

## INDICES DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN SUELO DE CULTIVO INTENSIVO: APLICACION EN LA COMARCA DE L'HORTA (VALENCIA)

M. F. Errecalde\*, R. Boluda\*\*, M. J. Lagarda\* y R. Farré\*

\* *Dpto. Higiene, Medicina Preventiva, Bromatología y Toxicología.*

\*\* *Dpto. Biología Vegetal*

*Facultat de Farmacia. Universitat de Valencia.*

*46010 - VALENCIA (Spain)*

### RESUMEN

Se estudia la contaminación por metales pesados de los horizontes superficiales de suelo, en cuatro zonas sometidas a cultivo intensivo y expuestas a distintos grados fuentes de contaminación de la comarca de l'Horta (Valencia-España).

Se determina el contenido total y la fracción extraíble de Cd, Zn, Co, Cu, Ni, y Pb. A excepción del Cd (total y extraíble) y del Co extraíble que se determinan por cámara de grafito usando el método standard de las adiciones, los elementos restantes se determinan por EAA-llama.

Para evaluar el nivel de contaminación de los suelos se utilizan los siguientes índices de contaminación: Equivalente de Zn, relación Zn/Cd y relación extraíble/total. Según estos índices, las zonas más contaminadas son aquellas con mayor impacto urbano industrial (Massanassa Este y Alboraya).

Palabras clave: Contaminación de suelos. Metales pesados. Indices de contaminación.

### SUMMARY

#### INDEXES OF POLLUTION BY HEAVY METALS IN IRRIGATED SOILS, APPLIED IN THE DISTRICT OF L'HORTA (VALENCIA-SPAIN)

Pollution of surface horizons by heavy metals in soil is studied in four areas of irrigated soils exposed to different pollution sources in L'Horta (Valencia-Spain).

Total content and extractable fraction of Cd, Zn, Co, Cu, Ni and Pb are determined. Cadmium (total and extractable) and cobalt extractable are determined by electrothermal AAS using the standard addition method and the background absorption is corrected with a deuterium lamp. Zinc, Copper, Nickel and Lead are determined by flame AAS.

The evaluation of possible pollution was carried out applying the following contamination indexes: Equivalent of Zn, Zn/Cd ratio, and extractable total ratio. Taking into account these indexes, the most polluted zones were those suffering the highest industrial and urban impacts (Massanassa east and Alboraya).

Key words: Soil pollution. Heavy metals. Contamination index.

## INTRODUCCION

La actividad agrícola, el desarrollo industrial y el crecimiento de la población en zonas urbanas favorecen la acumulación de metales pesados en el medio ambiente.

El uso de fertilizantes, la deposición aérea y el riego con aguas de mala calidad puede incrementar el contenido de metales pesados en los suelos, que al no ser degradados químicamente ni biológicamente por la naturaleza persisten en el medio y pueden acumularse a lo largo de la cadena trófica y, por lo tanto, en los cultivos.

Debido a las numerosas fuentes de contaminación, resulta difícil estimar cuales son los contenidos naturales (de fondo) de estos metales en los horizontes del suelo. Dicho contenido depende fundamentalmente del tipo de material de origen así como de diversos factores del suelo que condicionan su distribución: pH, carbonatos, saturación, óxidos, materia orgánica, textura, tipo de arcilla, etc. Boluda, 1988a).

Por otro lado, en la bibliografía se encuentran contenidos muy variables para un elemento en un determinado tipo de suelo. Esto puede ser debido a diferencias geográficas, distinto uso del suelo, climatología, etc., pero también debido a los métodos de análisis aplicados. Kabata-Pendias y Pendias (1984) realizan una recopilación de contenidos de metales traza en suelos de todo el mundo; los intervalos más frecuentes son: Cd, 0.07-1.1 mg kg<sup>-1</sup> (contenidos por encima de 0.5 mg kg<sup>-1</sup> reflejan la influencia del hombre en los horizontes superficiales del suelo); Zn, 40 mg kg<sup>-1</sup>; Co, 3-15 mg kg<sup>-1</sup>; Cu,

