

EVALUACION DE LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN SUELOS DE CULTIVO

M. A. CANO PARRILLA¹, A. M. MORENO GARCÍA¹ Y J. GONZÁLEZ PARRA¹

RESUMEN

Se han analizado suelos agrícolas en un área de fuerte impacto industrial de la Comunidad de Madrid. Se determinaron las concentraciones de Pb, Zn, Cu y Cd en suelos y material litológico, y las relaciones entre ellas. Para conocer la disponibilidad de los metales pesados para las plantas, se han extraído del suelo las formas cambiables. Con todo ello se establecen niveles de referencia, de fondo y disponibilidad e índices de acumulación para evaluar el estado de contaminación de los suelos de la zona.

Palabras clave: Metales pesados, Evaluación, Contaminación.

INTRODUCCION

Los contenidos en metales pesados del suelo están íntimamente relacionados con la composición de la roca madre, que representaría el punto de partida de los niveles edáficos de metales que son consecuencia del desarrollo y evolución del suelo; sin embargo en suelos de uso agrícola la concentración de estos elementos puede ser incrementada por la adición de diversos tipos de sustancias que los contienen en mayor o menor proporción.

Una vez depositados en el suelo los metales pesados tienden a mantenerse en horizontes superficiales retenidos bajo formas diversas. Cuando ocupan posiciones de intercambio catiónico son extraíbles por las plantas y pueden constituir un grave problema. Por otra parte, variaciones en las condiciones del medio, como el pH, dan lugar a modificaciones en la proporción de formas solubles.

El objeto de este trabajo es la evaluación del estado de contaminación por Pb, Zn, Cu y Cd en suelos de cultivo de la Comunidad de Madrid, en base a niveles de referencia litológicos, niveles de fondo, y biodisponibilidad de los metales.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos estudiados se encuentran localizados en la Comunidad de Madrid, en las proximidades de Getafe, Leganés, Alcorcón y Boadilla del Monte, y en las carreteras que unen estas poblaciones con Madrid. Corresponden a zonas de elevada demografía y polígonos industriales, con gran intensidad de tráfico y contaminación atmosférica.

La selección y recogida de muestras, $n = 54$ (Fig. 1), se ha llevado a cabo en horizontes superiores del suelo (0-20 cm). El muestreo se ha realizado al azar en una primera etapa, suponiendo la distribución homogénea de aportes contaminantes (atmosféricos, adición de sustancias en suelos agrícolas, etc.), aumentando posteriormente la densidad de muestras donde existía una posible fuente de contaminación.

El clima de la zona es Mediterráneo templado con régimen de humedad seco para la estación de Getafe (altitud 623 m) y húmedo para la de Cuatro Vientos (altitud 690 m).

El uso actual de este territorio es agrícola y ganadero, y da con éxito en secano cereal, vid, almendro y olivo, y en regadío distintos cultivos hortícolas.

Los materiales corresponden a sedimentos Terciarios y Cuaternarios que rellenan la cuenca tectónica del Tajo, predominando al norte una lito-

