

## ESTUDIO DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS BAJO CULTIVOS HORTÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE ALICANTE.

C. MICÓ, M. PERIS, L. RECATALÁ, J. SÁNCHEZ

CIDE-Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CSIC, Universitat de València, Generalitat Valenciana), Camí de la Marjal s/n, Apartado Oficial, 46470 Albal, Valencia (España), carolina.mico@uv.es

**Abstract.** The analysis of the heavy metal content (Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) was carried out in agricultural soils devoted to vegetable crops within the Alicante province (Spain). A simple random sampling scheme was followed and 54 composite samples were collected according to the optimal sample size calculated statistically. Heavy metal content was determined by an open-vessel digestion and quantified by flame atomic absorption spectrometry. The mean values were 7.2 mg/kg for Co, 30.3 mg/kg for Cr, 19.2 mg/kg for Cu, 21.5 mg/kg for Ni, 24.6 mg/kg for Pb and 51.8 mg/kg for Zn. A statistical analysis was performed with the populations obtained and a comparison with other agricultural soils at the Spanish Mediterranean region was also carried out. Results seem to suggest that soil pollution is not a relevant process in the study area for the heavy metals studied, although some samples showed higher levels of Cr, Cu and Pb indicating a major anthropic influence as a consequence of human activities taking place near to these soils.

**Key words:** Heavy metals, agricultural soils, total content, Alicante.

**Resumen.** En este trabajo se presentan los resultados alcanzados en el estudio del contenido de algunos metales pesados (Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante (España). Para ello se ha realizado un muestreo aleatorio simple obteniéndose un total de 54 muestras, de acuerdo con el tamaño muestral óptimo calculado estadísticamente. El análisis de las muestras se llevó a cabo mediante una digestión con ácidos fuertes y posterior determinación en espectrofotometría de absorción atómica con llama. Las concentraciones medias fueron 7.2 mg/kg para el Co, 30.3 mg/kg para el Cr, 19.2 mg/kg para el Cu, 21.5 mg/kg para el Ni, 24.6 mg/kg para el Pb y 51.8 mg/kg para el Zn. Tras el análisis de los contenidos totales de metales se ha realizado un estudio estadístico de las distintas poblaciones, así como un estudio comparativo con otros resultados obtenidos en otros suelos agrícolas dentro del ámbito Mediterráneo español. Los resultados parecen sugerir que la contaminación del suelo, para los metales pesados estudiados, no es un proceso relevante en el área de estudio, sí bien se han analizado algunas muestras que presentan altos contenidos para el Cr, Cu y Pb indicando una mayor influencia antrópica como consecuencia de actividades humanas potencialmente contaminantes.

**Palabras clave:** Metales pesados, suelos agrícolas, contenido total, Alicante.

### INTRODUCCIÓN

Los metales pesados pueden aparecer en el suelo de forma natural, de modo que su presencia puede no ser, en principio, un indicativo

de procesos de contaminación. En concreto, el contenido de metales pesados en el suelo depende de la composición del material de origen y de los procesos edafogénicos que en él tienen lugar. Sin embargo, la actividad antrópica in-

corpora determinadas cantidades de metales pesados que pueden quedar retenidos en el suelo o ser absorbidos por las plantas y/o cultivos, introduciéndose finalmente en la cadena trófica (Ross, 1994a). Este origen exógeno de metales se presenta en algunos suelos afectados por actividades humanas contaminantes, como son las actividades mineras, los procesos industriales, los residuos urbanos o la combustión de materiales, entre otras. Asimismo, la aplicación de enmiendas agrícolas, el uso de productos fitosanitarios y el propio manejo de los suelos agrícolas son algunas de las causas que también pueden generar concentraciones elevadas de metales pesados en los suelos cultivados (Cala *et al.*, 1985; Soon y Abboud, 1990; Yang *et al.* 2002).

El carácter tóxico y acumulativo de los metales pesados obliga al estudio de su contenido con el fin de evitar su introducción en la cadena trófica y la posible afectación de la salud humana, a través del consumo de cultivos contaminados (Ross, 1994a). Además, el estudio del contenido total de metales pesados en suelos agrícolas resulta de gran importancia ya que permite prever el riesgo potencial que supondría la presencia de elevadas concentraciones de metales, si se produjera una variación de las propiedades edáficas (p. ej., mediante un cambio de uso del suelo).

