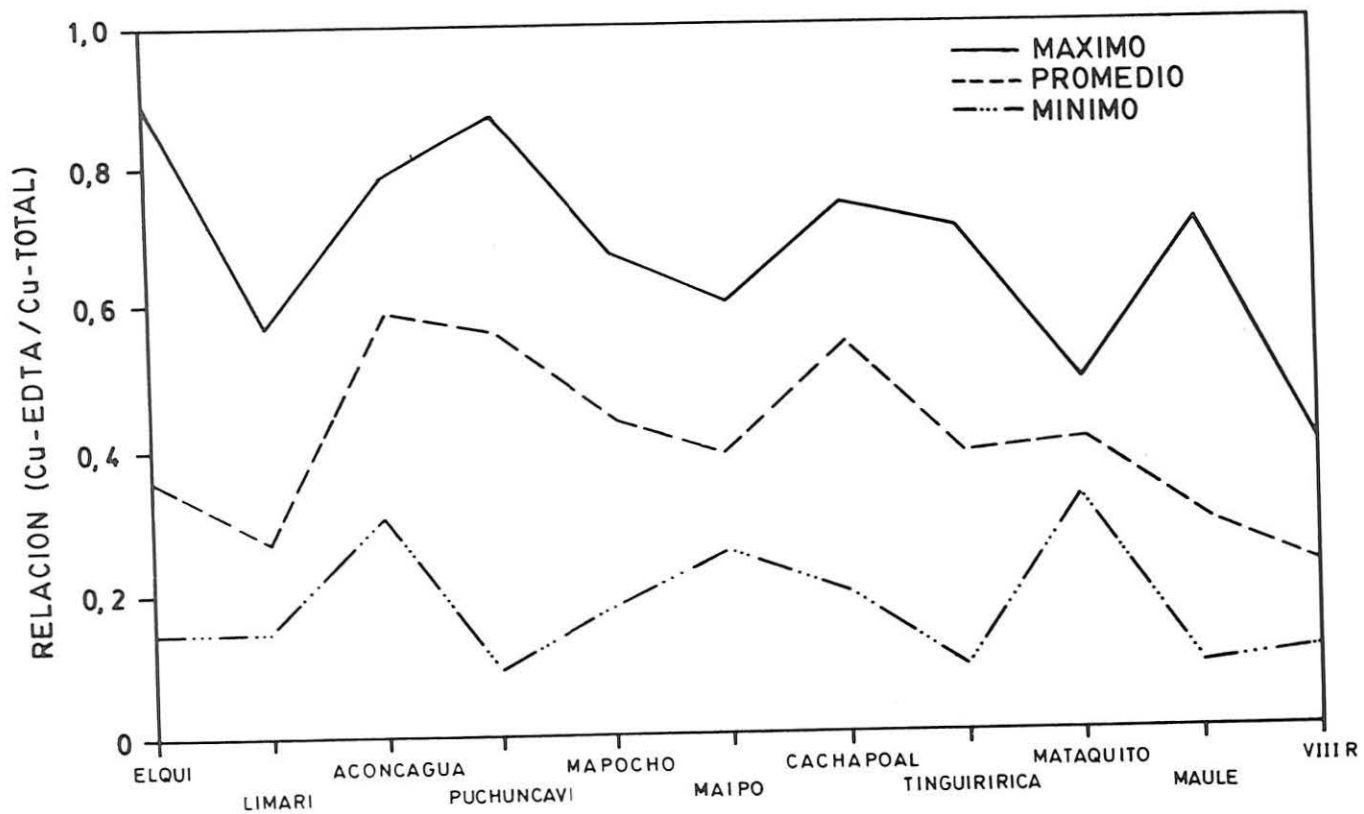
<sup>21</sup> Id. a nota 7.

<sup>22</sup> González, S.P. y E. Bergqvist. 1985. *Suelos Contaminados con Metales Pesados. Efectos sobre el Desarrollo Vegetal*. IV Simposio sobre Contaminación Ambiental, INIA-SEREMI Agricultura R.M. y Intendencia R. M., Santiago. Tomo I:24-26.

<sup>23</sup> Id. a nota 14.

<sup>24</sup> Berrow, M.L. y G.A. Reaves. 1985. *Extractable Copper Concentration in Scottish Soils*. *Journal of Soil Science*, 36:31-43.

