

EVIDENCIAS DE CONTAMINACION CON METALES PESADOS EN UN SECTOR DEL SECANO COSTERO DE LA V REGION¹

Heavy metal pollution in an area of the coastal dryland of the V Region

Sergio González M.² y Enrique Bergqvist A.²

SUMMARY

A research to determine heavy metal content and their spatial distribution patterns in soils and adult leaves from eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Lab.), within the Quintero and Puchuncaví Municipalities (Valparaíso Province, V Region), was conducted from March '83 to December '84.

Determined as 0.05M EDTA extractable, abnormal high concentrations of Cu, Pb, Zn and Cd in the top soil samples (0–20 cm) were detected. Data obtained from eucalyptus leaves were quite close to those from soils, both in type and relative proportion of heavy metals, as well as in their distribution patterns; this association was particularly evident for Cu, the most abundant heavy metal in the area.

This environmental pollution with heavy metals, apparently comes from the emissions of particulate matter from the industrial zone of Ventanas; the main source should be a copper smelter, present in the locality.

INTRODUCCION

Desde hace un par de décadas, existe preocupación por la sanidad ambiental de un sector del secano costero de la V Región, que incluye las localidades de Valle Alegre, Los Maitenes, Puchuncaví, Pucalán y Maitencillo, entre otras, y que queda comprendido mayoritariamente en las comunas Quintero y Puchuncaví, Provincia de Valparaíso.

Las evidencias de deterioro ambiental parecen corresponder a problemas derivados de una corrosión anormalmente acelerada de estructuras metálicas, desaparición de explotaciones ganaderas, fundamentalmente ovinas, y caída de la producción agrícola hasta en un 85% (Cornejo, López y Romano, 1983).

No es posible invocar alguna causa natural, ya que el problema se encuentra restringido a una área geográfica limitada y con una génesis temporal definida.

Considerando su relación con la aparición de evidencias de pérdida de sanidad ambiental, se ha estimado como origen degradante, a las emisiones de anhídrido sulfuroso (SO₂) desde chimeneas industriales instaladas en Ventanas.

Ello generaría un proceso de "lluvia ácida" en la área de influencia de las emisiones industriales. Esta inferencia empírica ha recibido algún apoyo, luego de un estudio preliminar sobre la acidez de las aguas lluvias (Villaseca, 1983); por lo demás, la sensación de atmósfera fuertemente irritante, en sectores vecinos a las industrias, no deja duda sobre las emisiones de este gas.

Otro estudio, desarrollado por Cornejo y otros (1983), además de refrendar el origen industrial de la contaminación existente en la área, puso de manifiesto la concurrencia de otros agentes contaminantes: los metales pesados, presentes en el particulado emitido a través de las plumas de las chimeneas y que acompañan a las emisiones gaseosas. Finalmente, establece que, dada la dominancia de los vientos, los sectores mayormente afectados serían los ubicados al noreste del complejo industrial.

Ello significaría la existencia de cantidades anormalmente elevadas de metales pesados en los recursos am-

¹ Recepción de originales: 3 de julio de 1985.

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

bientales, básicamente suelos y vegetales (González, Bergqvist e Ite, 1983); este tipo de contaminación ha sido descrita en otras latitudes (Cartwright, Merry y Tiller, 1976; Colbourn y Thornton, 1978) y se caracteriza por la presencia, en el ambiente y manteniendo sus proporciones relativas, de los mismos elementos existentes en las materias primas industriales. Por ello, también se ha llamado "Contaminación elemental" (Mac Nicol y Beckett, 1985).

Con el fin de obtener mayores antecedentes, se efectuó un estudio prospectivo en la área de Puchuncaví, tendiente a:

- determinar el contenido de Cd, Cu, Mo, Pb y Zn, extraíble con EDTA 0,05M en suelos y total en vegetales, y
- determinar probables gradientes de concentración excesiva de estos elementos en suelos y vegetales.

MATERIALES Y METODOS

Definición de lugares de toma de muestras: En febrero de 1983, se efectuó una visita al área probablemente influenciada por las emisiones industriales de Ventanas; luego de un recorrido exhaustivo, se seleccionó 25 sitios, tratando con ello de cubrir toda la zona bajo estudio. Sus ubicaciones se presentan en la Figura 1 y el Cuadro 1.

