

CONTENIDO EN METALES PESADOS Y RELACION CON PARAMETROS EDAFICOS EN SUELOS AGRICOLAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

A. M. MORENO¹, L. PÉREZ¹, M. A. CANO¹ y J. GONZÁLEZ¹

RESUMEN

Se han analizado muestras de suelos agrícolas en un área industrial de la Comunidad de Madrid para estudiar sus contenidos en elementos traza (Cu, Zn, Cd y Pb).

La distribución de estos metales muestra los niveles más elevados en suelos próximos a Madrid, principalmente en zonas muy urbanizadas y con gran actividad industrial.

Se observa, en general, que los suelos con mayores proporciones de metales pesados coinciden con valores elevados de fracción arcilla, materia orgánica y pH.

INTRODUCCION

La zona centro-suroccidental de la provincia de Madrid está caracterizada por un elevado grado de contaminación ambiental, resultado de la elevada densidad de población e intensa actividad industrial.

La Comunidad de Madrid comprende un área de 7.995 km², con densidad media de 600 hab/km², que se encuentran concentrados en núcleos de diferente magnitud como consecuencia de su historia y estructura económica actual. Unas 300.000 hectáreas están ocupadas por ganadería y cultivos de huerta y cereal, que son claramente insuficientes para el abastecimiento del mercado regional, pero que han venido constituyendo la base económica tradicional de numerosos núcleos familiares (FERNÁNDEZ GALIANO y RAMOS FERNÁNDEZ, 1987).

A partir de los años sesenta tiene lugar un fuerte incremento industrial que, tanto en suelo como en mano de obra, se realiza a expensas del sector agrario,

dando como resultado el que zonas con gran actividad industrial coexistan con las que aún permanecen dedicadas a cultivos, a veces muy afectadas por humos, aguas residuales y desechos.

Con objeto de estudiar la repercusión de la contaminación sobre los suelos de la región, se ha elegido para este trabajo un sector circular con centro en el kilómetro cero de las carreteras españolas y unos veinte kilómetros de radio, entre el sur y el oeste de la capital (Fig. 1), determinando los parámetros edáficos y contenidos en Cu, Zn, Cd y Pb.

Los materiales geológicos (VEGAS *et al.*, 1975; SAN JOSÉ *et al.*, 1989) a partir de los que se desarrollan los suelos de esta zona están constituidos por depósitos miocenos y materiales cuaternarios con relativa variedad litológica, que forman parte del relleno sedimentario de la Cuenca del Tajo.

Los materiales miocenos se encuentran en tres grandes conjuntos situados entre el este y el oeste de la zona. El mioceno más occidental está formado por sedimentos detríticos que constituyen la denominada «facies Madrid», con arcosas feldespáticas, limos y arcillas originados por la intemperiza-