Figura 11.13  
Proporción de Cobre-EDTA respecto del Cobre Total



000062

El perfil del cinc total es muy diferente al del cobre, ya que es muy variable tanto entre áreas como dentro de ellas. Las áreas con máximos contenidos de cinc no son las que poseen los máximos de cobre. En todo caso, la coincidencia de bajos contenidos de cinc y cobre en ciertas áreas (IX Región de la Araucanía, X Región de Los Lagos y XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo), y también de altos contenidos en otras (Valle de Aconcagua), sugieren una asociación al menos parcial entre ellos. No se detectó anomalías en los contenidos de cinc, suponiéndose que deberían representar la riqueza geoquímica natural de cada cuenca porque en general se enmarcan en valores considerados naturales<sup>26</sup>.

En relación al plomo, resalta la coincidencia de sus máximos promedios y máximo absoluto con los de cobre en una misma unidad agroecológica: el Valle Aconcagua. Esta coincidencia, sumada al hecho que ambos metales exceden lo que puede estimarse como nativo en suelos, podría evidenciar una asociación entre ellos a nivel de proceso contaminante<sup>26</sup>.

Por otra parte, el perfil de manganeso diferencia a dos zonas: una desde la III Región de Atacama a VIII Región del Biobío, con contenidos promedio entre 700 y 1.100 mg/kg y rangos comparables de variación, y otra desde la IX Región de la Araucanía a XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo, con una mayor riqueza evidenciada por altos máximos regionales. En la IX Región de la Araucanía el promedio se eleva sobre los 2.000 mg/kg, y es posible que los altos valores puntuales tengan relación con las cenizas eruptadas recientemente por el Volcán Lonquimay.

El perfil de cadmio no se compara al de los restantes elementos, quizá por estar en cantidades muy bajas en la corteza terrestre ( $< 1$  mg/kg), lo que dificulta su estudio masivo<sup>27</sup>. Se detectó una asociación con cobre a nivel de emisiones de centros mineros en la V Región de Valparaíso, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins y Región Metropolitana de Santiago. En la V Región de Valparaíso la presencia de cadmio fue detectada sólo en las vecindades de las fundiciones de cobre<sup>28</sup>. La presencia de cadmio

<sup>26</sup> Mengel, K. y E. A. Kirby. 1987. *Principles of Plants Nutrition*. Cuarta edición. International Potash Institute, Berna. 687 pp.

Id. a nota 20.

<sup>27</sup> Davies, B. 1984. *Soil and Plant Analysis for Heavy Metals and the Quality of Our Environment*. European Spectroscopy News, 54:19-22.

Mengel, K. y E.A. Kirby. 1987. *Principles of Plants Nutrition*. Cuarta edición. International Potash Institute, Berna. 687 pp.

<sup>28</sup> Id. a nota 20.

<sup>29</sup> González, S.P., E. Bergqvist y R. Ite. 1984. *Contaminación con Metales Pesados del Area Vecina a una Fundición de Cobre, Catemu, V Región*. Agric. Técnica (Chile), 44:63-68

González, S.P., E. Bergqvist y R. Ite. 1985. *Evidencias de Contaminación con Metales Pesados en Catemu, V Región*. En: IV Simposio sobre Contaminación Ambiental INIA-SEREMI Agricultura R.M.-Intendencia R.M., Santiago. Tomo I:27-30.

González, S.P. y E. Bergqvist. 1986. *Evidencias de Contaminación con Metales Pesados en un Sector del Secano Costero de la V Región*. Agric. Técnica (Chile), 46(3):299-307

sugiere un extraordinario impacto ambiental (incluyendo la salud humana) por ser muy tóxico para los seres vivos, con inducción de daños en vegetales a partir de 1 mg/kg de cadmio disponible<sup>29</sup>, y por ser capaz de biomagnificarse, como ha ocurrido en países como Japón<sup>30</sup>.

### 6.3. III Región de Atacama

El valle del Río Huasco, en su trama entre Freirina y Huasco, ha llegado a ser conocido en el país gracias a las denuncias de daños por la nube de material particulado emitido por una planta de pellets de hierro<sup>31</sup>. Puesto que se trata de partículas con alto contenido de hierro, es difícil que su ingreso en los suelos repercuta significativamente, ya que sus contenidos totales (entre 1,1 y 2,5%) caen dentro de los rangos comunes<sup>32</sup>.

Por pertenecer a una cuenca pobre en cobre, estos suelos tienen contenidos totales relativamente bajos (13 a 53 mg/kg), similares a los de regiones sureñas reconocidamente pobres en metales.