Toma de muestras: En marzo de 1983, se efectuó un primer muestreo de suelos y vegetación en los sitios 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 20 y 25. Este consideró la obtención de muestras de suelos superficiales (0–20 cm) y hojas adultas de eucalipto; se escogió esta especie vegetal por:

- ser la única presente en todos los sitios seleccionados y
- por su condición de hojas perennes, que permitiría la obtención de una resultante actualizada de cualquier proceso contaminante activo en la área.

En enero de 1984, se obtuvo muestras superficiales de suelos (0–20 cm) en los otros puntos del área estudiada (1, 2, 4, 5, 6, 8, 14, 15, 19, 21, 22, 23 y 24); su objetivo fue tener un mayor detalle en relación a la distribución espacial de metales pesados.

Análisis de suelos: Las muestras fueron secadas al aire, molidas manualmente y tamizadas bajo 2 mm. Se determinó la fracción de metales pesados "disponibles para las plantas", mediante extracción con EDTA 0,05M, siguiendo la técnica descrita por Rojas y Castro (1983), modificada en cuanto al tiempo de agita-

ción, que fue de 30 min cada vez; el contenido metálico en el extracto fue determinado vía absorción atómica de llama, en un equipo Pye—Unicam SP—2900.

Análisis de vegetales: Cada muestra fue separada en dos porciones. En una de ellas, se determinó el contenido total de metales y, en la otra, el contenido remanente, luego de la remoción de los polvos depositados sobre las láminas foliares. Este último valor indicaría la fracción metálica absorbida o "interna".

Para ello, la segunda porción fue lavada secuencialmente con HCl 0,01N, agua bidestilada, EDTA 0,05M y agua bidestilada. Luego, ambas porciones fueron secadas en estufa a 60° C durante 24 hr, molidas mecánicamente y tamizadas bajo 2 mm.

El material vegetal fue calcinado en mufla a 300° C y digerido en HCl concentrado; la concentración de metales pesados en el extracto ácido fue determinada por absorción atómica de llama, usando un equipo Pye—Unicam SP—2900.

RESULTADOS Y DISCUSION

Suelos: Desde el punto de vista pedológico, coexisten dos tipos de suelos en la área, procedentes de distintos materiales generadores y, por consiguiente, con distinta dinámica y propiedades (Chile—CNR, 1984).

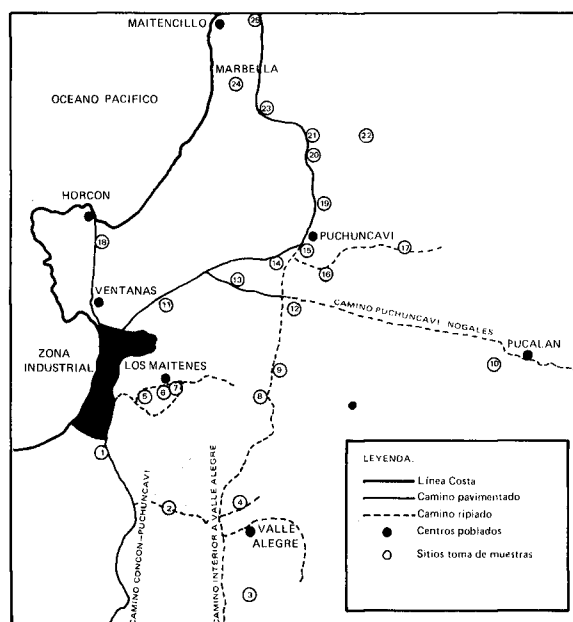


FIGURA 1. Ubicación sitios de toma de muestras de suelos y vegetales en área de Puchuncaví, V Región.

FIGURE 1. Location of sampling sites of Puchuncaví area, V Region.