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

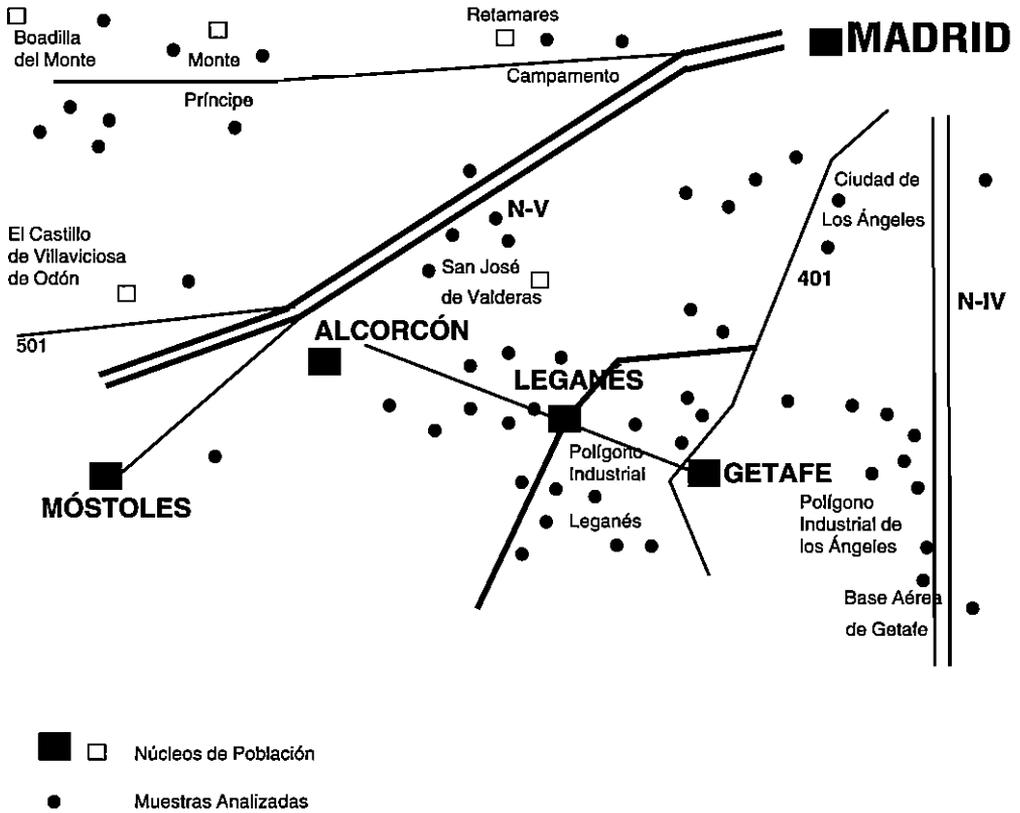


Fig. 1. Área de Estudio.

logía de tipo arenoso, y hacia el sur y sureste de carácter más fino y de origen químico (arcillas, margas y yesos).

Se han determinado los parámetros edáficos en la fracción menor de 2 mm de las muestras de suelos: pH en agua (1: 2.5), carbonatos (método gasométrico con calcímetro de Bernard), carbono orgánico (método Walkley y Black, 1974), análisis granulométrico (Método Internacional), nitrógeno total (método Kjeldahl), capacidad de intercambio catiónico (acetato amónico 1N a pH 7). La determinación de los metales pesados en rocas y suelos se hizo por polarografía inversa, previo ataque de muestras con ácidos perclórico y fluorhídrico para los contenidos totales, y extracción con acetato amónico 1 N a pH 7 para las formas cambiables en suelos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se observa gran diferencia entre los contenidos máximos y mínimos de las fracciones granulométricas (Tabla I), que se justifican por la tendencia general que existe a aumentar la fracción gruesa y a disminuir la fina a medida que es mayor la influencia de los materiales de la Sierra. La textura media del área de estudio en base a los porcentajes medios de las distintas fracciones es franco-arenosa. Los valores de pH en agua están en el intervalo de 5.9 a 8.3, como consecuencia de la diferencia de materiales, correspondiendo los más elevados a la zona meridional (materiales químicos y arcillosos) y los más bajos a la zona noroeste (detríticos arenosos), estas variaciones de materiales se reflejan asimismo en las proporciones de carbonatos del suelo. Los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno son bajos, propios

TABLA I

VALORES ESTADÍSTICOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO, pH EN AGUA, CaCO₃, CARBONO ORGANICO, NITROGENO Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

	A. Gruesa %	A. Fina %	Limo %	Arcilla %	pH	CaCO ₃ g kg ⁻¹	Carbono g kg ⁻¹	Nitrógeno g kg ⁻¹	C.I.C. cmol kg ⁻¹
Media	41,3	27,1	12,6	19,1	7,5	58,3	8,3	1,0	15,5
Máximo	63,2	54,0	48,5	48,5	8,3	270,0	24,3	3,0	77,4
Mínimo	15,0	16,7	1,4	3,4	5,9	6,2	1,1	0,3	5,2
Desviac.	12,1	8,5	8,6	10,5	0,7	48,9	5,5	0,7	12,6

de suelos agrícolas. La capacidad de intercambio catiónica está comprendida entre 15.5 y 77.4 cmol kg⁻¹ y teniendo en cuenta el bajo contenido en materia orgánica, la fracción arcilla será por lo general, responsable de la capacidad de cambio.

Para establecer las concentraciones de fondo de los elementos contaminantes en suelos, pueden usarse métodos estadísticos (TOBIAS Y BECH, 1996). En este estudio se han determinado los contenidos de Pb, Zn, Cu y Cd en rocas y suelos, y a partir de ellos, los siguientes índices sencillos que sirven para dar idea del grado de contaminación que existe:

— Nivel litológico: NL, contenido de metal en la roca o material original del suelo o suelos de la zona.