¹ Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

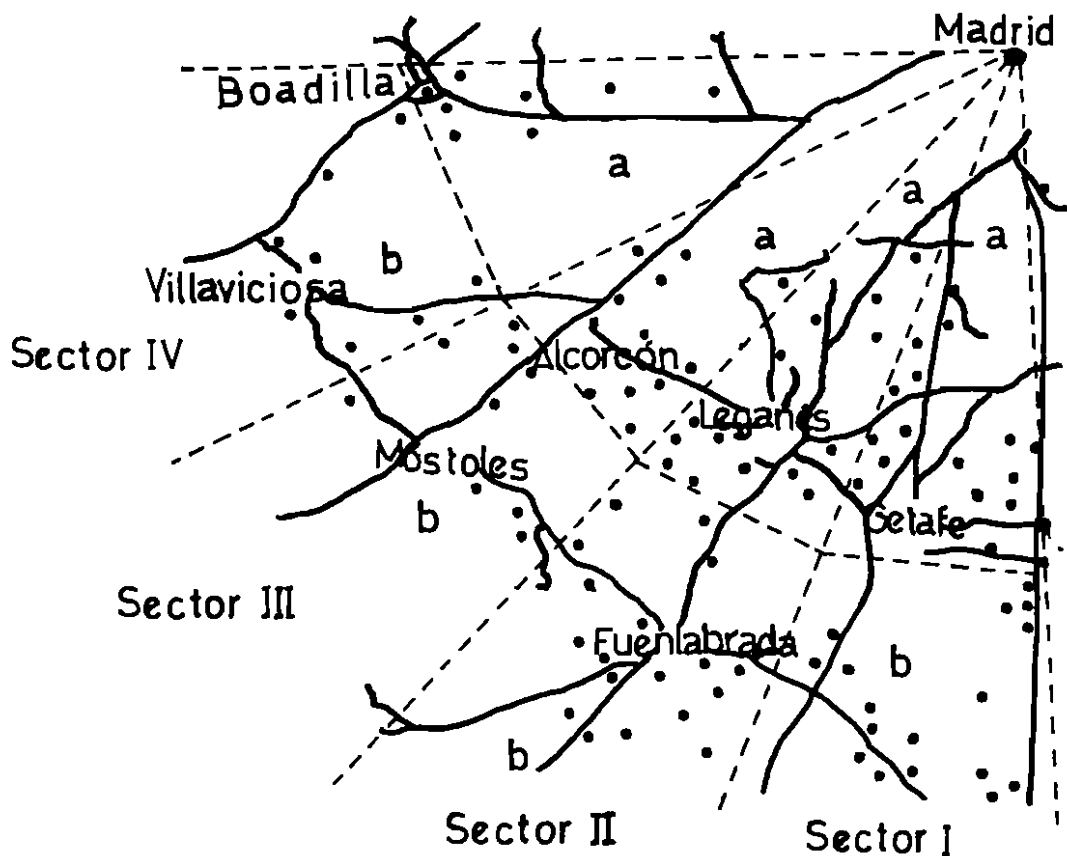


Fig. 1. Esquema de distribución de muestras.

ción y erosión de los materiales cristalinos de la Sierra de Guadarrama. Las facies intermedias, mixtas entre las anteriores y las facies químicas, afloran según una banda NNE-SSW, casi paralela a la depresión morfológica de Prados-Guaten; en ellas, y como consecuencia de variaciones en el medio de sedimentación, coexisten materiales transportados mecánicamente junto a otros formados por precipitación química y fijación bioquímica; estas facies se extienden, aproximadamente, hasta el límite oriental de la zona que se estudia. Por último, en la parte suoriental, que corresponde al centro de la Cuenca del Tajo, afloran materiales originados por precipitación química, con yesos en la base e intercalaciones de margas yesíferas que hacia el este contienen niveles salinos.

Los materiales cuaternarios están formados por gravas cuarcíticas, arenas y depósitos eólicos, cons-

tituyendo coluviones, suelos, aluviones y terrazas de los ríos, sobre todo Manzanares y Guadarrama, muy importantes en el sistema fluvial de la región. Los sistemas de terrazas, formados por arenas feldespáticas, arcillas verdes y gravas, no presentan variaciones litológicas significativas. Los coluviones, según su procedencia, pueden ser arcilloso-yesíferos, yesíferos, margoso-calizos, arcósicos y raras veces con gravas cuarcíticas con sílex.

Morfológicamente la zona presenta llanuras alomadas, que en dirección sur-suroeste van perdiendo altura y están surcadas por una red fluvial que da lugar a un sistema de terrazas, llanuras que van quedando colgadas a medida que dicha red se encaja, a partir de las cuales tiene lugar el coluviamiento y movilización de materiales sobre los que se desarrollan los suelos; entre ellas destaca la denominada «Depresión Prados-Guaten», cuyo ori-

gen está en parte condicionado por el cambio de facies del sustrato mioceno que a lo largo de ella se produce.

Para el estudio de las condiciones climáticas se han utilizado los datos proporcionados por la estación meteorológica de Getafe (ELÍAS CASTILLO y RUIZ BELTRÁN, 1977). Estos datos corresponden a un tipo climático mediterráneo templado, con régimen térmico templado cálido y régimen de humedad mediterráneo seco.

Si se considera la distribución y las medias mensuales (Fig. 2), correspondientes a precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial, se observa déficit de agua de junio a octubre, época en que las elevadas temperaturas coinciden con las mínimas precipitaciones. Desde enero a junio y desde octubre a diciembre hay reserva de agua, que constituye superávit de febrero a marzo y agua utilizable en abril y mayo. En cuanto al índice de humedad, es inferior a 0,5 durante los meses de julio, agosto y septiembre, por lo que se consideran secos; siendo húmedos, Ih superior a 1, enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, y resultando de humedad intermedia, Ih entre 1 y 0,5, los meses de abril, mayo, junio y octubre.