CUADRO 1. Ubicación geográfica y distancia con respecto de zona industrial de Ventanas de lugares de toma de muestras**TABLE 1. Geographical location and distance of sampling sites from the industrial area of Ventanas**

Nº	Sitio de Muestreo Nombre Lugar	Ubicación¹	Distancia¹ (km)	Posición Fisiográfica	Exposición	Muestras tomadas
1	ENAP	S	3,0	Dunas, lomajes bajos	Abierto hacia zona industrial	Suelos
2	Valle Alegre A	SSE	5,5	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos
3	Valle Alegre C	SSE-SE	9,2	Lomajes altos	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
4	Valle Alegre B	SE	6,8	Lomajes altos	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
5	Los Maitenes A	E	1,6	Dunas, lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos
6	Los Maitenes B	E	2,2	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos
7	Los Maitenes C	E	2,5	Lomajes medios	Protegido de zona industrial	Suelos y Hojas
8	Las Melosillas A	E	5,5	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos
9	Las Melosillas B	E	6,1	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
10	Pucalán	E	13,5	Llanura	Encerrado entre lomajes	Suelos y Hojas
11	Campiche	NE	3,2	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
12	Cerro La Cruz	E-NEE	6,8	Lomajes altos	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
13	Alto Puchuncaví	NE	5,5	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
14	Puchuncaví B	NE	7,4	Llanura	Encerrado entre lomajes	Suelos
15	Puchuncaví C	NE	8,2	Llanura	Encerrado entre lomajes	Suelos
16	Puchuncaví A	NE	8,6	Llanura	Protección de zona industrial	Suelos y Hojas
17	El Rincón	NE	11,7	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
18	Horcón	N	4,9	Dunas, lomajes bajos	Protegido de zona industrial	Suelos y Hojas
19	El Rungal	NE	9,8	Lomajes bajos	Abierto hacia zona industrial	Suelos
20	Rungue	NNE	11,0	Lomajes bajos	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas
21	El Rungue A	NNE	11,7	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos
22	Potrerosillos	N NE-NE	12,9	Lomajes altos	Abierto hacia zona industrial	Suelos
23	El Rungue B	NNE	11,0	Lomajes medios	Abierto hacia zona industrial	Suelos
24	Marbella	NNE	11,7	Dunas, lomajes medios	Protegido de zona industrial	Suelos
25	Maitencillo	NNE	14,1	Llanura	Abierto hacia zona industrial	Suelos y Hojas

¹ Ubicación y distancia, considerados en línea recta desde zona industrial de Ventanas.

Un tipo está representado por suelos derivados de terrazas marinas, con predominancia de materiales medios; el otro corresponde a suelos generados de dunas, predominantemente arenosos, con incipiente desarrollo genético. Ambos tienen bajos índices de fertilidad, ya que son esencialmente muy pobres en nutrientes, macro y micro; por ello, se consideró que la discriminación de suelos, según su origen, no presentaba ventajas en este sentido prospectivo.

Referente al contenido de metales pesados extraíbles con EDTA (Cuadro 2), probablemente como "fracción disponible para las plantas" (Rojas y Castro, 1983), se observa claramente que los contenidos normales y naturales de metales pesados, definiendo como tales a los contenidos metálicos de un suelo comparable y procedente de un lugar no afectado por procesos químicos de degradación ambiental (testigo), se encuentran excedidos prácticamente en toda la área estudiada.

La aseveración anterior continúa siendo igualmente válida, si se considera un margen de seguridad equivalente al doble del contenido de metales pesados de la muestra testigo e, incluso, si se utiliza el contenido de metales pesados en suelos del Valle Aconcagua, los que presentan naturalmente una mayor riqueza de bases (Proyecto Contaminación en el Valle Aconcagua; Unidad Experimental 094-007-PA. Resultados en publicación). De todos los elementos estudiados, sólo el Mo no evidenció exceso.

Es evidente que el Cu fue el que presentó los mayores excesos, llegando hasta casi un 9.000% en la muestra 5, tomada en las cercanías de la zona industrial; por tanto, este elemento debe ser considerado como el de mayor validez de diagnóstico.

Junto a éste, se detectó excesos importantes de Pb y Zn, y en menor proporción, de Cd. Los aumentos en Cd son considerados separadamente ya que, al traba-

CUADRO 2. Contenido¹ de metales pesados, extraíbles con EDTA 0,05M, en muestras de suelos (0–20 cm) de la área de Puchuncaví, y su variación porcentual con respecto a una muestra testigo

TABLE 2. EDTA-extractable heavy metal content in soil samples (0–20 cm) from the Puchuncaví area, and their variation (%/o) from a test sample

