

VALORES DE FONDO Y VALORES GENÉRICOS DE REFERENCIA PARA Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb Y Zn EN SUELOS DEL CAMPO DE CARTAGENA, MURCIA (SE ESPAÑA)

J. A. HERNÁNDEZ BASTIDA, M.T. FERNÁNDEZ TAPIA, M.A. ALARCÓN BERNAL

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Espinardo, Murcia, España. hbastida@um.es

Abstract. The heavy metal soil content is very frequently used to assess soil environmental quality and its degradation level. For it, it is necessary to have available the adequate background for different trace elements. This work shows the results of study of a hundred and three arable layer samples and twelve Ap horizons of different soil types of Campo of Cartagena (Murcia, SE Spain) related to their background for Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn as well as their corresponding baseline levels. They are very calcareous soils (308 g kg^{-1}) generally, with a organic matter content below 14 g kg^{-1} , low values for soluble salts (electrolytic conductivity $\sim 3 \text{ dS m}^{-1}$) and medium content for clay (24 %). The average total content of cited trace elements are very closed to parent material while there is no differences for two soil uses accounted. The background (VF) and the derived baseline values (VGR) are (mg kg^{-1}), respectively:

VF: Cd: 0.22, Co: 7, Cr: 42, Cu: 15, Mn: 277, Ni: 18, Pb: 4, Zn: 47

VGR: Cd: 0.53, Co: 14, Cr: 89, Cu: 40, Mn: 628, Ni: 38, Pb: 44, Zn: 105

Key words: background metals, baseline values, heavy metals, soil quality.

Resumen. El contenido en metales pesados del suelo es uno de los criterios empleados con más frecuencia en la estimación de la calidad ambiental del suelo y su estado de degradación, siendo necesario para su aplicación el establecimiento de niveles de fondo en los metales que se trate y sus correspondientes valores genéricos de referencia. Este trabajo presenta los resultados del estudio de ciento tres muestras de capa arable y doce horizontes Ap de diversos suelos característicos de la comarca del Campo de Cartagena (Murcia, SE España) en relación con sus contenidos de fondo en Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn así como la correspondiente derivación de niveles de referencia. Se trata de suelos muy calizos en general (308 g kg^{-1}), contenido en materia orgánica inferior a 14 g kg^{-1} , niveles bajos de sales solubles (conductividad eléctrica $\sim 3 \text{ dS m}^{-1}$) y valores medios de arcilla (24 %). El contenido medio total de los elementos traza indicados aparece estrechamente ligado a la naturaleza del material original, no apreciándose por el contrario, diferencias significativas entre los usos considerados. Los valores de fondo y los valores genéricos de referencia derivados a partir de aquéllos son (mg kg^{-1}), respectivamente:

VF: Cd: 0.22, Co: 7, Cr: 42, Cu: 15, Mn: 277, Ni: 18, Pb: 4, Zn: 47

VGR: Cd: 0.53, Co: 14, Cr: 89, Cu: 40, Mn: 628, Ni: 38, Pb: 44, Zn: 105

Palabras clave: niveles de fondo, niveles genéricos de referencia, metales pesados, calidad del suelo.