La vegetación potencial de la zona (RIVAS MARTÍNEZ, 1987) pertenece al piso bioclimático meso-

mediterráneo y corresponde a la serie de encinares de *Quercus rotundifolia*, que en etapa clímax daría lugar a un bosque denso de encinas que puede incluir enebros, quejigos y alcornoques, con sotobosque arbustivo no denso; la etapa de sustitución sería el matorral denso de *Quercus coccifera*, *Phyllirea angustifolia*, *Arbutus unedo*, etcétera, que cuando aumenta el rigor invernal tienden a desaparecer. Existen grandes zonas cubiertas por espartales y berceales, que son muy útiles para el ganado, obtención de fibras y como protectores del suelo. En la zona sólo quedan restos dispersos de la vegetación potencial y en su lugar existen viñedos, olivos, cereales y huertos, trabajados en su mayoría en régimen familiar.

MATERIAL Y METODOS

El área de estudio se ha dividido en cuatro sectores (I, II, III y IV), desde el sur hacia el oeste y en cada uno de ellos se han considerado dos zonas: a, próxima, y b, distal, con respecto a Madrid capital:

Sector I: Zona a: Villaverde, Getafe.
Zona b: Pinto.

Sector II: Zona a: Leganés.
Zona b: Fuenlabrada.

Sector III: Zona a: Alcorcón.
Zona b: Móstoles.

Sector IV: Zona a: Boadilla del Monte.
Zona b: Boadilla del Monte, Villaviciosa de Odón.

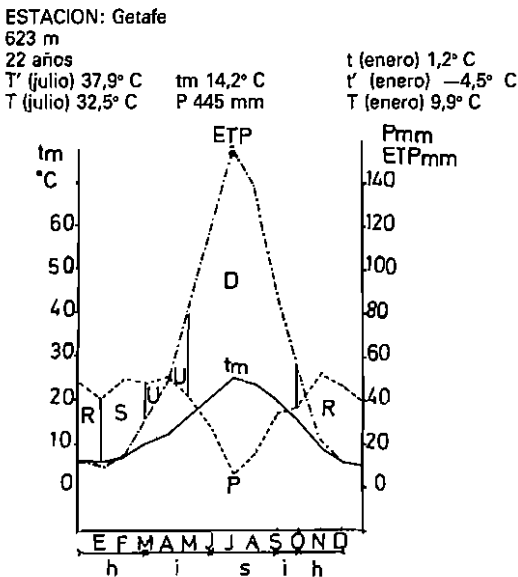


Fig. 2. Diagrama climático.

Se ha realizado el muestreo de 105 suelos distribuidos de acuerdo con las actividades industrial, agrícola y ganadera, además de su mayor o menor distancia a carreteras y cauces de agua. Los análisis se han llevado a cabo en los 20 cm superiores del suelo, horizontes antrópicos, por considerar que es la parte del mismo más expuesta a los agentes contaminantes y la que mayor influencia puede tener sobre la vegetación, siendo de máxima importancia, ya que se trata de cultivos que serán utilizados para la alimentación animal o humana.

La determinación de la composición granulométrica se ha realizado según el Método Internacional; el carbono orgánico se determinó por oxidación con dicromato potásico en medio ácido y valora-

ción por retroceso, y el pH se midió tras agitar la suspensión del suelo en agua en proporción 1:2,5 (GUITIÁN OJEA y CARBALLAS FERNÁNDEZ, 1976). Los metales Cu, Zn, Cd y Pb se han determinado después de atacar las muestras con ácidos en compresor Phaxe 2000 por polarografía inversa.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla I corresponde a las medias de los contenidos de arcilla, texturas de suelos, proporciones de materia orgánica, valores de pH y concentración de Cu, Zn, Cd y Pb para cada sector y zona. Se determinaron las composiciones granulométricas y el contenido en carbono orgánico de las muestras, por considerar que la fracción arcilla y la materia orgánica son capaces de adsorber los metales estudiados con dos resultados antagónicos: a) los metales pueden quedar muy fijados, con lo que se amortigua su acción, y b) la retención puede mantener dichos elementos en forma cambiante, con lo que se facilita la absorción por el vegetal. Los dos mecanismos suelen tener lugar, y aunque por el primero se retiren de la dinámica del suelo elementos potencialmente nocivos, un cambio en las condiciones del medio (aireación, pH, etcétera) pueden hacer que queden en libertad, por lo que si la proporción de un metal es elevada, aunque se encuentre fuertemente fijado, constituye toxicidad potencial.