Sitio de Muestreo		Cadmio		Cobre		Plomo		Cinc	
Nº	Nombre	ppm	%/o	ppm	%/o	ppm	%/o	ppm	%/o
AL OESTE DE VENTANAS									
s/n	Testigo (Quintero)	<LMD ²	–	9,5	–	3,7	–	4,4	–
AL SUR DE VENTANAS									
1	ENAP	0,3	500	265,8	2.698	32,7	739	21,4	386
2	Valle Alegre A	<LMD	0	28,6	201	4,7	27	5,1	16
3	Valle Alegre C	<LMD	0	7,8	–18	1,8	–61	2,9	–34
AL ESTE DE VENTANAS									
5	Los Maitenes A	2,0	3.900	828,7	8.623	116,3	3.043	41,8	850
6	Loa Maitenes B	0,8	900	198,5	1.989	18,6	403	14,0	218
7	Los Maitenes C	0,2	300	58,7	518	24,8	651	8,5	93
12	Cerro La Cruz	<LMD	0	28,5	200	5,2	40	3,4	–23
10	Pucalán	0,1	100	31,3	229	38,5	940	4,6	4
AL NORTE DE VENTANAS									
11	Campiche	<LMD	0	137,4	1.346	54,2	1.365	17,4	295
13	Alto Puchuncaví	<LMD	0	99,4	946	35,6	862	10,6	141
15	Puchuncaví C	0,01	100	67,5	610	21,9	492	17,0	286
17	El Rincón	<LMD	0	44,9	373	46,8	1.165	26,1	493
20	Rungue	<LMD	0	125,0	1.216	45,4	1.127	28,0	536
22	Potrerrillos	<LMD	0	21,8	126	3,7	0	4,3	–2
18	Horcón	<LMD	0	8,7	–8	9,0	143	2,8	–36
25	Maitencillo	<LMD	0	41,5	337	30,4	722	11,0	150

¹ ppm = mg metal/kg suelo.

² Límite mínimo de detección = 0,05 mg Cd/kg suelo; valor considerado para cálculo de porcentajes, en casos de contenidos menores.

jarse con contenidos naturales muy bajos, donde cualquier incremento se traduce en un porcentual significativo, se podrían extraer conclusiones equívocas.

Usando la concentración de Cu como cota para la construcción de un plano de curvas a nivel, se obtuvo el mapa de distribución que presenta la Figura 2. Esta se caracteriza por la centralización de los excesos máximos (> 500 mg Cu/kg suelo) hacia sectores aledaños a la zona industrial; paralelamente, esta situación tiende a desaparecer hacia los límites externos de la área estudiada.

Estas características—anormalidad en los contenidos metálicos en suelos, especialmente de Cu, y su modelo de distribución espacial—apuntan a definir la existencia de un proceso de contaminación ambiental, el que sería generado desde una fuente estacionaria, situada hacia los sitios de máxima concentración de metales pesados; la fuente sería una industria en Ventanas, que se ocupa justamente del procesamiento de Cu. Esta conclusión ya había sido obtenida (Cornejo y otros, 1983).

La mayor incidencia del exceso de Cu en la dirección NE, representaría el sentido de la dominancia de los vientos en la zona, lo que también concuerda con el estudio recién citado. Asimismo, el origen estimado

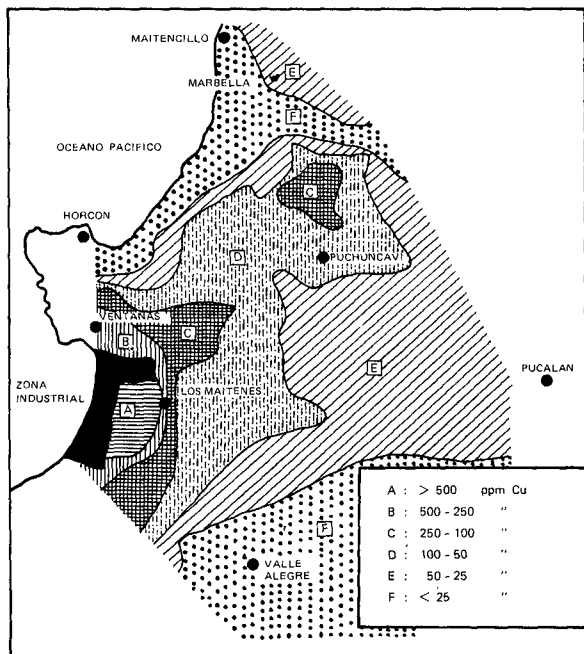


FIGURA 2. Distribución del contenido de cobre (extraíble con EDTA) en la capa superficial de suelos procedentes del área Puchuncaví, V Región.