— Índice de enriquecimiento: IE, relación entre el contenido de metal en el suelo o suelos de una zona y el nivel litológico. El valor de este índice depende de los procesos edáficos naturales y contaminantes existentes.

— Nivel de fondo: NF, contenido medio de un elemento en suelos con proporciones del mismo inferiores a la media de los suelos de la zona.

— Índice de fondo: IF, relación entre el nivel de fondo y el nivel litológico. En este índice se minimiza la influencia de los aportes contaminantes.

— Nivel de acumulación ambiental: NAA, contenido medio de un elemento en suelos con proporciones del mismo superiores a la media de los suelos de la zona.

— Índice de acumulación ambiental: IAA, relación entre el nivel de acumulación ambiental y el nivel litológico. La acumulación estaría originada por procesos naturales y contaminantes.

— Índice de contaminación: IC, relación entre la diferencia IAA-IF y el índice de fondo.

Los valores medios obtenidos de metales en rocas, niveles litológicos, (Tabla II) son: Pb 16, Zn 23, Cu 8 y Cd 0.2 mg kg⁻¹ semejantes a los

TABLA II

VALORES ESTADÍSTICOS DE CONTENIDOS DE Pb, Zn, Cu y Cd (mg kg⁻¹) EN SUELOS Y ROCAS

		Pb	Zn	Cu	Cd
Suelos	x	101,1	126,5	54,2	1,365
	Máximo	593,0	863,1	268,0	11,791
	Mínimo	14,4	16,3	4,1	0,053
	Desviac.	109,0	145,8	302,4	2,000
	x ₁	52,9	56,1	25,0	0,517
	x ₂	238,5	267,1	129,5	3,501
Roca	x	16,0	23,6	8,7	0,199
	Máximo	26,4	29,6	13,7	0,287
	Mínimo	5,4	16,7	4,6	0,093

x: Valor medio.

x₁: media de valores < x (Pb n = 40; Zn n = 36; Cu n = 38; Cd n = 40).

x₂: media de valores > x (Pb n = 14; Zn n = 18; Cu n = 16; Cd n = 14).