La determinación del contenido total de metales en muestras de suelo debería llevarse a cabo mediante digestión con ácido fluorhídrico (HF), puesto que éste disuelve completamente los minerales del suelo liberando los metales pesados retenidos en la estructura mineral. Sin embargo, y debido a los problemas intrínsecos que conlleva el uso del HF, se ha extendido la utilización de diversas combinaciones de ácidos fuertes (ácido nítrico, perclórico o clorhídrico, entre otros), que destruyen parcialmente los minerales del suelo y permiten liberar el metal adsorbido a diferentes componentes (p. ej., arcilla, materia orgánica) para su posterior cuantificación. La digestión de las muestras de

suelos con ácidos fuertes es ampliamente utilizada en el ámbito internacional y ha sido propuesta por algunos organismos internacionales (p. ej., ISO).

El objetivo de este trabajo consiste en analizar los contenidos de metales pesados en suelos agrícolas bajo cultivos hortícolas de la provincia de Alicante tras una digestión con ácidos fuertes. A continuación se realiza un estudio estadístico de los contenidos de metales pesados con el fin de caracterizar las distintas poblaciones obtenidas y evaluar posibles procesos de contaminación. Finalmente, y debido a la falta de estándares de calidad del suelo a nivel nacional y en el ámbito de la Comunidad Valenciana, se ha procedido a la comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidas en este estudio con los niveles de metales en otros suelos básicos cultivados que han sido analizados por otros autores en estudios similares, dentro del ámbito Mediterráneo español.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Selección de los puntos de muestreo y toma de muestras

El área de estudio comprende los suelos agrícolas destinados al cultivo hortícola de la provincia de Alicante que ocupan una superficie de 11.534 ha, según el Informe del Sector Agrario Valenciano (CAPA, 2001). Esta superficie fue identificada mediante la información cartográfica sobre usos del suelo de la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte (COPUT, 1991).

La falta de información previa sobre el contenido de metales pesados en estos suelos y las características del área de estudio, que comprende mayoritariamente suelos desarrollados en los sistemas aluvial y aluvial-coluvial según el mapa geocientífico de la provincia de Alicante (AMA, 1991), llevó a la utilización de un procedimiento de muestreo aleatorio simple. La fase de muestreo fue dividida en dos etapas. El

objetivo de la primera etapa de muestreo consistió en obtener información preliminar acerca de la variabilidad de los metales pesados en el suelo para determinar el tamaño muestral óptimo, de acuerdo con la ecuación (1) (Carter, 1993; Tan, 1996; Montiel y Blanco, 2001).

$$n = t^2 s^2 / E^2 \quad (1)$$

donde,  $n$  es el tamaño muestral óptimo que se requiere para caracterizar una población,  $t$  es la  $t$  de Student para  $n-1$  grados de libertad y un nivel de confianza dado,  $s$  es la desviación estándar de la población y  $E$  es el error de muestreo. En nuestro caso, el nivel de confianza seleccionado ha sido del 95% y el error de muestreo fue fijado en un 10% del valor de la media muestral, siguiendo algunas referencias bibliográficas (p. ej., Montiel y Blanco, 2001). Además, se confirmó previamente que las poblaciones seguían una distribución normal.

En julio de 2001 se realizó la primera fase de muestreo en la que se obtuvieron 35 muestras a nivel superficial (0-25 cm), puesto que es la parte del suelo en la cual se produce mayoritariamente la acumulación de los metales pesados (McLean y Bledsoe, 1992) y en la cual se sitúan la mayoría de las raíces de los cultivos hortícolas (Ross, 1994a; Ross y Kaye, 1994). En cada punto de muestreo, que se hizo coincidir con una parcela agrícola, se obtuvo una muestra compuesta formada por 16 submuestras con el fin de caracterizar toda la parcela (Jones, 1985). Las muestras fueron transportadas hasta el laboratorio para su preparación y análisis.