Ya que el contenido de plomo y cinc en los particulados es muy bajo, sus contenidos totales (44 a 140 y 10 a 25 mg/kg respectivamente) en suelos parecen ser los nativos.

### 6.4. IV Región de Coquimbo

Como es sabido, la IV Región de Coquimbo tiene escasa riqueza cúprica, localizada en la alta cuenca del Río Turbio, afluente del Elqui. En esa zona funciona el único centro minero importante de la región, y no sorprende que los suelos de los valles Elqui y Limarí presenten contenidos cúpricos moderados, aunque superiores al del Valle Huasco. Tampoco extraña que el promedio y valor máximo de cobre sean mayores en el Elqui (87 y 160 mg/kg respectivamente) que en el Limarí (65 y 120 mg/kg). Siempre se ha temido que el centro minero aludido sea una fuente contaminante hídrica, de alto impacto negativo en el riego del valle del Elqui. Los antecedentes disponibles indican que sus descargas parecen alterar fuertemente la calidad del agua del río receptor primario, pero la dilución posterior del acuífero es eficiente, y el Río Elqui nace con agua con aptitud de riego no restringida.

Ante la ausencia de otros centros mineros en ambos valles, se supone que los contenidos determinados reflejan la riqueza natural metálica de sus suelos. El mayor rango de variación en los suelos del Elqui evidencia una distribución más heterogénea del cobre, producto quizás de un relleno sedimentario con materiales líticos muy diferentes en su riqueza cúprica, lo que no habría ocurrido en el Valle del Limarí. Respecto a la fitodisponibilidad del cobre, se concluye necesariamente que los suelos de ambos valles

---

<sup>29</sup> Id. a nota 20.

<sup>30</sup> Purves, D. 1975. *Trace-Element Contamination of the Environment*. Fundamental Aspects of Pollution Control and Environmental Science 1. Elsevier, New York. 260 pp.

<sup>31</sup> Id. a nota 15.

<sup>32</sup> Mengel, K. y E.A. Kirby. 1987. *Principles of Plants Nutrition*. Cuarta Edición. International Potash Institute, Berna. 687 pp.

000064

pueden satisfacer adecuadamente las necesidades de cobre de los cultivos, sin generar toxicidad. A nivel de composición de materiales parentales, podría existir alguna relación basal entre cobre, cinc y plomo, puesto que también sus promedios y rangos de variación son mayores en Elqui, en tanto que los valores mínimos se detectan en Limarí. Pese a haber valores puntuales elevados de cinc y plomo en el Valle del Elqui, no fue posible encontrar alguna causa antrópica.

### 6.5. V Región de Valparaíso

En esta región se estudió el valle del Río Aconcagua y parte del secano costero en la Provincia de Valparaíso, comunas de Puchuncaví y Quintero, conocidas simplemente como Puchuncaví. Al inicio del estudio existía una gran inquietud entre los agricultores por una supuesta contaminación del Río Aconcagua, fuente de riego para el valle y parte de la Provincia de Chacabuco (Región Metropolitana de Santiago), con relaves descargados al Río Blanco desde un centro minero en Saladillo, además de las emisiones fumígenas de una fundición de cobre en Chagres. El sector de Puchuncaví fue incluido por recibir desde principios de la década del sesenta emisiones fumígenas de una fundición de cobre y una planta generadora de electricidad en Ventanas.

Lo más relevante en esta región es su fuerte cupricidad, evidenciada por altos valores promedio y sus máximos absolutos: 275 y 1.601 mg/kg y 145 y 1.214 mg/kg, para Aconcagua y Puchuncaví, respectivamente. Esto permite definir una primera asociación con la minería. El que los mínimos alcancen valores considerados naturales, 42 y 15 mg/kg para Aconcagua y Puchuncaví, y que los promedios están desplazados hacia ellos, estaría indicando que los suelos cúpricos no son de ocurrencia generalizada.

Si el Valle Aconcagua se divide en áreas bajo influencia de la fundición (Catemu), otra por relaves por derrumbe de tranque en 1965 (Nogales), y área "no contaminada" del valle, se evidencia que los parámetros de cobre total en esta última son similares a los del Elqui, con rango de variación (42-82 mg/kg) y promedio dentro de niveles "normales" (ver Figura 11.14). Cabe señalar que, a partir de 1981, se ha dado solución al problema de bajada de relaves en el Río Aconcagua.