INTRODUCCIÓN

La protección del suelo ha venido siendo una preocupación creciente en los últimos años habida cuenta de la gran trascendencia que para todos los sistemas superficiales terrestres tiene este recurso como filtro y reactor químico con capacidad para neutralizar, desactivar y/o amortiguar los efectos nocivos de muy diversas sustancias tóxicas, a la vez controla la redistribución de elementos en la superficie terrestre, la calidad del agua, etc. Se plantea, por ello, la necesidad de establecer criterios que permitan determinar el estado de degradación del suelo y su calidad ambiental mediante el empleo de algunos parámetros o características del mismo. Se han ido seleccionando así, un cierto número de ellos para estimar dicha calidad, estableciéndose paralelamente niveles críticos o de referencia para los mismos. Uno de estos parámetros ampliamente usados en la actualidad es el contenido total de metales pesados que presenta el suelo, manejado con gran frecuencia como indicador de calidad en relación con los riesgos de toxicidad derivados de la presencia en aquel de altas concentraciones de elementos traza. La diversidad de suelos presentes en cada territorio hace que, a menudo, el establecimiento de estos niveles, tenga un carácter local, estrechamente ligado a las peculiaridades de cada zona geográfica y difícil de ser generalizado a otras áreas. Así las múltiples combinaciones que pueden establecerse entre los muy diversos materiales litológicos presentes en cada uno de ellos con las variadas situaciones geomorfológicas y diversas condiciones ambientales, todo bajo la marcada influencia de la acción humana, determinan un marco complejo que ha suscitado numerosas investigaciones tanto en relación con el establecimiento de dichos niveles como en el de su aplicación a la calidad ambiental del suelo (Calvo *et al.* 1996; IHOBE, 1998; Pérez *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2002; De Miguel *et al.*, 2002; Díez *et al.*, 2002; Gil *et al.*, 2002; Váz-

quez-Garranzo *et al.*, 2002; Junta de Andalucía, 2003; Castillo *et al.*, 2003; Micó, 2005; Sierra, 2005).

El Campo de Cartagena es una comarca natural de la provincia de Murcia (SE España) de gran importancia industrial y, sobre todo, agrícola, uso al que se encuentra dedicada una gran parte de su superficie. Resulta, por tanto, muy conveniente conocer los valores de fondo en diversos elementos traza con el objeto de establecer posibles situaciones de contaminación en los mismos, sobre todo si se tiene en cuenta que tanto las actividades agrícolas intensivas como la presencia en algunos puntos de antiguos depósitos de materiales ácidos de mina, pueden aportar a los mismos elevados contenidos en dichos metales, afectando así de forma considerable la calidad del suelo y, en consecuencia, los usos del mismo. Se presentan en esta publicación los resultados obtenidos para los contenidos de fondo en Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en una amplia zona de la comarca citada, a la vez que se investigan posibles diferencias en la distribución de metales en el suelo ligadas a la naturaleza del material litológico o a los distintos usos a que se encuentran sometidos, derivándose a partir de ellos los correspondientes niveles genéricos de referencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

Situación: Se encuentra delimitada entre los meridianos 0° 46' 30" y 1° 11' 10" y los paralelos 37° 50' 04" y 37° 37' 10", en el Sureste de la Región de Murcia y forma parte de la comarca natural conocida como Campo de Cartagena, en la que se extiende por los Municipios de Murcia, San Javier, Fuente Álamo, Torrepacheco, Llano del Beal y Cartagena. Se trata de un área prácticamente llana de aproximadamente 800 km² de superficie que presenta una ligera inclinación hacia el este y sureste,

rodeada por todos sus bordes, a excepción de la zona litoral del Mar Menor, por elevaciones montañosas y en cuyo interior aparecen algunos cerros o “cabezos” de distinta naturaleza.

Litología: La mayor parte del Campo de Cartagena, en lo que a la llanura se refiere, está recubierto por sedimentos continentales recientes y actuales de distinto tamaño, naturaleza y coloración: limos, arcillas, arenas, etc. Se trata, en general, de materiales cuaternarios, fuertemente carbonatados, encostrados con bastante frecuencia, que constituyen el sustrato litológico sobre el que se han desarrollado la mayor parte de los suelos. Hay que señalar, además, la presencia en menor proporción de materiales metamórficos (Complejos Nevado Filábride y Alpujárride sobre todo): filitas, esquistos, cuarcitas, mármoles, dolomías, etc. Aparecen, por último, diseminados en la llanura diversos cerros o “Cabezos” - Negro, Cebolla, Ventura, Beaza, Roche, Carmolí, etc.- que corresponden a afloramientos volcánicos pertenecientes al vulcanismo neógeno que afectó a todo el SE español. Se trata, en su mayor parte, de andesitas, traquitas, lamproítas y basaltos y que, si bien no representan una gran superficie, resultan muy interesantes desde el punto de vista de la edafodiversidad.