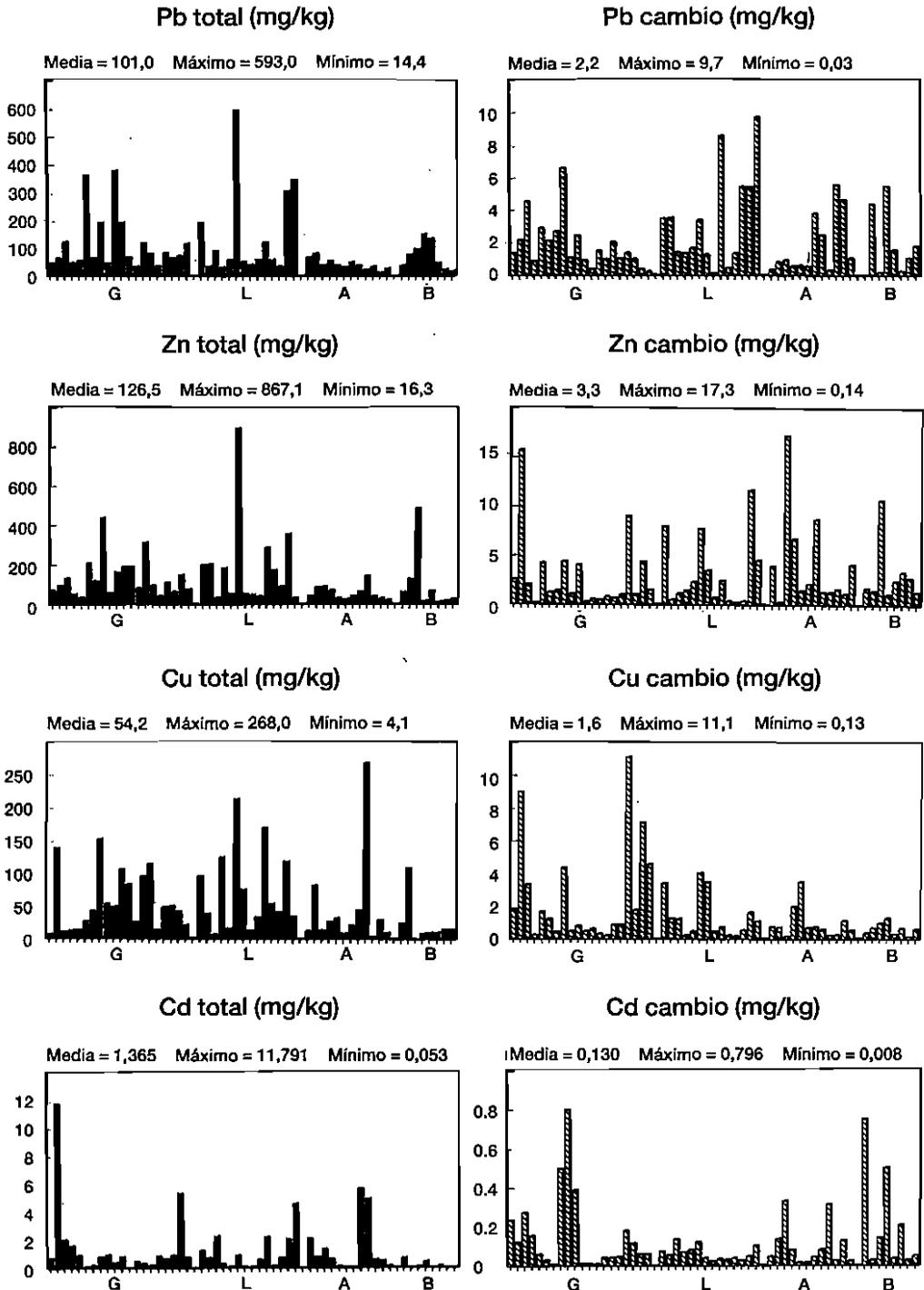


Fig. 2. Concentraciones totales y de cambio de Pb, Zn, Cu y Cd. Getafe: G; Leganés: L; Alcorcón: A; Boadilla: B.

citados por diversos autores (LEVINSON, 1980, KABATA-PENDIAS Y PENDIAS, 1984).

Los contenidos totales en Pb, Zn, Cu y Cd en suelos presentan una distribución heterogénea (Fig. 2), lo que se refleja en las desviaciones calculadas (Tabla II). Los contenidos de fondo de los metales en suelos, x_1 , siguen la misma secuencia que los niveles litológicos $Zn > Pb > Cu > Cd$. Dichos valores coinciden con los valores de referencia VIE A, propuestos por IHOBE (1994) para Pb, Cu y Cd. Los niveles de acumulación ambiental, x_2 , son inferiores a los VIE C (IHOBE, 1994), y representan un riesgo tolerable de toxicidad para la vegetación. El número de muestras con proporciones de metal superiores a la media da idea acerca del porcentaje de suelos posiblemente afectados por contaminación en la zona. Un 25% de los suelos estudiados (Fig. 2) presenta contenidos de Pb total superiores al valor medio, 101 mg kg^{-1} , consecuencia de la existencia de aportes contaminantes. Según DAVIES (1983) cuando los suelos tienen concentraciones superiores a 110 mg kg^{-1} de Pb total suelen ser debidas a procesos de contaminación. La legislación española (BOE, 1990) para suelos que se pretenden enmendar con lodos residuales, limita la concentración de Pb a 50 mg kg^{-1} si el pH es inferior a 7, y a 300 mg kg^{-1} cuando el pH del suelo es superior a 7. En suelos dedicados a la agricultura la relación Pb de cambio/total es fundamental para predecir la absorción del elemento por los vegetales, siendo el valor medio para estos suelos de 3.6 (Tabla III). Las muestras con elevadas proporciones de Pb total tienen niveles de disponibilidad, relaciones cambio/total, menores que las de contenidos de Pb inferiores a la media,

presentando un peligro potencial de toxicidad que se haría efectivo si se produjera una variación en las características del medio, como disminución del pH, originándose un incremento de formas disponibles.