La segunda fase de muestreo se llevó a cabo en octubre de 2001, donde se muestrearón 19 nuevas parcelas, obteniéndose un total de 54 muestras. El objetivo de esta segunda fase consistió, por tanto, en completar el número de muestras necesario, según el valor de la ecuación (1) y, una vez analizadas las nuevas muestras, recalcular el valor del tamaño muestral óptimo para detectar posibles cambios en la variabilidad de la población. El cálculo del tamaño muestral óptimo indicó que el número

final de muestras obtenido (54 muestras) era suficiente para caracterizar adecuadamente las distintas poblaciones de metales pesados, de acuerdo con la variabilidad encontrada para los diferentes elementos.

#### **Preparación y análisis de las muestras.**

Las muestras obtenidas se secaron al aire durante varios días y fueron tamizadas a través de un tamiz de 2 mm de luz, y almacenadas en recipientes de plástico. Una porción homogénea de muestra se pulverizó en un mortero de ágata hasta un tamaño de partícula de 0.25 mm para realizar aquellos análisis que requieren una mayor homogeneidad de la muestra (p. ej., determinación del contenido total de metales pesados). Las muestras pulverizadas se guardaron también en botes de plástico hasta su posterior análisis.

El análisis de aquellas propiedades y características del suelo que resultan relevantes para el control de la dinámica de los metales pesados (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Adriano, 2001; Recatalá *et al.* 2001) se realizó siguiendo los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994): pH (relación suelo-agua 1:2.5), conductividad eléctrica (extracto de saturación), contenido en materia orgánica (método de Walkley-Black), contenido total de carbonatos (calcímetro de Bernard), análisis granulométrico (método de la pipeta) y capacidad de intercambio catiónico (método de Peech y determinación por espectrofotometría de absorción atómica).

El análisis del contenido de metales pesados (Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) fue realizado mediante una modificación del método propuesto por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de Gran Bretaña (MAFF, 1986). En concreto, las modificaciones hacen referencia a la introducción de una etapa de predigestión y el aumento de la temperatura y tiempo de digestión, según Boluda *et al.* (1993). Aproximadamente, se pesó 1 gr de

muestra pulverizada, en tubos de digestión de Pirex de 250 ml de capacidad, y se le añadieron 10 ml de HNO<sub>3</sub> 65%. Las muestras se dejaron durante toda la noche (aproximadamente 16 horas) a temperatura ambiente con el objeto de realizar una fase previa de predigestión. Al día siguiente, las muestras fueron digeridas a 180°C durante 120 minutos y a 200°C durante 30 minutos en un bloque digestor (DK20 Heating Digester). A continuación, se añadieron 10 ml de HNO<sub>3</sub> 65% y 3 ml de HClO<sub>4</sub> 70% y se digirió la mezcla a 200°C hasta la aparición de humos blancos, evitando su desecación. Finalmente, se añadieron 4 ml de HCl 37% para disolver el residuo. La muestra fue centrifugada a 3500 rpm durante 5 minutos y el sobrenadante se enrasó a 50 ml con agua desionizada. La solución resultante fue almacenada a 4°C, en botes previamente lavados y secados adecuadamente. La cuantificación del contenido de metales en la solución se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica por llama (modelo Varian SpectrAA-220FS) en un flujo de aire-acetileno. El análisis del contenido de metales se realizó por triplicado.

#### Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa estadístico SPSS (Statistic Program for Social Sciences) para Windows (Versión 12.0). Las distintas poblaciones de metales pesados se representaron en los correspondientes diagramas de caja y se identificaron los valores atípicos (superan 1.5

veces el percentil p75) y los valores extremos (superan 3 veces el percentil p75). En el contexto de este trabajo, ambos valores reciben la denominación de valores discordantes.

Posteriormente, se calcularon los principales parámetros estadísticos descriptivos de las poblaciones resultantes. La media aritmética se utilizó para representar los contenidos de metales pesados en aquellos casos en los que la población presenta una distribución normal, mientras que la media geométrica se utilizó para aquellas poblaciones que presentan una distribución log-normal (Ma *et al.* 1997). En el caso de poblaciones no normales se utilizó la mediana para la caracterización del valor medio representativo de la población. Para aquellas poblaciones de metales pesados que no siguieron una distribución normal se llevó a cabo la transformación logarítmica ( $\log_{10} X+1$ ) con el objeto de ajustar los datos a una distribución normal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características y propiedades de los suelos

Las características y propiedades de los suelos agrícolas bajo cultivos hortícolas de la provincia de Alicante se presentan en la Tabla 1. El pH varía entre 7.8 y 9.1, por tanto se trata en su mayoría de suelos básicos, si bien el valor máximo analizado presenta un pH alcalino y pertenece a una parcela situada en Villena.