El pH de los suelos se ha determinado por la influencia que tiene en la solubilidad y movilidad de los metales, factores importantes tanto para su contenido en el medio como en la asimilación por las plantas.

El Sector I, correspondiente a Villaverde, Getafe y Pinto, presenta contenidos medios de arcilla, materia orgánica y pH semejantes en las zonas a y b; las proporciones medias de los metales son más elevadas en la zona más próxima a Madrid. En el Sector II los porcentajes medios de arcilla son semejantes en a y b y los valores medios de pH y materia orgánica son ligeramente superiores en a; igual que en el Sector I, los contenidos medios de metales de la zona a, Leganés, superan a los de Fuenlabrada, zona b. En el Sector III los valores de arcilla, materia orgánica y pH son semejantes en las dos zonas, mientras que las proporciones de metales son superiores en a, Alcorcón, que en b,

TABLA I
PORCENTAJES DE ARCILLA, MATERIA ORGÁNICA, VALORES DE pH Y CONTENIDO EN Cu, Zn, Cd y Pb (ppm)

Sector	Zona	n	Arcilla	Textura	M. O.	pH	Cu	Zn	Cd	Pb
Sector I	Zona a	37	21 (3-48)	fr-arc-aren.	1,5 (0,3-2,6)	7,8 (6,5-8,3)	38 (7-151)	104 (25-437)	1,0 (0,0-11,8)	90 (20-379)
	Zona b	20	20 (3-48)	fr-arc-aren.	1,5 (0,3-2,6)	7,8 (6,5-8,3)	55 (8-151)	133 (31-437)	1,5 (0,0-11,8)	115 (37-379)
Sector II	Zona a	17	23 (10-44)	fr-arc-aren.	1,4 (0,8-2,5)	7,8 (7,3-8,2)	18 (7-49)	71 (25-180)	0,6 (0,0-5,5)	62 (20-181)
	Zona b	31	21 (7-48)	fr-arc-aren.	1,14 (0,3-4,2)	7,2 (6,1-8,2)	39 (6-212)	101 (15-867)	0,5 (0,0-4,6)	92 (20-593)
	Zona a	13	22 (12-44)	fr-aren.	1,7 (0,4-4,2)	7,4 (6,1-8,2)	74 (6-212)	195 (34-867)	1,2 (0,1-4,6)	153 (34-593)
	Zona b	18	20 (7-48)	fr-arc-aren.	0,7 (0,3-1,9)	7,0 (6,3-8,2)	14 (6-25)	34 (15-70)	0,0 (0,0-0,2)	49 (20-83)
Sector III	Zona a	21	15 (4-33)	fr-aren.	0,8 (0,3-1,9)	6,7 (5,3-7,9)	33 (4-268)	45 (10-143)	0,9 (0,0-5,7)	39 (7-87)
	Zona b	12	15 (6-29)	fr-aren.	1,0 (0,3-1,9)	6,8 (5,9-7,8)	47 (4-268)	62 (21-143)	1,5 (0,0-5,7)	43 (14-87)
Sector IV	Zona a	9	14 (4-33)	fr-aren.	0,6 (0,3-0,9)	6,5 (5,3-7,9)	16 (8-26)	29 (10-46)	0,1 (0,0-0,3)	33 (7-66)
	Zona b	16	12 (3-19)	aren-fr.	1,3 (0,3-2,4)	7,2 (6,3-8,1)	18 (4-108)	41 (16-128)	0,7 (0,0-4,1)	57 (22-152)
	Zona a	8	15 (10-19)	fr-aren.	1,9 (1,1-2,4)	7,3 (6,9-8,0)	28 (9-108)	49 (16-128)	1,3 (0,2-4,1)	73 (22-152)
	Zona b	8	10 (3-18)	aren-fr.	0,8 (0,3-1,3)	7,1 (6,3-8,1)	8 (4-15)	34 (16-64)	0,0 (0,0-0,1)	40 (25-88)

Móstoles. La zona a del Sector IV, Boadilla, presenta contenido medio en arcilla y materia orgánica algo mayor que en la zona b, Villaviciosa-Boadilla, siendo los porcentajes medios de metales también superiores en a.