Climatología: Esta zona presenta un clima mediterráneo semiárido, con temperatura media anual en torno a los 17° C y precipitación media anual que ronda los 300 mm, distribuida de forma irregular a lo largo del año, sobre todo en otoño y primavera. La evapotranspiración potencial se sitúa en torno a los 900 mm anuales, por lo que toda la zona presenta un acusado déficit hídrico prácticamente a lo largo de todo el año, lo que hace necesario el uso de agua de riego para los cultivos de esta área. Hay que señalar, por otra parte, la ausencia de cauces de agua continuos, quedando reducida la hidrología superficial a unas pocas ramblas que desembocan directamente en el

Mar Menor (rambla de Los Alcázares, del Beal, del Llano, etc.) o lo hacen a través de la rambla de Fuente Alamo/Albujón o la de Miranda que actúan de colectores de las aguas que llegan a la zona transportando en muchos casos, junto con los sedimentos arrastrados, sustancias tóxicas de distinto tipo (residuos mineros, fitosanitarios, fertilizantes, etc.) que son depositadas posteriormente en las zonas más deprimidas o, muy frecuentemente, en el Mar Menor.

Vegetación: Es muy escasa la presencia de vegetación natural en el área de estudio, dada la intensa actividad agrícola que ha existido desde tiempo inmemorial, quedando reducida a aquellas zonas de cierta pendiente, con suelos de escaso espesor, o con alguna otra limitación que dificulta o impide su aprovechamiento para la agricultura, y aún en esos casos suele ser una etapa de degradación de la serie del lentisco (*Chamaeropo humilis-Rhamnetyroidis Sigmetum*), que es a la que corresponde la vegetación potencial de la zona (Alcaraz *et al.*, 1991).

Edafología: Calcisoles háplicos (Clha), hipercálcicos (Clcch), pétricos (Clpt) y lúvicos (ClLv), y Regosoles calcáricos (RGca) (FAO - ISRIC - ISSS, 1998) son los suelos más ampliamente representados en la zona, (Tabla 1), encontrándose en una gran proporción dedicados a cultivos diversos bajo diferente manejo. De manera marginal y respondiendo a la presencia de factores muy concretos (pendientes acusadas, contenido en sales, material grueso, materiales ácidos de mina, etc. aparecen pequeñas áreas de suelos como Regosoles espólicicos (RGsp), Leptosoles, Solonchaks, etc.

TABLA 1. Porcentaje de tipos de suelos y uso en la zona de estudio.

Tipo de suelo	Global	Cultivados	No cultivado
CL ha, CL cch, CL lv.	69.6	72.5	27.5
CL pt	21.7	72.0	28.0
RG ca, RG sp.	8.7	40.0	60.0

Junto a los tradicionales cultivos de secano - cereales (cebada y avena), vid, almendra, olivo, algarrobo-, se dan importantes cultivos de regadío donde existe posibilidad de utilizar agua para riego (trasvase Tajo-Segura como principal fuente de abastecimiento): frutales (limonero, naranjo, albaricoquero, melocotonero, etc.) y, sobre todo, hortalizas (lechuga, tomate, alcachofa, brócoli, pimiento, etc.)

Material

Se ha llevado a cabo el estudio sobre ciento tres muestras de capa arable (0-30 cm. de profundidad), tomadas de acuerdo con una malla de distribución regular de 3 x 3 km. En el área de afloramientos basálticos al NO de Cartagena (Cabezo Negro de Tallante, Pico Cebolla, etc.) y SO de Fuente Alamo (La Aljorra) se ha realizado un muestreo más detallado (1 x 1 km), al objeto de delimitar el área de influencia de los materiales que aparecen en estos afloramientos. Se han utilizado, además, doce horizontes Ap de diversos suelos representativos del área de estudio.