6-60 mg kg<sup>-1</sup>; Ni, 70 y Pb de 10 a 40 mg kg<sup>-1</sup>. Cala *et al.* (1985), señalan los siguientes contenidos en suelos de la Vega de Aranjuez: Cd, 1.08-1.77; Zn, 47-83; Cu, 13-20; Pb, 23-47 (mg kg<sup>-1</sup>). Boluda *et al.* (1988 b) en suelos de cultivo de la comarca valenciana de la Plana de Requena-Utiel, encuentran valores de 2 a 6 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, 15-36 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, 7-19 mg kg<sup>-1</sup> de Co, 1-12 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 18-35 mg kg<sup>-1</sup> de Ni y de 35 a 62 mg kg<sup>-1</sup> de Pb. Aller y Degan (1989), en Fluvisoles regados de Valderas (León), encuentran valores medios de 0.8, 74, 8, 27, 24, y 15 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, Zn, Co, Cu, Ni y Pb respectivamente.

Algunos autores han señalado los contenidos máximos de metales pesados en suelos, a partir de los cuales se produce fitotoxicidad. Cada elemento tiene unos márgenes específicos y un nivel de toxicidad diferente (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Felipó, 1987; sin embargo, en la actualidad no se dispone de una normativa legal uniforme para evaluar la toxicidad potencial por metales pesados pero si una serie de recomendaciones que varían ampliamente de unos países a otros donde se aprecia la falta de acuerdo en cuanto al establecimiento de contenidos limitantes para suelos agrícolas (Cala *et al.*, 1985).

Por estos motivos y dada la variabilidad de contenidos de metales pesados en los suelos el fin del presente trabajo consiste en determinar el contenido total y la fracción extraíble (disponible para el vegetal) de Cd, Zn, Co, Cu, Ni y Pb en horizontes superficiales de suelos sometidos

a cultivo intensivo en la comarca de L'Horta (Valencia) y aplicar a los resultados los índices de contaminación más utilizados en la actualidad

## MATERIAL Y METODOS

### MUESTRAS

Corresponden a horizontes Ap de suelos tipo Fluvisol calcáreo (FAO, 1974) desarrollados sobre depósitos aluviales recientes, de utilización agrícola intensiva, calcáreos y de pH ligeramente alcalino (Tabla 1), situados (Fig. 1) en tres zonas de la comarca de L'Horta y en una cuarta del Camp del Turia (Valencia). Estas zonas están expuestas a distintos grados y fuentes de contaminación:

I. Area de marcado carácter industrial y próxima a una vía de elevada densidad de tráfico;

Zona 1. MASSANASSA OESTE. Limos pardos fluviales. Aguas de riego subterráneas.

Zona 2. MASSANASSA ESTE. Limos negros de albufera. Riego con aguas residuales (urbana e industrial).

II. Area de fuerte impacto urbano;

Zona 3. ALBORAIA. Limos de inundación, parduzcos, regados con aguas residuales y en ocasiones industriales.

III. Area rural con suelos sometidos a menor grado de impacto urbano e industrial;

Zona 4. POBLA DE VALIBONA. Limos pardos fluviales. Riego con agua de acequia.

Se realizó un muestreo simple al azar. Se tomaron 16 muestras de parcelas pequeñas en los 30 cm superficiales del suelo. Son horizontes fuertemente antropizados (Horizonte

Ap) a causa de las actividades agrícolas.

### DETERMINACIONES ANALITICAS

El material de vidrio y de polietileno se mantuvo en una solución de ácido nítrico al 20% enjuagándose tres veces con agua desionizada antes de su uso. La muestra se homogeneizó en mortero de ágata previamente al ataque con los reactivos.

La determinación del contenido total de Cd, Zn, Co, Cu, Ni y Pb se realizó en la disolución y digestión obtenida por ataque del suelo con los ácidos nítrico y perclórico y solubilización del residuo con ácido clorhídrico 6M en caliente (Ministry of Agriculture, 1981) por EAA-llama. El Cd se determinó por EAA-cámara de grafito por el método de las adiciones (Alegría *et al.*, 1990). Por cada muestra se realizaron cuatro repeticiones.