El Sector I presenta textura media franco-arcillo-arenosa; el II, franco-arenosa en a y franco-arcillo-arenosa en b; el III, franco-arenosa, y el IV, franco-arenosa en a y arenoso-franca en b. Aunque las diferencias texturales no son acusadas, se observa que cuando los suelos están localizados más distantes de la Sierra, área fuente de su material de origen, presentan tendencia a aumentar su contenido en arcilla.

Las proporciones de materia orgánica existentes en estos suelos son muy bajas, como corresponde a suelos de cultivo y con elevada proporción de arena.

Los valores de pH son, en general, superiores a 7, siendo ligeramente inferiores en el Sector III.

En general los suelos de la zona no presentan un grado de evolución elevado, por lo que su contenido en metales es función del de su material de origen. Los contenidos en cobre, cinc, cadmio y plomo obtenidos en el presente estudio se han relacionado con los valores medios citados por la bibliografía para suelos: Zn, 50 ppm; Cu, 25 ppm; Pb, 10 ppm, y 0,05 ppm para Cd (JONES y JARVIS, 1981; ADRIANO, 1986). El Cu se encuentra en plagioclasas y biotita sustituyendo isomórficamente al Fe^{2+} , Mg^{2+} , con valores en suelos que suelen ser ligeramente superiores a los de su material original. El Zn de los suelos suele proceder de biotita y anfíboles. El Cd se encuentra en los minerales sustituyendo al Zn^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} y Ca^{2+} , fundamentalmente en biotita, piroxenos y plagioclasas. El Pb sustituye al K^+ , Sr^{2+} , Ca^{2+} y Na^+ en feldespatos, feldespatoides y biotita.

Los contenidos medios de los elementos pesados en los cuatro sectores siguen las secuencias:

Cu: Sector I = Sector II \geq Sector III > Sector IV.
 Zn: Sector I = Sector II > Sector III \geq Sector IV.
 Cd: Sector I = Sector III \geq Sector IV \geq Sector II.
 Pb: Sector I = Sector II > Sector IV > Sector III.

De lo que se deduce que excepto para Cd corresponden a los Sectores I y II las mayores proporciones de estos elementos.

Al comparar los contenidos medios de cada elemento en las zonas a y b de cada sector se pone de manifiesto la mayor concentración de los mismos en las zonas más próximas a Madrid. Las secuencias para cada elemento correspondientes a las zonas a y b de los cuatro sectores son:

Zona a:

Cu: Sector II > Sector I > Sector III > Sector IV.
 Zn: Sector II > Sector I > Sector III > Sector IV.
 Cd: Sector I = Sector III \geq Sector IV = Sector II.
 Pb: Sector II > Sector I > Sector IV > Sector III.

Se observa que, excepto para el Cd, la zona a del Sector II es la de mayores contenidos.

Zona b:

Cu: Sector I \geq Sector III \geq Sector II > Sector IV.
 Zn: Sector I > Sector II = Sector IV \geq Sector III.
 Cd: Sector I > Sector III > Sector II = Sector IV.
 Pb: Sector I > Sector II \geq Sector IV \geq Sector III.

La zona b del Sector I presenta las concentraciones más elevadas de todos los elementos, seguido de los Sectores II y IV para Zn y Pb y del Sector III para Cu y Cd. Existe clara tendencia a una mayor concentración de los elementos estudiados cuando los suelos presentan más proporción de fracción arcilla, como se observa en los Sectores I y II frente a los Sectores III y IV.

Si se tiene en cuenta que la secuencia normal de contenidos medios de elementos en suelos sobre materiales graníticos (AUBERT y PINTA, 1977) es:

Zn > Cu > Pb >> Cd
 50 ppm 25 ppm 10 ppm 0,05 ppm

se observa que en el área de estudio Zn y Pb son mayoritarios, siendo a veces el Pb el elemento que se encuentra en proporción superior:

Sector I: Zona a: Zn > Pb > Cu >> Cd.
 Zona b: Zn > Pb > Cu >> Cd.

Sector II: Zona a: Zn > Pb > Cu >> Cd.
 Zona b: Pb > Zn > Cu >> Cd.