Para la estimación del valor de fondo en Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn, se han eliminado aquellas muestras que en la distribución espacial del muestreo han coincidido con puntos de manifiesta contaminación por metales (zonas afectadas por estériles mineros, vertederos, áreas inmediatas a las autovías, etc.) así como aquellas otras que si bien no presentaban evidencia de contaminación, sus contenidos metálicos determinados posteriormente han resultado ser considerablemente más elevados de

los que pueden asumirse como “normales” para los distintos materiales litológicos predominantes en la zona. Por otra parte, se han eliminado también las muestras procedentes de los afloramientos volcánicos que aparecen en el área de estudio dado que de forma natural presentan contenidos en Ni, Cr y Mn, sobre todo, muy por encima del resto de muestras. El conjunto de la muestra estudiada está constituida, por tanto, por suelos desarrollados a partir de sedimentos cuaternarios carbonatados, encostados con cierta frecuencia y, en menor proporción, por otros formados a partir de los materiales metamórficos anteriormente citados.

Métodos

Tras la adecuada homogeneización en el campo del conjunto de las submuestras (5) de cada muestra, se ha procedido a la tamización y separación de la fracción menor de 2 mm sobre la que se han llevado a cabo las determinaciones analíticas que se indican a continuación.

Análisis: pH en agua, carbono orgánico, carbonato cálcico total, conductividad eléctrica en el extracto de saturación y análisis granulométrico han sido determinados en las muestras según los métodos recogidos por Van Reeuwijk (1995). La determinación de los contenidos de los elementos traza indicados se ha realizado en las disoluciones resultantes de la digestión ácida de las muestras, previamente molidas a 0.25 mm, en microondas con una mezcla de HF y HNO₃ (método nº 3052, USEPA, 1996), llevándose a cabo las medidas en unos casos mediante Espectrofotometría de Absorción

Atómica, usando atomización electrotrémica (ETAAS) o llama (FAAS), o bien en ICP masas, contrastándose posteriormente estos valores con los correspondientes a dos suelos de referencia (SRM 2711, Montana Soil y SRM 2709, San Joaquin Soil) y corrigiéndose con el peso de suelo seco a 105°C.

Tratamiento de datos: Sobre los resultados obtenidos se ha realizado un análisis exploratorio de datos (EDA) mediante el programa estadístico SPSS.13.0, determinándose: media, mediana, desviación típica, etc. así como la distribución de las poblaciones: conjunto global de muestras y subconjuntos separados en función de las categorías establecidas (usos del suelo: con o sin riego -secano, barbecho y/o natural- y litología (sedimentaria o metamórfica), al objeto de apreciar una posible influencia de esos factores en la distribución de metales en los suelos. La comparación de medias entre los grupos establecidos, previo

el adecuado contraste de varianzas, permite esclarecer la significación de las diferencias presentadas entre dichos grupos. Por último, la determinación de la correlación lineal de Pearson entre muestras ha servido para acercarse al conocimiento de posibles relaciones entre contenidos metálicos y ciertas propiedades del suelo, utilizándose de forma general un nivel de significación de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos objeto de estudio son muy calizos, en general, con pH alcalino, si bien algunas muestras no presentan este constituyente (Tabla 2), mostrando pH ácido. Este es el caso de los Regosoles espólicos que se desarrollan a partir de materiales ácidos de mina procedentes de la antigua actividad minera ejercida en las Sierras de Cartagena y La Unión, colindantes con la zona de estudio.

TABLA 2. Estadísticos descriptivos de los resultados analíticos de las propiedades seleccionadas.