TABLA 1. Valores medios de las principales propiedades y características de los suelos del área de estudio

	pH	CE (dS/m)	MO (%)	CO <sub>3</sub> Ca (%)	CIC (cmol <sub>c</sub> /kg)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
<b>Media</b>	8.3	7.0	2.1	47	16.3	21	45	34
<b>DE</b>	0.2	5.1	0.5	7	4.2	16	9	12
<b>Mínimo</b>	7.8	0.7	0.8	24	8.1	2	14	8
<b>Máximo</b>	9.1	21.6	3.3	68	25.1	65	63	56

DE, desviación estándar

La conductividad eléctrica en el extracto de saturación varía desde 0.7 dS/m hasta 21.6 dS/m. Estos resultados indican que el 34% de las parcelas no presentan problemas de salinidad, mientras que el 66% presentan problemas de salinidad, que en algunos casos puede llegar a ser de importancia. Estos problemas de salinidad ya habían sido descritos por otros autores en la provincia de Alicante (Aragón et al., 1999; Andreu et al., 2002) debido, sobre todo, a la utilización de agua de calidad pobre para el riego de estos suelos y a los largos períodos de sequía, que se reproducen sobre todo al sur de la provincia (comarcas del Bajo Segura y Bajo Vinalopó), donde se concentran la mayoría de las parcelas muestreadas (87%).

En cuanto al resto de propiedades edáfi-

cas, las parcelas analizadas presentan un bajo contenido de materia orgánica (desde el 1% hasta el 3%), como consecuencia del uso intensivo de estos suelos y la rápida mineralización de la materia orgánica que tiene lugar en climas áridos y semiáridos. El contenido en carbonatos es superior del 24%, de tal forma que el 89% de las parcelas presentan niveles muy altos por encima de 40%. El valor medio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 16,3  $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$ , mientras que sólo el 3% de las parcelas presentan una baja capacidad para almacenar nutrientes ( $\text{CIC} < 10 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}$ ). Finalmente, los suelos analizados presentan una textura que varía desde franca-arenosa a arcillosa, siendo predominantes las texturas finas que representan el 67% del total.