La fracción extraíble de los elementos se obtuvo agitando las muestras con EDTA 0.05M pH = 7 durante 2 horas según el método propuesto por el Department of Environment and National Water Council (1983) y las medidas de Zn, Cu, Ni y Pb se realizaron por EAA-llama en las mismas condiciones instrumentales que para el contenido total. El Cd y Co se determinaron por EAA-cámara de grafito, previa dilución 1:3. Todas las muestras se analizaron por duplicado.

La granulometría, materia orgánica

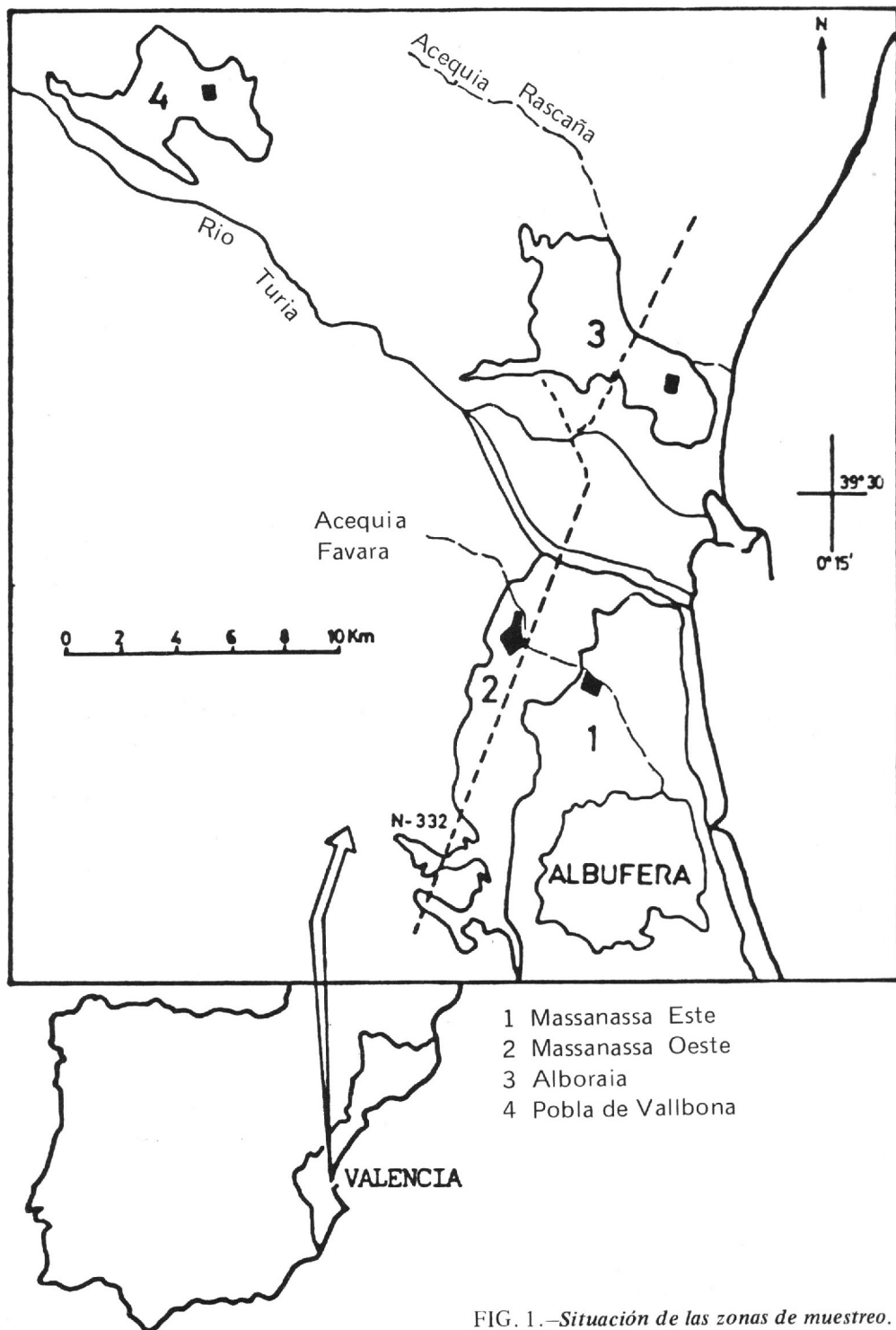


FIG. 1.—Situación de las zonas de muestreo.