FIGURE 2. Distribution of EDTA extractable copper content in top soil samples from Puchuncaví area, V Región.

permite justificar la concurrencia de los otros metales pesados, dada su asociación en los yacimientos cupríferos.

No obstante ciertas diferencias en la distribución del Pb, Zn y Cd, con respecto a la del Cu, probablemente adjudicables a una mayor variabilidad de los contenidos naturales, especialmente del Pb y Zn (Proyecto Contaminación en el Valle Aconcagua; Unidad Experimental 094—007—PA. Resultados en publicación), y a la menor concurrencia de los tres elementos en el proceso contaminante, es sugerente que en todos ellos sea constante la centralización de las acumulaciones máximas hacia la zona industrial.

Cabe mencionar que los coeficientes de determinación (R^2) entre los contenidos edáficos de Cu y Pb, y Cu y Zn, fueron 0,66 y 0,61, respectivamente, lo que otorga un apoyo estadístico razonable y objetivo a la hipótesis de una génesis única.

Vegetales: Para este estudio, el análisis de material vegetal perenne, en este caso hojas de eucalipto, era interesante, puesto que permitiría contar con otra evidencia sobre la riqueza excepcional de elementos metálicos en el ambiente y su distribución espacial, además de una inferencia acerca de la vía de ingreso al área.

Existe una gran similitud entre las muestras de suelos y de hojas (Cuadro 3), ya que ambas presentan contenidos anormalmente elevados de los mismos metales pesados; ello es más notorio en aquellas muestras con

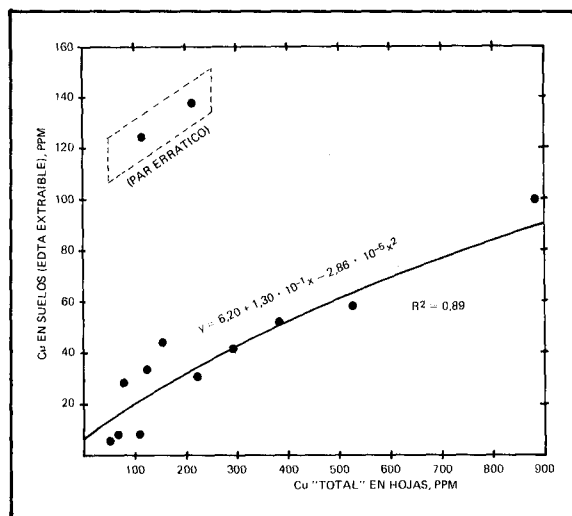


FIGURA 3. Relación entre el contenido total de Cu en hojas de eucalipto y el extraíble con EDTA 0,05M desde la capa superficial de suelos.

FIGURE 3. Relation between total Cu content in eucalyptus leaves and 0,05M EDTA—extractable Cu in topsoil samples.

CUADRO 3. Contenido¹ de metales pesados en hojas adultas de eucalipto, recolectadas en marzo 19 de 1983, en el sector de Puchuncaví

TABLE 3. Total heavy metal content in adult leaves of eucalyptus, collected in march 1983, in the Puchuncaví area

Sitio de Muestreo		Metales Pesados Totales (mg/kg m.s.)				
Nº	Nombre	Cd	Cu	Mo	Pb	Zn
s/n	Referencia ²	< LMD ³	67,5	< LMD ³	2,0	20,0
4	Valle Alegre B	1,5	87,1	0,7	7,2	55,9
7	Los Maitenes C	0,6	526,7	3,0	7,1	50,5
9	Las Melosillas B	< LMD	375,6	4,7	7,1	90,3
10	Pucalán	0,5	209,1	< LMD	1,7	38,2
11	Campiche B	1,0	204,9	1,5	4,0	45,2
13	Alto Puchuncaví B	1,5	856,4	8,5	5,3	111,0
16	Puchuncaví A	0,2	122,9	1,3	5,3	35,6
17	El Rincón	0,6	153,8	0,7	2,7	30,6
18	Horcón	0,4	69,3	0,3	5,3	36,8
20	Rungue	0,2	103,7	< LMD	0,4	47,2
25	Maitencillo	0,7	283,5	0,3	7,2	82,4
3	Valle Alegre C	0,1	109,0	< LMD	4,4	21,9

¹ Sin lavado previo. ² E.E. La Platina—Santiago. ³ Límites mínimos de detección: 0,05 mg, Cd/kg m.s.; 0,2 mg Mo/kg m.s.

concentraciones máximas. Además, el elemento más excedido en las hojas es, igualmente, el Cu.