Los valores de Zn consecuencia de los procesos edáficos se incrementan cuando los suelos están localizados próximos a núcleos urbanos. Industrias como las del sector metalúrgico originan concentraciones elevadas de Zn y Cd que afectan al contenido de metales en suelos de zonas cercanas. La tercera parte de las muestras estudiadas presenta valores de Zn superiores a la media de 126 mg kg^{-1} (Tabla II) y con excepción de cuatro muestras (Fig. 2), estarían dentro de los límites dados por la legislación (BOE, 1990). El valor medio de los porcentajes Zn de cambio/total (Tabla III) es de 4.8. A pesar de ser este elemento un micronutriente vegetal, los suelos con elevado porcentaje de cambio pueden presentar problemas de toxicidad, además de los derivados de interacciones con otros nutrientes, sin embargo en estos suelos, para los contenidos de fondo de Zn el porcentaje cambio/total, x_3 , es superior a los de acumulación ambiental, x_4 , que significaría que en general el metal procedente de aportes se encuentra menos disponible para la vegetación que el originado por procesos edáficos naturales.

Los valores de Cu presentan una media de 54 mg kg^{-1} (Tabla II). Un 30% de las muestras tienen contenidos superiores a la media y sólo dos de ellas supen 210 mg kg^{-1} (Fig. 2), límite máximo para suelos con pH superior a 7 que se quieran fertilizar con lodos. Los valores obtenidos son mayores que los citados por PÉREZ (1992) para suelos próximos

TABLA III
VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS PORCENTAJES DE METAL CAMBIO/METAL TOTAL

	Pb	Zn	Cu	Cd
x	3,6	4,8	5,3	18,5
Máximo	32,4	20,4	23,1	90,9
Mínimo	0,2	0,1	0,1	1,0
Desviac.	5,2	5,3	6,7	19,9
x_3	4,3	6,5	6,8	22,2
x_4	1,5	1,3	1,5	7,7

x: Valor medio de los porcentajes cambio/total para la totalidad de los suelos.

x_1 : Valor medio de los porcentajes cambio/total para suelos con contenido total inferior a la media, x_1 .

x_2 : Valor medio de los porcentajes cambio/total para suelos con contenido total superior a la media, x_2 .

a los estudiados, pero más alejados del casco urbano. El Cu de cambio tiene un valor medio de 1.6 mg kg^{-1} (Fig. 2), siendo el porcentaje de cambio respecto al total 5.3 (Tabla III), valor que no supone problemas para la vegetación teniendo en cuenta los contenidos totales y características del suelo. La biodisponibilidad, relación cambio/total, superior para contenidos de fondo de Cu que para los originados por contaminación ambiental, x_4 , indicaría que el metal procedente de aportes sólo constituye un peligro potencial de toxicidad para la vegetación, en las condiciones actuales.

El contenido medio de Cd en los suelos (Tabla II) es 1.36 mg kg^{-1} , presentando un 26% de ellos valores superiores a la media; una muestra de la zona contiene 5.7 mg kg^{-1} de Cd con pH ligeramente ácido, valor muy superior al límite dado por la legislación (CEE, 1986; BOE, 1990), de 1 mg kg^{-1} para suelos con pH 7. En suelos contiguos a los estudiados (PÉREZ, 1992) las proporciones de Cd son inferiores. El porcentaje medio Cd cambio/total es elevado, 18.5 (Tabla III), superando este valor un 35% de las muestras. La relación cambio/total superior para los contenidos de fondo que para los originados por aportes, es consecuencia de que el metal procedente del material original se encuentra en forma más cambiante que el procedente de aportes externos, en esta zona. Los elevados porcentajes de Cd cambiante representan un peligro potencial de toxicidad aunque el contenido total del metal no sea alto ya que aportes del mismo supondrían un incremento de formas cambiantes que pueden ser absorbidas por la vegetación.

Los índices de enriquecimiento medio en estos suelos (IE) correspondientes a Pb, Zn, Cu y Cd

(Tabla IV) presentan valores bastante homogéneos, comprendidos entre 5.4 y 6.9 lo que indica que los procesos edáficos y aportes recibidos no han sido muy diferentes. Los índices de fondo (IF) ponen de manifiesto que el incremento de metales originado por los procesos de formación del suelo ha sido semejante para los cuatro elementos. Los índices de acumulación ambiental (IAA) calculados para suelos con contenidos en metales superiores a la media están comprendidos entre 11.3 y 17.6, correspondiendo al Cd el valor superior, consecuencia de que en estos suelos, los aportes de este elemento han sido superiores a los demás. El índice de contaminación (IC) da idea de la intensidad de la acumulación de elementos teniendo en cuenta el nivel de fondo de la zona, y sigue la siguiente secuencia: $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb}$, estando afectados el 26, 30, 34 y 26% de los suelos estudiados. Los contenidos extraíbles de Pb y Cd son ligeramente superiores para los niveles de acumulación ambiental que para los niveles de fondo, sin embargo para Zn y Cu el contenido en formas disponibles correspondientes al nivel de fondo es el mismo que para el nivel de acumulación ambiental. Esto pone de manifiesto el peligro de toxicidad que existe por aportes continuados de Pb y Cd (fundamentalmente por tráfico intenso) sobre suelos agrícolas.