La alta cupricidad de los suelos de Catemu, producto de las emisiones de la fundición, pareciera estar asociada también a plomo y cadmio, que muestran notorios enriquecimientos en este sector<sup>33</sup>. Paralelamente, el contenido de cinc fue menor que en el resto del valle, lo que indica su no asociación con los otros metales. En el área de Puchuncaví también se detectó una importante acumulación metálica en suelos vecinos a la zona industrial de Ventanas, que disminuye al alejarse de ésta<sup>34</sup>. El sector más alejado muestra valores totales de cobre, plomo, cinc y cadmio propios de zonas hipometálicas, contrastando con la riqueza en metales de la zona vecina a las industrias producto de sus emisiones (ver Figura 11.15).

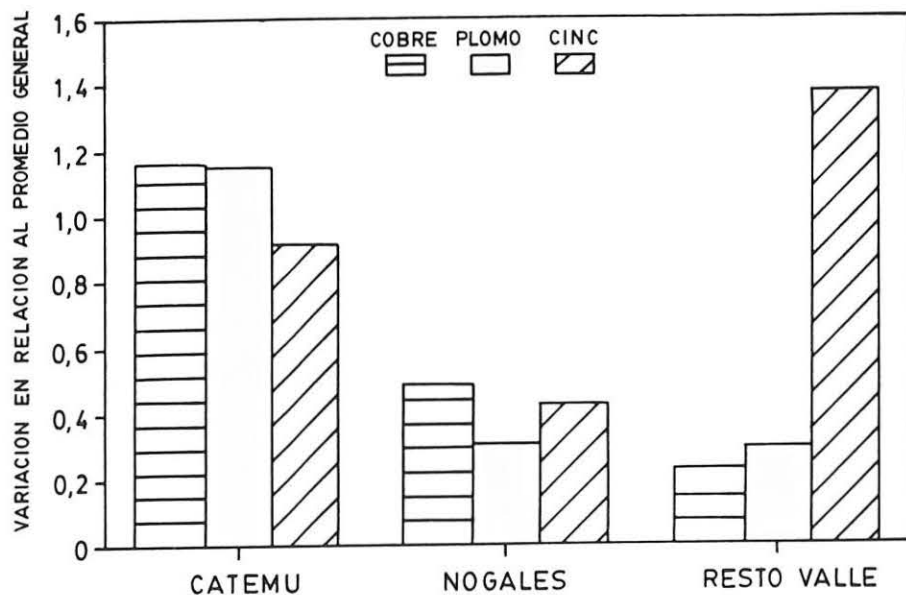
<sup>33</sup> González, S.P., E. Bergqvist y R. Ite. 1984. *Contaminación con Metales Pesados del Área Vecina a una Fundición de Cobre, Catemu, V Región*. Agric. Técnica (Chile), 44:63-68

Id. a nota 22.

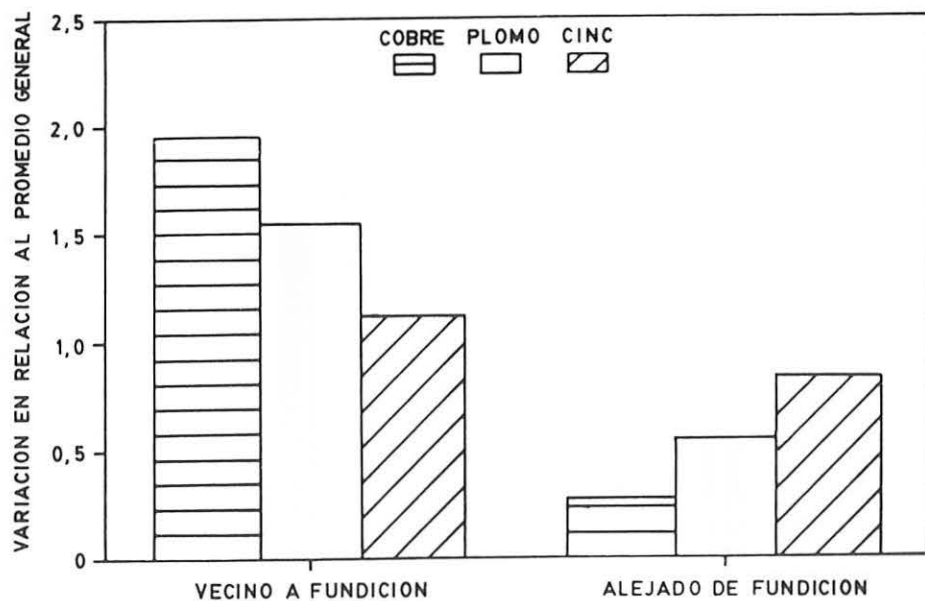
<sup>34</sup> González, S.P. y E. Bergqvist. 1986. *Evidencias de Contaminación con Metales en un Sector del Secano Costero de la V Región*. Agric. Técnica (Chile), 46:299-307.