TABLA 1

*Características físicas y químicas de las muestras.*

ZONA	MUESTRA	1 H %	2 M.O. %	CO Ca %	3 pH	4 CE (25 °C) S m <sup>-1</sup>	Arena %	Limo %	Arcilla %
Massanassa Oeste	1	1.59	2.69	25.20	7.30	0.19	58.23	29.96	11.81
	2	1.37	2.31	26.09	7.50	0.18	59.34	25.45	15.21
	3	1.93	2.56	17.27	7.60	0.18	52.82	31.10	16.08
	4	2.09	2.80	24.16	7.70	0.25	46.66	35.87	17.48
Massanassa Este	5	2.22	3.21	26.26	7.40	0.21	30.33	46.01	23.67
	6	2.21	3.95	12.88	7.40	0.17	33.60	42.12	24.27
	7	2.49	3.80	23.34	8.00	0.23	23.26	47.62	29.12
	8	2.53	4.32	27.98	7.80	0.25	36.60	41.62	21.79
	9	2.73	4.01	35.93	7.60	0.59	19.73	45.69	34.58
	10	2.76	3.08	29.00	7.85	0.17	25.02	40.39	34.59
Alboraja	11	0.85	1.92	7.22	7.50	0.45	74.48	17.92	7.60
	12	1.17	2.50	23.18	7.30	0.75	72.95	16.94	10.12
	13	0.97	2.00	12.31	7.80	0.18	74.29	18.10	7.61
	14	0.94	2.08	11.38	7.50	0.51	74.46	16.65	8.89
Pobla de Vallbona	15	2.52	3.18	23.84	7.60	0.20	23.24	47.63	29.30
	16	2.82	2.30	21.76	7.60	0.23	24.98	39.07	35.95

1: H, Humedad g de suelo seco; 2: M.O., Materia orgánica; 3: 1:2.5, suelo/agua; 4: Ce, Conductividad Eléctrica.

nica, pH, carbonatos totales y conductividad eléctrica se determinaron según los métodos oficiales de análi-

sis del Ministerio de Agricultura (1974).

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se pueden observar los contenidos totales de Cd, Zn, Co, Cu, Ni y Pb en los horizontes muestreados y en la Tabla 3 los contenidos de metales pesados extraíbles con EDTA 0.05M pH = 7. En ambas tablas se expresa el intervalo de confianza, IC, al 95% de probabilidad que se ha calculado mediante la expresión:

$$IC = \bar{X} \pm t \frac{0.05}{n-1} \frac{S \sqrt{n-1}}{\sqrt{n}}$$

en donde  $\bar{X}$ , es la concentración media;  $t$ , es el valor de la  $t$  de Student para  $(n - 1)$  grados de libertad al 95% de probabilidad;  $S$ , es la desviación standard del valor medio y  $n$  es el número de datos.

Los contenidos mínimos de metales totales corresponden a las zonas de Alboraiia y de Massanassa Oeste, sobre todo en lo que respecta al Cd, Co y Ni para la primera y al Zn, Cu y Pb para la segunda. El Cd, Co y Ni tienen sus contenidos máximos en La Pobla de Vallbona y el Pb, Cu, Zn en Massanassa Este. El orden de la relación de metales totales por zonas es el siguiente:

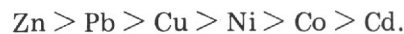
Massanassa Oeste y Alboraiia:



Massanassa Este:

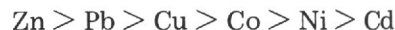


Pobla de Vallbona:

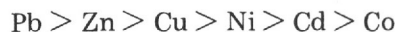


En cuanto a los metales extraíbles, los valores mínimos se encuentran, en general, en la Pobla de Vallbona, mientras que los máximos en Alboraiia. Excepciones son el Pb, que en Massanassa Oeste tiene las menores concentraciones y el Cd, que es mayor en Massanassa Este. Se observa la siguiente relación:

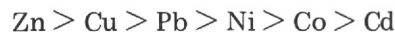
Massanassa Oeste:



Massanassa Este:



Alboraiia:



Pobla de Vallbona:



Dentro de cada zona, no existe mucha variabilidad.