	MO g kg ⁻¹	pH H ₂ O	CaCO ₃ g kg ⁻¹	CE dS m ⁻¹	Arcilla %
Media	13.5	7.9	308	3.2	24.5
Máximo	36.5	8.6	596	28.2	44.6
Mínimo	3.3	5.2	0	0.4	5.3
DE*	5.6	0.5	153	3.6	8.2

*DE = Desviación estándar

Estos suelos tienen habitualmente un bajo contenido en materia orgánica como consecuencia de la fuerte mineralización que se produce por el intenso laboreo agrícola derivado del uso intensivo a que se ven sometidos una gran mayoría de los mismos. El contenido medio en sales solubles es bajo por lo que no suelen presentar problemas de salinización. No obstante, existen puntos concretos en los que este parámetro alcanza valores bastante eleva-

dos ligados a la presencia de una capa freática salina y/o a la intensa fertilización inorgánica que se realiza en la zona (Marín *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2002). Por último, el contenido medio en arcilla se sitúa en rangos de valores intermedios, no superándose el 30 por cien mas que en algunos Calcisoles lúvicos cuyo antiguo horizonte argílico está sirviendo en la actualidad de soporte para el cultivo agrícola.

TABLA 3. Estadísticos descriptivos de los contenidos totales (mg kg⁻¹) en los metales estudiados.

	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Media	0.26	7.5	46.2	19.3	318.7	21.3	10.8	53.1
Mediana	0.22	7.2	41.9	15.1	276.8	18.2	4.3	47.4
Mínimo	0.05	2.7	12.9	6.0	84.2	7.8	0.2	6.3
Máximo	1.14	16.4	97.4	53.7	1164.7	51.5	127.6	156.3
DE*	0.16	3.3	23.8	12.4	175.4	10.05	19.9	28.6

*DE = Desviación estándar

Los estadísticos descriptivos correspondientes a los contenidos metálicos del conjunto de la muestra (Tabla 3) muestran, en general, una distribución irregular para los contenidos de los metales estudiados, apareciendo algunos de ellos en rangos bastante amplios de concentración, como, por ejemplo Cr, Pb o Zn, lo que condiciona una importante desviación típica para los mismos. Estas diferencias pueden estar relacionadas tanto con los distintos materiales litológicos presentes como con los diferentes usos a que se encuentran sometidos estos suelos.

Existe un importante nivel de correlación con un alto grado de significación (Tabla 4) entre la mayor parte de los elementos traza estudiados. Cabe señalar por sus elevados coeficientes de correlación (> 0.6) las que existen

entre Zn y Cd por un lado y Co, Cr, Zn, Cu y Mn -particularmente entre Co y Cr (> 0.9)- por otro, correspondiendo los más bajos a los presentados por el Cu. Esta situación apunta a una fuerte incidencia del material original en la distribución de elementos en el suelo para una mayoría de los mismos, mientras que, además, algunos de ellos -Cd y Zn- pueden verse afectados por las actividades agrícolas a través de la incorporación de fertilizantes (Adriano, 2001). No ocurre así entre los contenidos metálicos y las propiedades del suelo incluidas en la matriz con las que su correlación es, en general, baja o inexistente. Hay que señalar como excepción la correlación negativa y con elevados coeficientes, sobre todo entre Cr y Co, que se presenta entre el contenido en carbonatos totales del suelo y los contenidos metálicos.

TABLA 4. Matriz de correlación lineal de Pearson para los contenidos en metales y algunas propiedades del suelo seleccionadas.

	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	CO ₃	MO	Arcilla
Cd	1										
Co	0.270**	1									
Cr	0.267**	0.925**	1								
Cu	0.123	0.655**	.638**	1							
Mn	0.374**	0.537**	.532**	.264**	1						
Ni	0.418**	0.370**	.411**	-.060	.315**	1					
Pb	0.283**	0.258*	.363**	.071	.321**	.356**	1				
Zn	0.645**	0.733**	.716**	.456**	.477**	0.414**	.345**	1			
CO ₃	-0.331**	-.745**	-	-	-.561	-.417**	-	-	1		
MO	0.171	-.077	-.091	.122	-.055	.026	-.083	.010	.041	1	
Arcilla	0.261*	-.252*	-.204	.008	.099	.0103	-.083	.051	.150	.239*	1

** la correlación es significativa a nivel 0.01

* la correlación es significativa a nivel 0.05

TABLA 5. Valores medios del contenido total de metales (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn) en función del uso y la litología.