000065

**Figura 11.14**  
**Variación del Contenido Metálico (R) según Sectores del Valle Aconcagua,**  
**V Región de Valparaíso**



**Figura 11.15**  
**Variación del Contenido Metálico (R) según Sectores del Area de Puchuncaví,**  
**V Región de Valparaíso**



La participación de varios metales en la contaminación ya había sido comprobada por Parada *et al.*<sup>33</sup> al estudiar las anomalías presentadas por un rebaño vacuno en el sector de Valle Alegre. En todo caso, no puede descartarse la posible influencia de una refinería de petróleo en Concón sobre parte de los contenidos de plomo en los suelos de la zona.

De acuerdo a la Figura 11.13, la fracción de cobre-EDTA en la región es claramente mayor que en las otras unidades, con un promedio entre 55 y 60% del total y máximos sobre 80%. Consecuentemente, el umbral crítico supuesto de toxicidad de cobre es claramente excedido en los suelos con contenidos total de cobre de 180 mg/kg.

#### 6.6. Región Metropolitana de Santiago

La Región Metropolitana de Santiago está constituida por dos cuencas mayores, las de los ríos Maipo y Mapocho. En general, la cuenca del Maipo posee una escasa riqueza minera, fundamentalmente plomo y cinc en la subcuenca del Río El Volcán. Gracias a una eficiente dilución por el acuífero, el Río Maipo se muestra netamente oligometálico. La cuenca del Mapocho está conformada por dos cuencas menores: del Río San Francisco, rico en cobre y con algo de cinc, y del Río Molina, oligometálico. En este caso por la dilución insuficiente el Río Mapocho nace con una alta carga de cobre. Las descargas al Río San Francisco desde un centro minero incrementan esta condición cúprica natural<sup>34</sup>.

Como muestra la Figura 11.16, que presenta la distribución del cobre total, en el Mapocho los suelos cúpricos están restringidos a la zona terminal del valle (área hortícola de Pudahuel-Maipú) y a la llanura colindante con los cerros del Cordón Lo Prado. Al parecer, esta cupricidad obedece a un proceso de quimiogénesis natural, por disolución de cobre de yacimientos cordilleranos, transporte por aguas hacia zonas inferiores, y su precipitación en sectores inferiores. Esta hipótesis parece avalada por la existencia de yacimientos cupríferos en estos sectores, aunque no se descarta la posibilidad de que se trate de yacimientos *in situ*.

En el Valle del Maipo, la única situación anormal en contenido metálico del horizonte A, se da en el área de influencia de la zona industrial de Nos, Comuna de San Bernardo. El cobre ha llegado a 700 mg/kg a 300 m al norte, bajando a 24 mg/kg a 1.500 m al norte de las industrias. Existe una relación con cinc y plomo, que muestran ligeros aumentos en esta zona.

---

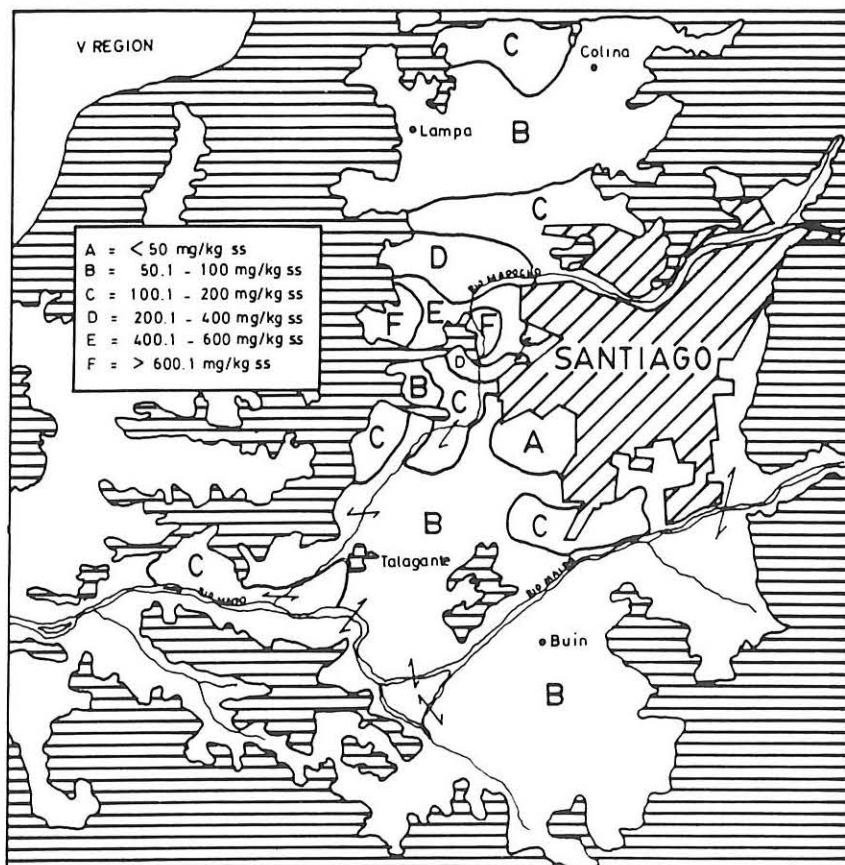
<sup>33</sup> Parada, R., S.P. González y E. Bergqvist. 1987. *Industrial Pollution with Copper and Other Heavy Metals in a Beef Cattle Ranch*. Vet. Human Toxic., 29:122-126.