Para determinar la situación de un suelo con respecto a su contaminación y toxicidad potencial por metales pesados, existen diferentes criterios:

1. *Equivalente de Zn*; se basa en datos experimentales, según los cuales, se observa que las toxicidades potenciales del Cu y Ni son dos y ocho veces superiores a los del Zn. Según este criterio aquellos suelos

TABLA 2

*Contenido total de metales pesados (mg kg<sup>-1</sup>) en horizontes Ap de suelos de L'Horta (Valencia).  
(Intervalo de confianza al 95% de probabilidad).*

ZONA	Muestra	CADMIO	CINC	COBALTO	COBRE	NIQUEL	PLOMO
Massanassa Oeste	1	0.27 ± 0.10	39.59 ± 1.90	3.72 ± 0.21	19.46 ± 3.92	8.08 ± 1.77	20.26 ± 3.98
	2	0.26 ± 0.05	36.83 ± 3.02	3.61 ± 0.10	14.28 ± 10.21	7.92 ± 0.49	26.14 ± 8.02
	3	0.46 ± 0.03	51.00 ± 3.79	4.46 ± 0.16	17.55 ± 4.05	11.28 ± 1.42	23.21 ± 2.45
	4	0.72 ± 0.15	63.47 ± 2.64	4.02 ± 0.69	17.81 ± 1.89	12.82 ± 1.39	23.95 ± 2.01
Massanassa Este	5	0.63 ± 0.11	72.65 ± 3.20	5.30 ± 0.40	27.26 ± 4.45	13.71 ± 1.32	37.73 ± 3.93
	6	0.96 ± 0.14	89.14 ± 2.55	4.06 ± 0.44	23.37 ± 2.29	15.05 ± 0.45	47.86 ± 2.35
	7	0.40 ± 0.03	69.04 ± 4.46	4.51 ± 0.81	33.07 ± 3.14	14.83 ± 1.07	49.01 ± 5.25
	8	0.63 ± 0.08	82.18 ± 3.00	4.20 ± 0.64	22.43 ± 2.96	14.65 ± 1.73	43.99 ± 3.16
	9	0.50 ± 0.03	96.21 ± 3.91	5.41 ± 0.46	29.76 ± 1.60	19.12 ± 1.60	51.16 ± 2.39
	10	0.52 ± 0.13	73.58 ± 2.36	5.49 ± 0.67	22.01 ± 2.89	19.33 ± 1.97	51.94 ± 2.46
Alboraia	11	0.36 ± 0.13	77.12 ± 3.22	2.20 ± 0.42	20.59 ± 2.25	8.26 ± 1.22	33.31 ± 1.42
	12	0.17 ± 0.06	104.10 ± 2.63	2.33 ± 0.12	48.87 ± 4.69	9.20 ± 1.04	36.51 ± 6.87
	13	0.17 ± 0.11	78.24 ± 3.34	2.24 ± 0.46	38.15 ± 1.63	8.75 ± 2.24	66.09 ± 5.36
	14	0.13 ± 0.07	75.71 ± 6.00	2.00 ± 0.33	21.66 ± 0.90	9.27 ± 2.82	34.59 ± 6.70
La Pobla de Vallbona	15	0.85 ± 0.15	71.74 ± 7.67	6.36 ± 0.18	29.85 ± 3.33	16.20 ± 1.69	32.73 ± 1.96
	16	0.61 ± 0.11	50.74 ± 4.07	7.07 ± 0.29	19.53 ± 0.88	17.68 ± 0.64	34.47 ± 2.03

TABLA 3

*Contenido de metales pesados (mg kg<sup>-1</sup>) extraíbles con EDTA 0.05 M pH = 7 en horizontes Ap de suelos de l'Horta (Valencia). (Intervalo de confianza al 95% de probabilidad).*