FACTOR		METAL (mg kg ⁻¹)							
			Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
USO DEL SUELO	Con riego	0.27	6.5	36.6	16.2	302.7	21.7	10.7	43.9
	Sin riego	0.26	8.0	50.4	20.9	326.9	21.0	10.9	57.8
LITOLÓGICA	Sedimentaria	0.26	6.9	42.1	19.0	307.5	20.7	10.4	49.8
	Metamórfica	0.28	11.2	68.4	21.1	383.9	24.7	13.1	72.2
MEDIA GLOBAL SUELOS		0.26	7.50	46.2	19.3	318.7	21.3	10.8	53.1

TABLA 6. Resultados del contraste de medias (μ) del contenido total de metales entre los distintos grupos.

		Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Usos	P-valor	0.935	0.036	0.007	0.083	0.529	0.649	0.971	0.025
	Hipótesis	Ho	H ₁	H ₁	Ho	Ho	Ho	Ho	H ₁
	$\mu_1 = \mu_2$	SI	No	No	SI	SI	SI	SI	No
Litología	P-valor	0.709	0.000	0.000	0.566	0.133	0.164	0.646	0.006
	Hipótesis	Ho	H ₁	H ₁	Ho	Ho	Ho	Ho	H ₁
	$\mu_3 = \mu_4$	SI	No	No	SI	SI	SI	SI	No

* P-valor > 0.05

Aparecen ciertas diferencias (Tabla 5) entre las medias de las muestras distribuidas por usos y litologías en relación con el conjunto global de muestras, siendo las más acentuadas las que se presentan para Cr, Mn y Zn entre distintos usos y Co, Cr, Mn y Zn para los subgrupos separados por litología, mayores en el segundo caso.

Los resultados del contraste de medias (Tabla 6) entre cada grupo en los aspectos considerados muestran que esas diferencias no resultan estadísticamente significativas para Cd, Cu, Mn, Ni y Pb mientras que sí lo son para Co, Cr y Zn, a la vez para el uso y la litología, si bien con un p-valor muy próximo en algunos

casos al nivel de significación. Estos datos ponen de manifiesto la influencia decisiva de la litología en la diferente distribución de Co, Cr y Zn en los suelos estudiados, elementos que aparecen estrechamente ligados a la composición del material original (Mitchell, 1964; Alloway, 1995).

No resulta tan evidente, sin embargo, la influencia derivada del uso del suelo, bajo riego o sin él. Según estos resultados cabe la posibilidad de que el riego sea la causa de la diferente distribución de estos metales en los dos grupos al facilitar, por una parte, el desplazamiento de los mismos bajo formas más o menos móviles (solubles, complejadas, particuladas, etc.)

y, por otra, a través de la extracción de los mismos ejercida por las cosechas, mucho más amplia e intensa bajo riego que en los otros suelos. Sin embargo, dada la escasa movilidad de estos elementos en los medios fuertemente calcáreos y teniendo en cuenta que la mayor parte de las muestras que no tienen riego se encuentran sobre materiales metamórficos, como pudo apreciarse en las observaciones de campo durante el muestreo, parece más probable que sea, asimismo, la litología la que determine fundamentalmente el incremento en los valores medios de estos elementos en los suelos sin riego.