<sup>34</sup> González, S.P. 1991. *Elementos Traza en Recursos Agrícolas de Chile*. 2. Aguas de los ríos Maipo y Mapocho, Región Metropolitana. Agric. Técn. (Chile), 51:22-29.



000067

**Figura 11.16**  
**Curvas Isocuánticas de Cobre Total en Suelos de la Región Metropolitana de Santiago**



Como es sabido, el valle está bajo la influencia de las emisiones atmosféricas de múltiples industrias. La primera señal de alarma correspondió a animales bovinos intoxicados por alimentarse con pasto conteniendo particulado industrial, tipificado por Parada<sup>37</sup> como producto de una ingesta excesiva de molibdeno, existente en las partículas industriales.

En los suelos cúpricos del Mapocho, el cobre-EDTA podría exceder el umbral crítico teórico de 100 mg/kg. Sin embargo, en ensayos de invernadero estos suelos están demostrando poseer una fuerte afinidad por el cobre, y su toxicidad está fuertemente atenuada, tal como evidencia la no detección de efectos en vegetales<sup>38</sup>. Los contenidos totales de plomo y cinc en estos suelos son muy altos por razones naturales y por el aporte de aguas servidas, y se presume una asociación con el cobre que se extiende también al cadmio. Los valores cuantificados parecen reflejar adecuadamente la riqueza metálica nativa.

<sup>37</sup> Parada, R. 1981. *Molibdenosis Industrial en Bovinos*. En: II Simposio de Contaminación Ambiental. INIA-Intendencia R.M., Santiago. Anales: 37.

<sup>38</sup> Id. a nota 15.

000068

## 6.7. VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins

La VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins posee una estructura geomorfológica similar a la Metropolitana de Santiago, conformada por dos cuencas: la del Río Tinguiririca, marcadamente oligometálica, y la del Cachapoal, equivalente a dos cuencas menores, una oligometálica (Río Pangal) y otra fuertemente cúprica (Río Coya y afluentes)<sup>39</sup>. Así como la subcuenca del San Francisco proporciona todo el cobre metropolitano, la del Río Coya hace lo mismo en esta región. En los suelos del Valle Tinguiririca se detectaron contenidos totales de cobre relativamente bajos, con pocos valores sobre 100 mg/kg, mientras en el Valle del Cachapoal los suelos pueden ser clasificados como cúpricos. Este hecho ya era conocido para un sector vecino a Requinoa por un estudio de Sudzuki<sup>40</sup>, quien estimó su origen en el riego con aguas contaminadas por descargas desde un importante centro minero en la cuenca del Río Coya. Sin embargo, la prospección del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias reveló una mayor cobertura de los suelos cúpricos. Estos suelos se ubican sobre ambas riberas del Río Cachapoal (ver Figura 11.17) distribuidos irregularmente, lo que induce a pensar en un origen natural por herencia de la carga cúprica de los sedimentos parentales. Sin embargo, el aporte por las aguas de riego está induciendo un proceso poco perceptible de acumulación de cobre en los suelos. Al igual que en otras regiones, se detectó la existencia de suelos con valores de cobre-EDTA mucho más altos que el límite crítico de 100 mg/kg. Su impacto debe ser mayor en esta región por un menor poder tampón de los suelos debido a una menor alcalinidad. De hecho, existen registros de anomalías en el desarrollo de algunos cultivos en sectores del Valle Cachapoal, e incluso en cultivos industriales como la remolacha azucarera<sup>41</sup>, el tabaco<sup>42</sup> y la maravilla. En ninguno de los valles de la región se logró asociar los contenidos de cobre con otros metales, los que reflejaría la riqueza nativa de estos suelos.