ZONA	Muestra	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Massanassa Oeste	1	0.16 ± 0.01	0.20 ± 0.05	4.99 ± 1.66	0.37 ± 0.08	4.63 ± 1.74	4.65 ± 2.63
	2	0.20 ± 0.09	0.25 ± 0.09	1.84 ± 0.85	0.19 ± 0.08	8.47 ± 2.98	4.30 ± 2.90
	3	0.05 ± 0.18	0.25 ± 0.21	2.05 ± 1.39	0.13 ± 0.99	3.86 ± 0.07	3.28 ± 2.28
	4	0.15 ± 0.01	0.32 ± 0.19	3.23 ± 1.29	0.30 ± 0.63	4.23 ± 0.04	4.83 ± 1.40
Massanassa Este	5	0.36 ± 0.27	0.16 ± 0.09	5.82 ± 3.65	0.62 ± 1.43	10.38 ± 7.09	11.48 ± 6.29
	6	0.40 ± 0.06	0.26 ± 0.09	4.96 ± 1.09	0.71 ± 0.35	10.70 ± 5.23	10.73 ± 7.01
	7	0.15 ± 0.13	0.15 ± 0.10	6.87 ± 2.98	0.39 ± 0.33	11.52 ± 2.41	4.12 ± 0.33
	8	0.26 ± 0.28	0.30 ± 0.25	4.43 ± 4.45	0.58 ± 1.27	11.56 ± 2.15	7.79 ± 9.41
	9	0.17 ± 0.21	0.24 ± 0.19	6.08 ± 3.84	0.54 ± 1.22	12.09 ± 1.85	9.51 ± 9.41
	10	0.18 ± 0.12	0.39 ± 0.23	3.91 ± 3.41	0.74 ± 0.32	12.74 ± 1.99	4.13 ± 3.68
Alboraia	11	0.07 ± 0.02	0.21 ± 0.24	10.41 ± 2.51	0.63 ± 1.49	10.33 ± 1.63	16.76 ± 5.22
	12	0.11 ± 0.22	0.34 ± 0.06	25.01 ± 6.15	0.96 ± 0.15	10.07 ± 2.09	22.74 ± 1.73
	13	0.17 ± 0.02	0.50 ± 0.40	18.84 ± 4.04	0.82 ± 0.86	20.51 ± 4.12	19.18 ± 1.52
	14	0.02 ± 0.05	0.36 ± 0.17	8.09 ± 1.54	0.43 ± 0.30	9.46 ± 3.03	17.03 ± 0.36
La Pobla de Vallbona	15	0.14 ± 0.06	0.03 ± 0.01	4.15 ± 0.09	n. d. <sup>1</sup>	8.27 ± 0.05	7.63 ± 0.41
	16	0.05 ± 0.03	0.05 ± 0.02	1.26 ± 0.07	n. d. <sup>1</sup>	7.78 ± 0.45	0.65 ± 0.08

1: n. d., no detectable.



que presenten valores superiores a 250 mg kg<sup>-1</sup> de equivalente de Zn, pueden considerarse potencialmente tóxicos (Chumbley, 1971).

$$\text{Equivalente de Zn} = \text{Zn} + 2 \times \text{Cu} + 8 \times \text{Ni} \text{ (en mg kg}^{-1}\text{)}$$

2. *Relación Zn/Cd*; se basa en el efecto antagónico que el Zn del suelo puede ejercer sobre la asimilación del Cd por las plantas. No existe acuerdo para determinar el valor límite que debe presentar esta relación. Chaney (1973), considera que

debe ser superior a 200; Jones y Jarvis (1981), recomiendan que esta relación sea cercana a 1000 para así lograr que el Zn pueda ejercer de manera eficaz su antagonismo en la planta.

$$\text{Relación Zn/Cd} = \frac{\text{Zn mg kg}^{-1}}{\text{Cd mg kg}^{-1}}$$

3. *Relación extraíble/total*; se considera que esta relación puede ser un indicador de la biodisponibilidad de los elementos, porque las formas extraíbles son capaces de ser absorbidas por los vegetales y también,

porque al igual que ocurre en génesis de suelos con respecto a la relación de óxidos libres y totales, la relación extraíble/total puede informar acerca de la movilidad de estos elementos en el suelo.

$$\text{Relación extraíble/total} = \frac{\text{metal extraíble}}{\text{metal total}} \times 100$$

En la Tabla 4 se dan los resultados obtenidos tras la aplicación de estos índices de contaminación a las muestras de suelo analizadas.

Aplicando estos criterios a los resultados obtenidos se observa que la relación extraíble/total tiene los valores más pequeños en la Poble de Vallbona y los más altos en Alborai. Únicamente hay una excepción, correspondiente al Pb, que presenta su mínimo en Massanassa Oeste, si bien este elemento tiene valores semejantes en todas las zonas.