Sector III: Zona a: Zn > Cu > Pb >> Cd.
 Zona b: Pb > Zn > Cu >> Cd.

Sector IV: Zona a: Pb > Zn > Cu >> Cd.
 Zona b: Pb > Zn > Cu >> Cd.

Las desviaciones en la concentración de metales en el suelo son consecuencia de la contaminación producida por el tráfico rodado, actividades industriales, productos empleados en agricultura, utilización para riego de aguas residuales, etcétera, pudiendo dar lugar a cantidades no deseadas de metales pesados en el medio. Las proporciones que en la Comunidad Europea se consideran valores límite para los elementos estudiados son: 50-140 ppm para Cu, 150-300 ppm para Zn, 1-3 ppm para Cd y 50-300 ppm para Pb. Estos contenidos están propuestos para limitar la adición de metales pesados que se produce al utilizar lodos residuales en agricultura, por lo que se consideran válidos igualmente cuando existen aportes contaminantes de otra naturaleza. Los suelos cuyo contenido en un determinado metal es superior al límite máximo no deben recibir aportes de lodos si el exceso supone un 50% de dicho límite (CE, 1986).

En la Tabla II se expresa la distribución porcentual de los suelos que en cada zona contienen metales en proporción menor, igual o superior al rango de la CE (1986) y el valor medio de su concentración dentro de los tres intervalos. Para el Cu en la zona a del Sector II un 38% de los suelos están contaminados y un 15% puede considerarse muy contaminados. Respecto al Zn, en la zona a del Sector II existe el mismo porcentaje de suelos con contaminación que para el Cu. Contenidos medios elevados de Cd se presentan en todas las zonas a, sobre todo en el Sector II, con un 39% de suelos contaminados y un 8% muy contaminados. En cuanto a la contaminación de suelos por Pb, es elevada tanto en las zonas a como en las b.

Los metales que se encuentran en el suelo son absorbidos por la vegetación mediante dos mecanismos diferentes: de forma pasiva, no metabólica, y de forma activa, metabólica. Según sea la naturaleza del metal y forma en que se encuentre, y según la especie, edad y variedad genética del vegetal, la asimilación y acumulación de los elementos se realiza con diferente intensidad y en distinto órgano. La proporción de metales en la planta refleja el contenido de éstos en el medio en que se desarrolla, pudiendo ser deficiente, normal, elevada o tóxica, siendo los intervalos muy reducidos para microelementos que pueden llegar a alcanzar niveles de fitotoxicidad con ligeros incrementos. Sin embargo, desde el punto de vista del presente estudio, que la planta presente síntomas de toxicidad

no es la situación más desfavorable, ya que el agricultor acaba por seleccionar los cultivos más resistentes y de mayor rendimiento. El problema surge cuando en el suelo tiene lugar un incremento continuo de metales (por estar afectado por procesos contaminantes) y se cultivan vegetales para consumo sin que lleguen a presentarse en ellos síntomas de toxicidad, ya que su ingestión introduce en los organismos metales de difícil eliminación.

Los metales pesados tienen una movilidad muy baja dentro del vegetal, por lo que su acumulación suele ser máxima en raíces (HARDIMAN, JACOBY and BANIN, 1984). Sin embargo, puede existir acumulación de metales en hojas como consecuencia de aplicaciones foliares y contaminación aérea (KOMAI and YAMAMOTO, 1962; KAZEMI, 1984), aunque también existe la posibilidad de movilización y transporte desde la raíz, favorecidos por procesos de transpiración y respiración realizados activamente en las hojas. En suelos con elevados contenidos en Cu y Zn los vegetales presentan mayores proporciones de dichos elementos en la raíz que en hojas y ramas, aunque si el suelo se encuentra en zonas topográficamente deprimidas o con drenaje impedido (MC LEAN, 1974), el grano en el maíz y las hojas en alfalfa y lechuga pueden acumular Zn. En los suelos estudiados corresponde a la zona a de los Sectores II y I los mayores contenidos de Cu y Zn, siendo frecuentes los cultivos de acelgas y alfalfa que, obviamente, no serían adecuados.