Una situación preocupante en un sector del secano costero de la región han creado las descargas de aguas mansas de un tranque de relaves, en funciones desde 1986 en Loncha. Existen altos índices de molibdeno disuelto (5-10 mg/l) y sulfatos en aguas que podrían usarse en riego o alimentar el lago Rapel. A pesar de los beneficios inmediatos y directos del riego con estas aguas en una zona de secano con suelos pobres en metales, el riesgo ambiental es grande, ya que el molibdeno tiene alto potencial tóxico<sup>43</sup>, y, por tanto, su aporte antrópico debe estar estrictamente regulado.

---

<sup>39</sup> Id. a nota 15.

<sup>40</sup> Sudzuki, F. 1964. *Relaves de Cobre y Aguas de Riego del Río Cachapoal*. Agric. Técnica (Chile), 23-24:1562.

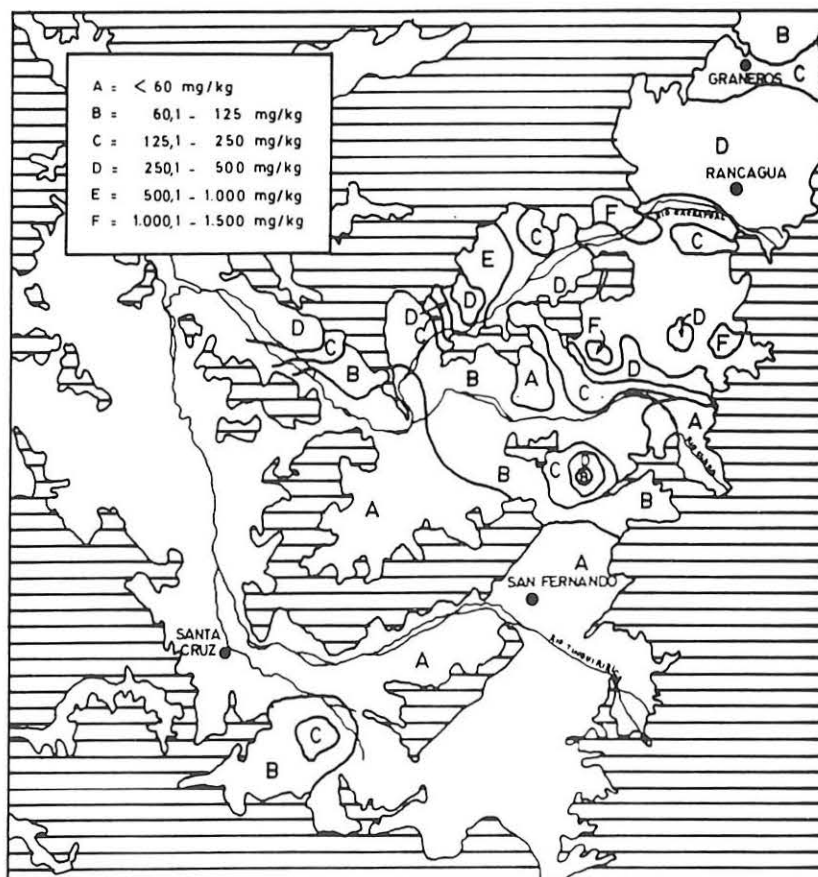
<sup>41</sup> Comunicación personal con J. Arentsen, IANSA S.A. 1988.

<sup>42</sup> Rodríguez J. y D. Suárez. 1987. *Diagnóstico de la Toxicidad de Cobre en Plantaciones de Tabaco*. En: V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo (Valpo., 26-28/10). Anales Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Valparaíso: 164-169..

<sup>43</sup> Id. a notas 15 y 20.