Un análisis entre el contenido de Cu en suelos y el total en hojas (Figura 3), demuestra que, con la sola excepción de dos pares de datos, existió una estrecha relación entre ambas variables, siendo razonable concluir que ambos procesos emergen de una causa común. Esto se ve reforzado estadísticamente, ya que el coeficiente de determinación (R^2) subió de 0,40 a 0,89, al eliminar el par de datos erráticos (puntos 11 y 20).

Aun cuando se hubiera obtenido una asociación estadística menor, ello no habría descalificado necesariamente la hipótesis del origen común, ya que, por incluir los polvos depositados externamente, el contenido foliar está sujeto a grandes fluctuaciones por razones de edad del material y por condiciones ambientales, como vientos y/o lluvias; ello no sucede en los suelos, que tienden a reflejar tendencias del largo plazo.

El exceso de Cu en el tejido vegetal se debe, básicamente, a partículas depositadas sobre la masa foliar, siendo concordante con la hipótesis de un origen industrial. Tal como se desprende del Cuadro 4, el proceso de lavado de las hojas produce una disminución significativa en el contenido de Cu, con remociones de hasta 74% del contenido inicial.

Sin embargo, la eficiencia de la remoción de Cu, medida en términos de remanencia en los tejidos, disminuyó proporcionalmente al contenido total de Cu

(Cuadro 4); ello sugeriría un aumento en el contenido de absorción a medida del mayor aporte del elemento a través de elementos particulados. El coeficiente de regresión (R^2) entre Cu total e interno fue 0,95 ($y = 19,64 + 0,39x + 1,50 \cdot 10^{-4}x^2$).

Esta situación es engañosa. Al parecer, el contenido absorbido (remanente) no está alterado significativamente, con respecto al de normalidad, ya que en numerosas muestras, especialmente en aquellas más contaminadas, se detectó la existencia de concreciones cúpricas sobre la masa foliar, que no fueron removidas por el lavado; por tanto, se trataría de una ineficiencia en la remoción del cobre externo antes que a una absorción adicional del elemento.

CONCLUSIONES

- Se detectó una riqueza excesiva de algunos metales pesados en suelos y hojas de eucalipto, dentro de una área del secano costero de la V Región, que incluyó las localidades de Valle Alegre, Puchuncaví, Los Maitenes, Pucalán, Ventanas, Horcón y Maitencillo.
- El elemento más abundante fue el Cu, asociado a excesos menores de Pb y Zn; también, se detectó exceso de Cd pero no de Mo.
- La distribución espacial de los elementos en exceso en los suelos se caracterizó por presentar los contenidos máximos hacia la zona industrial de Ventanas y una disminución hacia los límites externos de la área estudiada.

CUADRO 4. Contenidos absolutos (mg/kg m.s.) y relativos de Cu en hojas adultas de eucalipto, procedentes del área de Puchuncaví**TABLE 4. Absolute (mg/kg dry matter) and relative contents of Cu in adults leaves of eucalyptus, collected in the Puchuncaví area**

Sitio de Muestreo		Contenidos absolutos		Contenidos relativos		
Nº	Nombre	Total	interno ¹	A ²	B ³	C ⁴
REFERENCIA, FUERA DE LA AREA DEL ESTUDIO						
s/n	E.E. La Platina (Stgo)	67,5	65,0	100	100	96
AL SUR DE VENTANAS						
3	Valle Alegre C	109,0	81,3	161	125	75
4	Valle Alegre B	87,1	70,0	129	108	80
AL ESTE DE VENTANAS						
7	Los Maitenes C	526,7	309,3	780	476	59
9	Las Melosillas B	375,6	164,8	556	254	44
10	Pucalán	209,1	54,3	310	84	26
AL NORTE DE VENTANAS						
11	Campiche	204,9	138,4	304	213	68
13	Alto Puchuncaví	856,4	456,6	1.269	702	53
16	Puchuncaví A	122,9	90,6	182	139	74
17	El Rincón	153,8	57,9	228	89	38
20	Rungue	103,7	60,6	154	93	58
18	Horcón	69,8	22,2	103	34	32
25	Maitencillo	283,5	137,2	420	211	48

¹ Remanente al lavado. ² Variación del total muestra/total referencia (%). ³ Variación interno muestra/interno referencia (%). ⁴ Remanente al lavado (%).