El Cd es un elemento que se acumula en hojas, conteniendo las semillas y frutos proporciones menores, por lo que especies como espinacas, lechugas, acelgas, alfalfa o tabaco no deben cultivarse en zonas contaminadas por este metal. También hay que tener en cuenta que la asimilación del Cd se incrementa en presencia de otros metales (BJERRE, SCHIERUP, 1985), de manera que pueden alcanzarse niveles tóxicos en vegetales en suelos cuyo contenido en este metal no sea elevado. En las zonas a de los Sectores II, III y IV, sobre suelos con elevada proporción de Cd se cultivan acelgas, alfalfa y pastos; en las zonas a de los Sectores I y II, con cultivos de acelgas, alfalfa y hortalizas, debido a la influencia que el conjunto de metales contaminantes puede tener sobre la absorción de Cd, existe un peligro de toxicidad adicional. Los contenidos de Pb en todos los sectores son elevados, y dada la baja movilidad del elemento sue-

TABLA II
DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS SUELOS POR SU CONTENIDO EN METALES

Cu	Zona	<50 ppm		50-140 ppm		>140 ppm	
		% suelos	× ppm	% suelos	× ppm	% suelos	× ppm
Sector I	a	65	28	30	58	5	151
	b	100	16	—	—	—	—
Sector II	a	47	19	38	93	15	190
	b	100	14	—	—	—	—
Sector III	a	84	22	8	81	8	268
	b	100	16	—	—	—	—
Sector IV	a	86	14	14	108	—	—
	b	100	8	—	—	—	—

Zn	Zona	<150 ppm		150-300 ppm		>300 ppm	
		% suelos	× ppm	% suelos	× ppm	% suelos	× ppm
Sector I	a	70	78	20	186	10	376
	b	94	64	6	180	—	—
Sector II	a	47	44	38	208	15	611
	b	100	34	—	—	—	—
Sector III	a	100	62	—	—	—	—
	b	100	29	—	—	—	—
Sector IV	a	100	49	—	—	—	—
	b	100	34	—	—	—	—

Cd	Zona	<1 ppm		1-3 ppm		>3 ppm	
		% suelos	× ppm	% suelos	× ppm	% suelos	× ppm
Sector I	a	80	0,56	10	1,80	10	8,60
	b	88	0,06	—	—	12	4,62
Sector II	a	53	0,38	39	1,85	8	4,66
	b	100	0,46	—	—	—	—
Sector III	a	66	0,50	17	1,73	17	5,30
	b	100	0,12	—	—	—	—
Sector IV	a	76	0,50	12	2,49	12	4,15
	b	100	0,02	—	—	—	—

Pb	Zona	<50 ppm		50-300 ppm		>300 ppm	
		% suelos	× ppm	% suelos	× ppm	% suelos	× ppm
Sector I	a	25	44	65	103	10	371
	b	59	33	41	94	—	—
Sector II	a	23	39	54	91	23	414
	b	56	34	44	67	—	—
Sector III	a	67	32	33	65	—	—
	b	89	29	11	66	—	—
Sector IV	a	37	30	63	93	—	—
	b	88	34	12	88	—	—

le quedar acumulado en la raíz, por lo que no es aconsejable el cultivo de vegetales en los que se utilice en la alimentación dicho órgano, sino cereales, frutas y verduras, en cuyas partes comestibles los contenidos en Pb, en principio, suelen ser bajos. Sin embargo, cuando el Pb procede de emisiones aéreas, humos, productos de combustión de carburantes, etcétera, hay que tener en cuenta el incremento del metal, que afectaría tanto a las partes aéreas del vegetal como al suelo en zonas industriales y próximas a carreteras. Solamente algunos suelos de las zonas a, Sectores I y II, con proporciones elevadas de Pb, se dedican a hortalizas; la mayoría de ellos en las mismas condiciones se emplean para pastos y cereales.

De las anteriores consideraciones se desprende que a veces la utilización del suelo para determinados cultivos no es la adecuada, aunque proponer la eliminación de los mismos en huertas o extensiones mayores sin sugerir otras alternativas de semejante rentabilidad, además de caer fuera de nuestra competencia sería mal acogido por productores y usuarios; no obstante, se puede aconsejar que en los cultivos se tenga en cuenta qué órgano vegetal se va a utilizar en la alimentación animal o humana y en función de ello se elijan especies o variedades que acumulen en él las mínimas proporciones de metales pesados.