**Figura 11.17**  
**Curvas Isocuánticas de Cobre Total en Suelos de la**  
**VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins**

000069



### 6.8. VII Región del Maule

Debido a la inexistencia de una actividad minera e industrial de relevancia, debe asumirse que la caracterización del Horizonte A, en valles de la VII Región del Maule permite determinar la riqueza metálica nativa de los suelos. Con excepción del cobre, cuyo promedio regional y por valle es claramente inferior a los de otras regiones, los restantes elementos mantienen niveles similares. Llama la atención la existencia de suelos con alta carga de cinc probablemente de origen natural.

Con relación a la disponibilidad de cobre para las plantas, es factible encontrar suelos con contenidos menores a 10 mg/kg, lo que sugiere la ocurrencia de episodios de deficiencia de cobre en la fase de crecimiento activo de algunos cultivos, situación sobre la que no hay casos documentados.

000070

### 6.9. VIII Región del Biobío

Los contenidos totales de metales en los suelos de esta región son bajos, situación lógica por el clima y la riqueza mineral de los materiales parentales. Puesto que no existe una actividad minera que pueda influir sobre la calidad de los suelos de las áreas de inundación de los ríos Laja y Biobío, estos contenidos se consideran nativos. Hubo una intensificación en los contenidos de cinc, y en menor grado de plomo, y se observó un incremento en los contenidos totales de molibdeno, que se acentúa hacia el sur. El cadmio y molibdeno se mantuvieron bajo sus respectivos lmd.

Dado los menores contenidos totales de cobre en los suelos, es muy probable que su disponibilidad (y la de otros microelementos) para las plantas sea insuficiente, transformándose en una limitante adicional del rendimiento de los cultivos.

### 6.10. IX Región de la Araucanía, X Región de Los Lagos y XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo

Dada la inexistencia de actividades productivas de envergadura, los suelos de estas regiones no debieran reflejar alteraciones por contaminación química, con excepción de los centros de extracción de plomo y cinc cerca de los lagos Pedro Aguirre Cerda y General Carrera en la XI Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo.

El manganeso presenta en estas regiones los máximos valores nacionales, mientras los restantes elementos (cobre, cinc, plomo) presentan los mínimos. En este caso sigue siendo válido lo expresado para la VII Región del Maule y VIII Región del Biobío, respecto a una insuficiente disponibilidad de microelementos para los cultivos. El éxito de algunos cultivos en la VIII Región del Biobío, como la remolacha azucarera, está condicionado a un programa de fertilización que incluya microelementos como el cinc.

### 6.11. Conclusiones

En Chile, el elemento más importante en términos de contaminación del suelo es el cobre, presente en algunos sectores en niveles muy elevados, significativamente por encima de los valores naturales basales definidos por la literatura internacional y por la prospección a nivel de unidades agroecológicas. En ciertas zonas esta abundancia se debe a las actividades relacionadas con la minería, y en otras parece ser la resultante conjunta de procesos naturales de mineralización cúprica y de contaminación por las actividades mineras.

La tendencia de las inversiones extranjeras en Chile indica que la minería metálica en general, y la del cobre en particular, expandirán fuertemente sus actividades en un futuro cercano, con lo que el riesgo de extensión y agudización de los casos de conflicto minero-agrícola se verá incrementado si la minería mantiene su tradicional desaprensión por materias de sanidad ambiental.

Es cada vez más evidente que se requiere con urgencia, generar estándares de calidad de agua, aire y suelos, adecuados a las diversas realidades ambientales nacionales, que permitan armonizar los intereses de la minería con la agricultura. Obviamente, estos estándares deben provenir de la investigación que se realice en el país, y deben constituir los

umbrales de discriminación entre riesgo aceptable e inaceptable, entre daño y no daño. Además, en forma de normas de calidad ambiental, deben formar parte de un grupo de disposiciones legales que definan y organicen el sistema global de gestión ambiental. Afortunadamente, la minería grande y mediana (no así la pequeña) están dando señales de integrar efectivamente la dimensión ambiental en su quehacer, reconociendo y superando su condición de actividad fuertemente contaminante, con el objeto de lograr su integración armónica a las unidades ambientales locales.

No obstante la aprensión sobre la validez de los resultados aportados, es necesario destacar que hay empresas mineras dispuestas a invertir fondos en materias de carácter ambiental, sin productividad directa, como ocurre con las aguas mansas del tranque de relaves Carén, o los materiales particulados férricos circulantes en el valle del Huasco, III Región de Atacama.

Finalmente, cabe expresar que estudios como el informado son incipientes en el país, y no puede considerarse que el diagnóstico de la contaminación en suelos por causas mineras o de otra índole esté terminado. Por el contrario, el conocimiento alcanzado debe considerarse como preliminar.