Para llevar a cabo la propuesta de niveles de fondo, VF, de metales en el área de estudio se ha considerado más adecuado utilizar el conjunto global de las muestras a pesar de las diferencias de medias observadas para Co, Cr y Zn, ya que se apoyan en una población más amplia –más representativa, por tanto- en la que

las muestras de litología metamórfica sólo suponen una de cada siete del total (catorce del total de noventa y seis). Por otra parte, no se ha utilizado la media sino la mediana como estadístico representativo del conjunto de los valores de los contenidos de metales en las muestras estudiadas al no presentar éstas ni tampoco sus valores transformados por distintas vías una distribución normal desde el punto de vista estadístico, como ha sido señalado por diversos autores (Holmgren *et al.*, 1993; Esser, 1996). Por su parte, la derivación de los valores genéricos de referencia (VGR) se ha llevado a cabo por adición de dos veces la desviación típica a los valores de la mediana considerados como valores de fondo (Tabla 7) dada la escasa correlación, señalada anteriormente, entre propiedades del suelo y contenidos en los elementos estudiados que no permite utilizarlas como vía de establecimiento de niveles de referencia.

TABLA 7. Valores de Fondo y Valores Genéricos de Referencia (mg kg⁻¹)

	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
VF	0.22	7	42	15	277	18	4	47
VGR	0.53	14	89	40	628	38	44	105

Los valores obtenidos tanto para los valores de fondo como para los valores genéricos de referencia se encuentran, en general, dentro de los intervalos establecidos por otros autores, citados anteriormente, para áreas geográficas con características climáticas y litológicas similares a la estudiada en este caso, con algunas pequeñas diferencias –la presentada por el Cr como más notable- relacionadas sin duda con particularidades litológicas locales.

CONCLUSIONES

Los contenidos en Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en el conjunto de muestras estu-

diadas se encuentran dentro de los niveles habituales en suelos desarrollados a partir de los materiales, sedimentarios y metamórficos, que aquí se presentan. Asimismo, muestran una alta correlación entre prácticamente todos ellos que manifiesta la fuerte dependencia del material original en la distribución de estos elementos en el suelo.

Aparecen diferencias estadísticamente significativas para Co, Cr y Zn tanto en los grupos separados por litología como por usos, mientras que no las presentan el resto de metales estudiados. La litología aparece como el principal factor que condiciona la distribución de elementos en estos suelos aunque no se

puede descartar que el riego afecte también a la movilidad de los mismos bien sea facilitando su desplazamiento en profundidad bien a través de la extracción ejercida por las cosechas.

Los contenidos en los metales estudiados no presentan una distribución estadísticamente normal por lo que se ha utilizado la mediana como valor estadístico para caracterizar los contenidos medios de aquellos en estos suelos. Por otra parte, no se aprecian, en general, correlaciones significativas entre los parámetros edáficos estudiados y los contenidos metálicos que permitan utilizarlas para la derivación de los valores genéricos de referencia, por lo que ésta se ha realizado adicionando dos veces la desviación típica a los valores de fondo establecidos.

Por último, los valores de fondo y los valores genéricos de referencia obtenidos para Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn son muy similares a los ya establecidos para otras regiones con características climáticas y litológicas similares.