En lo que se refiere a la relación Zn/Cd, si se sigue el criterio de Jones y Jarvis (1981) todas las zonas presentan un índice muy bajo, lo cual significa que tienen un grado

de contaminación elevado. Si se aplica el criterio de Chaney (1973) sólo la zona de Alborai se considera no contaminada.

La única zona que manifiesta toxicidad según el equivalente de Zn corresponde a Massanassa Este. Las demás zonas están por debajo del límite máximo tolerable de 250 mg kg<sup>-1</sup>.

A la vista de los resultados, se observa que las cantidades de metales extraíbles y la relación extraíble/total son mayores en la zona de Alborai y mínimos en La Poble de Vallbona. Parece contradecir los datos de la relación Zn/Cd. No obstante, al no disponer de referencias que indiquen los valo

TABLA 4

*Indices de Contaminación.*

ZONA	MUESTRA	1 Eq. Zn	Zn/Cd	Cd	Co	Relación extraíble/total %			
						Cu	Ni	Pb	Zn
Massanassa Oeste	1	143	147	58.52	5.24	25.62	4.57	22.86	11.76
	2	129	141	77.01	6.88	12.87	2.40	32.42	11.67
	3	176	112	10.96	5.58	11.68	1.19	16.64	6.44
	4	202	88	20.72	7.93	18.12	2.32	17.66	7.60
	MEDIA	163	122	41.80	6.41	17.07	2.62	22.39	9.37
Massanassa Este	5	237	115	56.47	3.02	21.33	4.50	27.50	15.80
	6	256	93	41.43	6.43	21.21	4.72	22.36	12.04
	7	254	171	37.72	3.32	20.78	2.65	23.50	5.96
	8	244	129	41.10	7.15	19.75	3.92	26.27	9.48
	9	309	191	33.66	4.40	20.42	2.82	23.62	9.89
	MEDIA	260	140	42.08	4.86	20.70	3.72	24.65	10.63
Alboraia	10	272	142	34.17	7.06	17.77	3.83	24.53	5.61
	11	184	215	20.67	9.74	50.54	7.61	31.03	21.73
	12	275	623	62.87	14.61	51.17	10.48	27.58	21.84
	13	225	458	100.00	22.40	49.37	9.31	31.03	24.52
	14	193	574	17.42	18.09	37.36	4.62	27.33	22.49
		MEDIA	230	403	47.03	14.38	41.24	7.17	28.30
La Pobla	15	261	84	16.02	0.52	13.92	nd <sup>2</sup>	25.26	10.63
Vallbona	16	231	83	8.03	0.69	6.45	nd <sup>2</sup>	22.57	1.28
	MEDIA	246	84	12.03	0.61	10.19	nd <sup>2</sup>	23.92	5.96

1: Equivalente de Cinc. 2: nd, no determinado.

res tolerables y las concentraciones máximas permitidas para las formas extraíbles, no se puede afirmar que exista una mayor contaminación en la zona de Alboraiá.

Por otra parte, si se tienen en cuenta las características edáficas (Tabla 1), se observa que las propiedades que facilitan la acumulación de estos elementos (mayor contenido de humedad, materia orgánica y arcilla) se dan en la zona de Massanassa Este (Fluvisoles calcáreos desarrollados sobre limos negros de Albufera) y en la zona de La Pobla (Fluvisoles calcáreos desarrollados sobre limos pardos fluviales de textura fina), por lo que parece lógico que el mayor contenido de metales pesados totales esté en estas zonas.

Las zonas de Alboraiá y Massanassa Este muestran una mayor bio-

disponibilidad de los elementos que Massanassa Oeste y La Pobla de Vallbona, que puede quizás interpretarse como consecuencia de un aumento del pH y carbonatos totales en estas. Aunque las variaciones no son muy acusadas, diferentes autores indican insolubilización de Zn, Cd, Cu y Pb en forma de carbonatos al aumentar el pH.