- El contenido total de metales pesados en hojas de eucalipto presentó tendencias similares al de los suelos, tanto por el tipo de metales acumulados como por su distribución espacial.
- Se encontró una asociación estrecha entre el Cu en los suelos y el Cu total en hojas de eucalipto.
- El exceso de Cu en los vegetales se debió a deposiciones externas de polvos o partículas sedimentables, antes que a una mayor absorción; y

- Las características del fenómeno de exceso de metales pesados, en cuanto al tipo de elementos involucrados, sus proporciones relativas y sus distribuciones espaciales en suelos y vegetales, son concordantes con la hipótesis que corresponde a un proceso contaminante, generado por las emisiones de materiales particulados, desde una fuente estacionaria; dicha fuente sería una industria localizada en la zona industrial de Ventanas y procesadora de minerales cupríferos.

RESUMEN

Se llevó a cabo una prospección sobre el contenido de metales pesados en suelos y hojas de eucalipto (*E. globulus*) y sus modelos de distribución espacial, en una área perteneciente a las comunas Quintero y Puchuncaví (Provincia de Valparaíso, V Región). Esta investigación fue conducida entre marzo de 1983 y diciembre de 1984.

Determinados como fracción extraíble con EDTA 0,05M, se detectó contenidos anormalmente elevados de Cu, Pb, Zn y Cd en el estrato superficial de los suelos. Se observó que sus distribuciones presentaban modelos espaciales cuyos máximos se centraban hacia la zona industrial de Ventanas.

Los contenidos en hojas fueron consistentes con los de suelos, tanto por el tipo de metal pesado como por sus proporciones relativas y su distribución; ello fue particularmente notorio para el Cu, elemento más abundante.

Prácticamente todo el exceso de metales pesados en las muestras vegetales correspondió a polvos depositados superficialmente, antes que a contenidos de absorción.

Todas estas evidencias son explicadas, si se acepta la hipótesis de la existencia de un proceso contaminante con metales pesados, generado por emisiones de elementos particulados desde la zona industrial de Ventanas; dentro de ésta, la causa prioritaria sería una fundición de minerales de cobre.

LITERATURA CITADA

-
- CARTWRIGHT, B.; MERRY, R.H.; and TILLER, K.G. 1976. Heavy metal contamination of soils around a lead smelter at Port Pirie, South Australia. *Aust. J. Soil Research* 15 (1): 69–81.
- COLBOURN, P. and THORNTON, I. 1978. Lead pollution in agricultural soils. *J. Soil Science* 29: 513–526.
- CORNEJO R., P.; LOPEZ C., J. y ROMANO M., S. 1983. Determinación de contaminantes de origen industrial en sedimento atmosférico en la zona de Quintero, V Región. Esc. de Química y Farmacia, Fac. de Medicina, Univ. de Valparaíso, Valparaíso. (Tesis de Quím. Far.).
- CHILE–CNR–Comisión Nacional de Riego. 1984. Estudio integral de riego de los valles de Aconcagua, Putaendo, La Ligua y Petorca, a nivel de factibilidad. CICA–CNR, Santiago, Chile.
- GONZALEZ M., S.; BERGQVIST A., E. e ITE D., R. 1983. Contaminación con metales pesados del área vecina a una fundición de cobre. Catemu, V Región. *Agricultura Técnica* (Chile) 44 (1): 63–68.
- Mac NICOL, R.D. and BECKETT, P.H.T. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil* 85: 107–129.
- ROJAS L., M.V. y CASTRO, M.H. 1983. Comparación entre métodos de análisis de cobre en suelos y su correlación con crecimiento de alfalfa, bajo condiciones de exceso de cobre. Depto. de Ing. Quím., Fac. de Ingeniería. Univ. de La Frontera, Temuco. 61 p. (Tesis Quím. Lab.).
- VILLASECA C., S. 1983. Acidez de aguas lluvias en la Región Metropolitana y V Región. III Simposio sobre Contaminación Ambiental, orientado al recurso agua, Estación Experimental La Platina (INIA), Santiago. Tomo I: 144–150.