CONCLUSIONES

Del estudio de las características estacionales de estos suelos y de la interpretación de los resultados obtenidos en los análisis efectuados sobre horizontes antrópicos se deduce que a veces se alcanzan grados de contaminación elevados en cuanto al Cu, Zn, Cd y Pb en los suelos, circunstancia que debe tenerse en cuenta por estar utilizados para agricultura o ganadería.

En suelos con texturas gruesas la proporción de metales pesados es menor que en los de texturas finas.

Los Sectores I y II correspondientes a Villaverde, Getafe, Pinto, Leganés y Fuenlabrada se encuentran en general más contaminados, coincidiendo con mayores proporciones de arcilla, materia orgánica y valores superiores de pH.

Se confirma, como cabría esperar, que los suelos de las zonas más próximas a Madrid, Villaverde, Getafe, Leganés, Alcorcón y Boadilla del Monte contienen mayores proporciones de los metales estudiados y, por consiguiente, estarían más contaminados que los suelos de las zonas más alejadas.

Como consideración de orden general, se recomienda que en las áreas afectadas por el tipo y grado de contaminación que se ha estudiado no se cultiven especies de las que se utilice para alimentación los órganos vegetales que puedan presentar mayor concentración de metales.

SUMMARY

Agricultural soil samples collected from an industrial area of Madrid Community have been analysed for their trace elements (Cu, Zn, Cd y Pb).

The regional distribution of these heavy metals in soils showed the highest levels near to Madrid city, mainly in the highly urbanised locations, and where most of the industrial activity is concentrated.

Soils with the highest clay fraction, organic matter contents and pH, showed the highest metals levels.

BIBLIOGRAFIA

ADRIANO, D. C., 1986: *Trace elements in the Terrestrial Environment*. Springer-Verlag, New York.

AUBERT, T. H., y PINTA, M., 1977: *Trace elements in soils*. Elsevier, New York, 395 pp.

- BJERRE, G. K., y SCHIERUP, H. H., 1985: «Uptake of six heavy metals by oak as influenced by soil type and additions of cadmium, lead, zinc and copper». *Plant Soil*, 88, 57-69.
- CE, 1986: «Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture». *Official Journal of the European Communities*, núm. L 181/16-12, 14, July 1986.
- ELÍAS CASTILLO, F., y RUIZ BELTRÁN, L., 1977: *Agroclimatología de España*. Cuaderno INIA 7. Ministerio de Agricultura.
- FERNÁNDEZ GALIANO, E., y RAMOS FERNÁNDEZ, A., 1987: *La Naturaleza de Madrid*. Comunidad de Madrid. Consejería de Agricultura y Ganadería.
- GUTIÁN OJEA, F., y CARBALLAS FERNÁNDEZ, T., 1976: *Técnicas de análisis de suelos*. Edit. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- HARDIMAN, R. T.; JACOBY, B., y BANIN, A., 1984: «Factors affecting the distribution of cadmium, copper and lead and their effect upon yield and zinc content in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.)». *Plant and Soil*, 81 (1), 17-27.
- JONES, L. H. P., y JARVIS, S. C., 1981: «The fate of heavy metals». En: *The Chemistry of Soil Process*. GREELAND, D. J.; HAYES, M. H. B. (eds.). John Wiley and Sons Ltd.
- KAZEMI, A., 1984: «Uptake of lead, cadmium and zinc by edible plants from a soil contaminated with waste and sewage sludge compost». *Fortschr. Atomspektrom. Spurenanal.*, 1, 523-531.
- KOMAI, Y., y YAMAMOTO, K., 1982: «Heavy metals contamination in urban soils. III, Metal status of soil-plant systems in parks and arabe lands in Sakai, Osaka». *Bulletin of Osaka prefecture*, B 34: 47-56.
- MC LEAN, A. J., 1974: *Can. J. Soil. Sci.*, 54, 369-378. En: ADRIANO, D. C., 1986.
- RIVAS MARTÍNEZ, S., 1987: *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Serie Técnica ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- SAN JOSÉ, M. A. DE, et al., 1989: *Mapa geológico de España, escala 1:50.000, núm. 559 (19-22), Madrid*. IGME-CPMIE. Madrid.
- VEGAS, R.; PÉREZ GONZÁLEZ, A., y MÍNGUEZ, F., 1975: *Mapa geológico de España, escala 1:50.000, núm. 582 (19-23), Getafe*. IGME-SPI.