Si se tiene en cuenta el grado de impacto urbano y/o industrial, se puede pensar que las zonas de mayor contaminación deben ser Massanassa Oeste y, sobre todo, la zona de marjal (Massanassa Este) y Alboraiá. En este caso coinciden los valores de metales pesados totales y, sobre todo, el equivalente de Zn para la zona de Massanassa Este y las concentraciones de metales extraíbles en el área de Alboraiá.

## CONCLUSIONES

Los contenidos totales de los elementos analizados son similares a los encontrados en la bibliografía consultada y no alcanzan, en general, los valores considerados tóxicos.

Los contenidos encontrados para la fracción extraíble de cada uno de los elementos estudiados son muy bajos en relación a los contenidos totales.

Al aplicar los índices de contaminación más utilizados en la actualidad se observa que:

- a) Las muestras 6, 7, 9, 10, 12 y 15 son potencialmente tóxicas según el equivalente de Zn.
- b) Respecto a la relación Zn/Cd, según Chaney (1973) las muestras

11, 12, 13 y 14 son las menos contaminadas. Si se sigue el criterio de Jones y Jarvis (1981), todos los suelos presentan una relación inferior al valor mínimo establecido, por lo que pueden presentar problemas de toxicidad.

- c) Las relaciones extraíble/total más elevadas son para el Cd, Cu, Pb y Zn.

Según los índices aplicados, la contaminación es mayor en las zonas de Massanassa Este y Pobla de Vallbona; aunque debe tenerse en cuenta que la relación extraíble/total aumenta en las zonas de Alboraiá y Massanassa Oeste, lo cual indica mayor biodisponibilidad de los elementos.

## BIBLIOGRAFIA

- ALEGRIA, A., BARBERA, R., FARRE, R., LAGARDA, M. J., ROIG, M. J. and ROMERO, I., 1990. Evaluation of antimony, cadmium and lead levels in vegetables, drinking and raw water from different agricultural areas. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 38: 65-73.
- ALLER, A. J. and DEGAN, L., 1989. Total and extractable contents of trace metals in agricultural soils of the Valderas Area, Spain. *Sci. Total Environ.*, 79: 253-270.
- BOLUDA, R., 1988a. Relaciones estadísticas de los valores de metales pesados (Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn) con el pH, contenido en materia orgánica, carbonatos totales y arcilla de los suelos de la comarca La Plana de Requena-Utiel (Valencia). *An. Edafol. Agrobiol.*, 47: 1503-1524.
- BOLUDA, R., ANDREU, V., PONS, V. y SANCHEZ, J., 1988b. Contenido de metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en suelos de la comarca La Plana de Requena-Utiel (Valencia). *An. Edafol. Agrobiol.*, 47: 1485-1502.
- CALA RIVERO, V., RODRIGUEZ SANCHIDRIAN, J. y GUERRA DELGADO, A., 1985. Contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. (I). Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Cr. *An. Edafol. Agrobiol.*, 44: 1595-1608.
- CHANEY, R. L., 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents. En *Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land*, 129-141. National Association of State Universities and Land-Grand Colleges, Washington, DC, USA.
- CHUMBLEY, C. G., 1971. Permissible levels of toxic metals in sewage used on agricultural land. ADAS Advisory Paper no. 10, MAFF, London.
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND NATIONAL WATER COUNCIL (Uk), 1983. Extractable metals in soils, sewage-sludge-treated soils and related materials, 1982. *Methods Exam. Waters Assoc. Mater.*
- FAO, 1974. Soil map of the world 1:5.000.000. I. Legend. París.
- FELIPO, M. T., 1987. La contaminació del sòl. Procés de degradació del medi edàfic i de l'entorn. *Quaderns d'Ecologia Aplicada*, no. 12. Diputació de Barcelona. Servei del Medi Ambient. Barcelona.
- JONES, L. P. H. and JARVIS, S. C., 1981. The fate heavy metals. En *The chemistry of soils processes*. 593-615. John Willey and sons. New York.
- KABATA-PENDIAS, A. and PENDIAS, H., 1984. Trace elements in soils and plants. C. R. C. Press Inc. Boca Raton, Florida.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1974. Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas. Madrid.
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD, 1981. Técnicas de análisis de suelos, vegetales y piensos. Ed. Academia S. L., León.

*Recibido: 12-9-90.*  
*Aceptado: 10-6-91.*