CONCLUSIONES

La evaluación de la contaminación por Pb, Zn, Cu y Cd de suelos agrícolas de la zona se ha realizado en base a los siguientes índices:

Índices de acumulación de fondo, relacionados con procesos edáficos fundamentalmente, son

TABLA IV
INDICES DE ENRIQUECIMIENTO, FONDO, ACUMULACION AMBIENTAL Y CONTAMINACION

	Pb	Zn	Cu	Cd
IE	6,3	5,4	6,2	6,9
IF	3,3	2,4	2,9	2,6
IAA	14,9	11,3	14,9	17,6
IC	3,5	3,7	4,1	5,8

IE: Índice de enriquecimiento, $x \text{ suelo}/x \text{ roca}$.

IF: Índice de fondo, $x_1 \text{ suelo}/x \text{ roca}$.

IAA: Índice de acumulación ambiental, $x_2 \text{ suelo}/x \text{ roca}$.

IC: Índice de contaminación, $\text{IAA}-\text{IF}/\text{IF}$.

muy semejantes para los cuatro elementos con valores entre 2.4 y 3.3.

Índices de acumulación ambiental, influidos por los aportes externos de los metales considerados, están dentro del rango 11 a 18, correspondiendo el valor superior al Cd y el inferior al Zn.

Índices de contaminación, están comprendidos entre 3 y 6, siendo el Cd el elemento que presenta mayor índice.

Los niveles de disponibilidad medios, porcenta-

jes de metal cambiante respecto al total, en los suelos agrícolas estudiados están comprendidos entre 4 y 5 para Pb, Zn y Cu; para el Cd alcanza el 18%, constituyendo por tanto su mayor disponibilidad para las plantas un peligro real de toxicidad. Los suelos con proporciones de metales superiores a la media tienen porcentajes medios de metal cambiante más bajos que los de menor contenido en metales, de lo que se deduce que el enriquecimiento natural de metales en estos suelos proporciona más formas asimilables que los aportes contaminantes que reciben.

SUMMARY

It has been analyzed the agricultural land in area with a strong industrial impact on the environment in Madrid. The concentrations of heavy metals: Pb, Zn, Cu and Cd in soil, the parent material and their relationships have been determined. So as to know the availability of heavy metals by plants, the exchangeable forms substances have been extracted. By all this, we are trying to determine the state of pollution in agricultural land and reference, back ground and availability levels had been obtained.

Key Words: Heavy metals, Estimation, Pollution.

BIBLIOGRAFIA

- BOE 1990: «Real Decreto 1310/1990 de 29 de octubre por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario». *BOE* 12-11-1990.
- DAVIES B. E. 1983: «A graphical estimation of the normal lead content of some British soils». *Geoderma* 29: 67-75.
- EUROPEAN ECONOMIC COMMUNITY 1986: «Directiva 86/278/Cee de 12 de junio de 1986, reactiva a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura». *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, nº 181/6-12.
- IHOBE 1994: *Investigación de la contaminación del suelo. Plan Director para la protección del suelo*. Manual práctico. Gobierno Vasco.
- KABATA-PENDIAS A. & PENDIAS H. 1984: *Trace elements in soils and plants*. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- LEVINSON A. A. 1980: *Introduction to Exploration Geochemistry*. 2ª Ed. Applied Publi. Ltd.
- PÉREZ CARRERAS L. 1992: *Influencia de los parámetros edáficos en los contenidos de metales pesados en suelos de cultivo de la Comunidad de Madrid*. Ed. Universidad Complutense de Madrid.
- TOBIAS F. J. y BECH J. 1996: «Establecimiento del background de elementos trazas (fracción total y pseudototal) en suelos de una zona periurbana». *Información de suelos para el siglo XXI*. Dpto. de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo. Universidad de Lleida. 93-99.
- WALKLEY A. & BLACK I. A. 1974: «A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils». *J. Soil Sci.* 63: 251-254.