REFERENCIAS

- Adriano, D.C. (2001). Trace elements in terrestrial environments. 2nd ed. *Springer*. New York. 866 p.
- Alcaraz, F., P. Sánchez-Gómez, A. De la Torre y J. Álvarez, J. (1991). Datos sobre la vegetación de Murcia. DM y PPU Eds. Barcelona.
- Alloway, B.J. (1995). The origins of heavy metals in soils. En: Heavy metals in soils, B.J. Alloway (Ed). 2nd ed. *Blackie Academic & Professional*. London.38-57.
- Calvo, R., Macías, F. y Veiga, A. (1996). Metales pesados en suelos de Galicia. Establecimiento de niveles de referencia en suelos desarrollados a partir de diferentes materiales geológicos. (Informe técnico no publicado).
- Castillo, M., Ortega, E. y Martín, J.A. 2002. Valores de referencia de elementos traza en Vertisoles de la provincia de Málaga. *Edafología*,9, 295-304.
- Castillo, M., Martín, J. A. y Jiménez, R. (2003). Estándares de calidad de los suelos del Campo de Montiel (Ciudad Real) en función del contenido en metales pesados. *Edafología*, 10, 23-32.
- De Miguel, E., Callaba, A., Arranz, J.C., Cala, V., E. Chacón, Gallego, E., Alberruche, E., Alonso, C., Fernández-Canteli, P. Iribarren, I. y Palacios, H. (2002). Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. *IGME, Min. de Ciencia y Tecn., Cons. de Medio Ambiente*. Madrid. 167 pp.
- Díez, J., Kidd, P. y Monterroso, C. (2002). Bio-disponibilidad de metales en suelos y acumulación en plantas en el área de Tras-os-Montes (NE Portugal): influencia del material original. *Edafología*, 9, 313-328.
- Esser, K.B. (1996). Reference concentrations for heavy metals in mineral soils, oat, and orchard grass (*Dactylis glomerata*) from three agricultural regions in Norway. *Water, Air and Soil Pollution* 89,375-397
- FAO-ISRIC-ISSS. (1998). World Reference Base for Soil Resources. World Soils Resources Reports nº 84. *FAO*. Roma. 88 p.
- Gil, C., Ramos-Miras, J. y Boluda, R. (2002). Niveles estándar de Cu, Zn y Co y evaluación de la contaminación en los suelos de los invernaderos de la comarca del poniente (Almería, España). *Edafología* 9, 283-294.
- Hernández, J.A., Faz, A., Marín, P., Vela, N. y Ortiz, R. (2002). Salt affected Fluvisols in the Guadalentin Valley (Murcia, SE Spain). En: Man and Soil at the third Millennium, J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins and V. Andreu (Ed). *Geofoma Publishers*, 1573-1584.

- Holmgren., G.S., Meyer, M.W., Chaney, R.L. y Daniels, R.B. (1993). Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils for the United States of America. *Journal of Environmental Quality* 22, 335-348.
- IHOBE. (1998). Calidad del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación (VIE-A, VIE-B y VIE-C). Sociedad Pública de Gestión Ambiental (IHOBE). *Dpto. de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente*, País Vasco, 119 pp.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. (2003). Estudio de elementos traza en suelos de Andalucía (I). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla. 165 pp.
- Marín, P., Faz, A. y Arnaldos, R. (2002). The relationships between salinity and soil use in the central-eastern sector of the Campo de Cartagena, Murcia (S.E. Spain). En: *Man and Soil at the third Millennium*, J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins and V. Andreu (Ed). *Geoforma Publishers*, 1427-1436.
- Micó, C. (2005). Estudio de metales pesados en suelos con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España.
- Mitchell, R.L. (1964). Trace elements in soils. En: *Chemistry of the soil*, F.E. Bear, (Ed). 2ª Ed. Reinhold Publishing Corp. New York. 320-368.
- Pérez, L., Moreno, A.M. y González, J. (2000). Valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados. *Edafología* 7-3, 113-120.
- Sierra Aragón, M. (2005). Niveles de metales pesados y elementos asociados en suelos de la provincial de Almería. Parámetros que los afectan y riesgos de contaminación. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada. España.
- SPSS 13.0. (2001). Base 13.0 for Windows User's Guide. Chicago, IL. SPSS Inc.
- USEPA (1996). Method 3052. Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Bases Matrices. Revision 0. *Environmental Protection Agency (USEPA)*, Washington D.C., 20 pp.
- Van Reeuwijk, L.P. (Ed). (1995). Procedures for Soil Analysis. Fifth ed. Technical Paper 9. *ISRIC*. Wageningen.
- Vázquez-Garranzo, I., Martín, J.A., Moreno, A.M. y González, J. (2002). Calculation of reference values of trace elements in soils in the Community of Madrid (Spain). En: *Man and Soil at the third Millennium*, J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins and V. Andreu (Eds). *Geoforma Publishers*, 1675-1684.