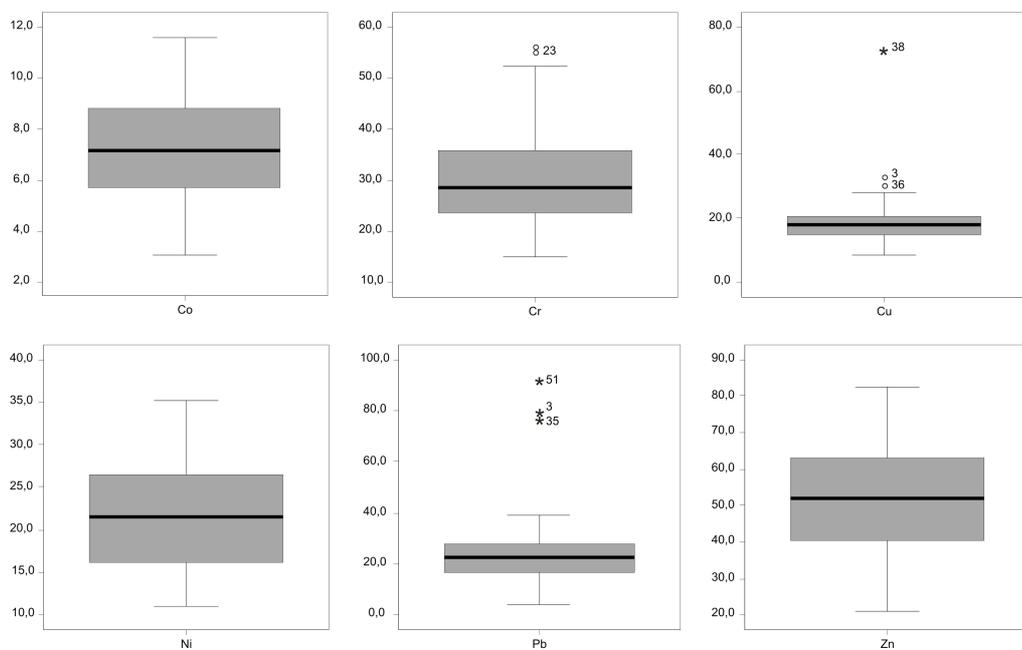


FIGURA 1. Diagramas de caja obtenidos para el Cr, Cu y Pb con las 54 muestras analizadas de suelos agrícolas de la provincia de Alicante. Los valores discordantes pueden ser identificados con el signo “o” (valores atípicos) o el signo “\*” (valores extremos).

### Estudio estadístico de los contenidos totales de metales pesados.

En la Figura 1 se presentan los diagramas de caja obtenidos para todos los metales pesados con las 54 muestras analizadas. Este tipo de gráficas permiten visualizar la presencia de valores atípicos y valores extremos (valores discordantes), así como realizar una primera evaluación acerca de la variabilidad de cada población. En estas gráficas pueden observarse dos valores discordantes para el Cr, tres discordantes para el Cu y tres discordantes para el Pb, mientras que para el resto de metales pesados no se identificaron valores discordantes. Estos valores discordantes representan parcelas agrícolas con un contenido total superior al resto de la población. El origen de estos valores podría deberse a la actividad antrópica contaminante que afecta a estas parcelas y, por tanto, incrementa los niveles de metales pesados en el suelo.

En la Tabla 2 se presenta el estudio de la normalidad para los distintos elementos, así como la significación obtenida una vez aplicado el test de Kolmogorov-Smirnov. Asimismo, en la Figura 2 se presentan los histogramas de las diferentes poblaciones, donde se observa que el Co, Ni y Zn presentan una distribución normal con todos los datos ( $n=54$ ), mientras que el Cu y el Pb presentan distribución normal una vez eliminados los valores discordantes ( $n=51$ , en ambos casos). Fi-

nalmente, el Cr requiere la transformación logarítmica de los datos, eliminando previamente los dos valores discordantes ( $n=52$ ), para poder ajustar los datos a una distribución normal. En consecuencia, la media aritmética puede considerarse como un parámetro estadístico adecuado para caracterizar las poblaciones de Co, Cu, Ni, Pb y Zn, mientras que la media geométrica resulta más apropiada para el Cr.

Los contenidos de metales pesados analizados en los suelos agrícolas de la provincia de Alicante se presentan en la Tabla 3. Las concentraciones medias fueron 7.2 mg/kg para el cobalto, 30.3 mg/kg para el cromo, 19.2 mg/kg para el cobre, 21.5 mg/kg para el níquel, 24.6 mg/kg para el plomo y 51.8 mg/kg para el zinc. Los valores medios obtenidos se encuentran, por tanto, dentro de los rangos considerados normales en la bibliografía (p. ej., Kabata-Pendias y Pendias, 1984), aunque se han identificado algunas parcelas que presentan altos contenidos para el Cr, Cu y Pb. Estos contenidos totales de metales pesados, junto con las propiedades y características edáficas analizadas (p. ej., pH básicos, altos contenidos de carbonatos), sugieren una mayor adsorción de los metales pesados en los componentes de estos suelos, especialmente en el caso de aquellos elementos que presentan una menor disponibilidad a pH básicos y mayor afinidad por los carbonatos (p. ej., Zn) (Moreno *et al.*, 1992; Andreu y Gimeno-García, 1996).

TABLA 2. Tipo de distribución de las poblaciones de metales pesados analizadas.

Metal (n)	Distribución	Test Kolmogorov-Smirnov
Co (54)	Distribución Normal	0.200*
Cr (52)	Distribución Log-Normal	0.200*
Cu (51)	Distribución Normal	0.200*
Ni (54)	Distribución Normal	0.200*
Pb (51)	Distribución Normal	0.200*
Zn (54)	Distribución Normal	0.200*

n, n° de muestras consideradas

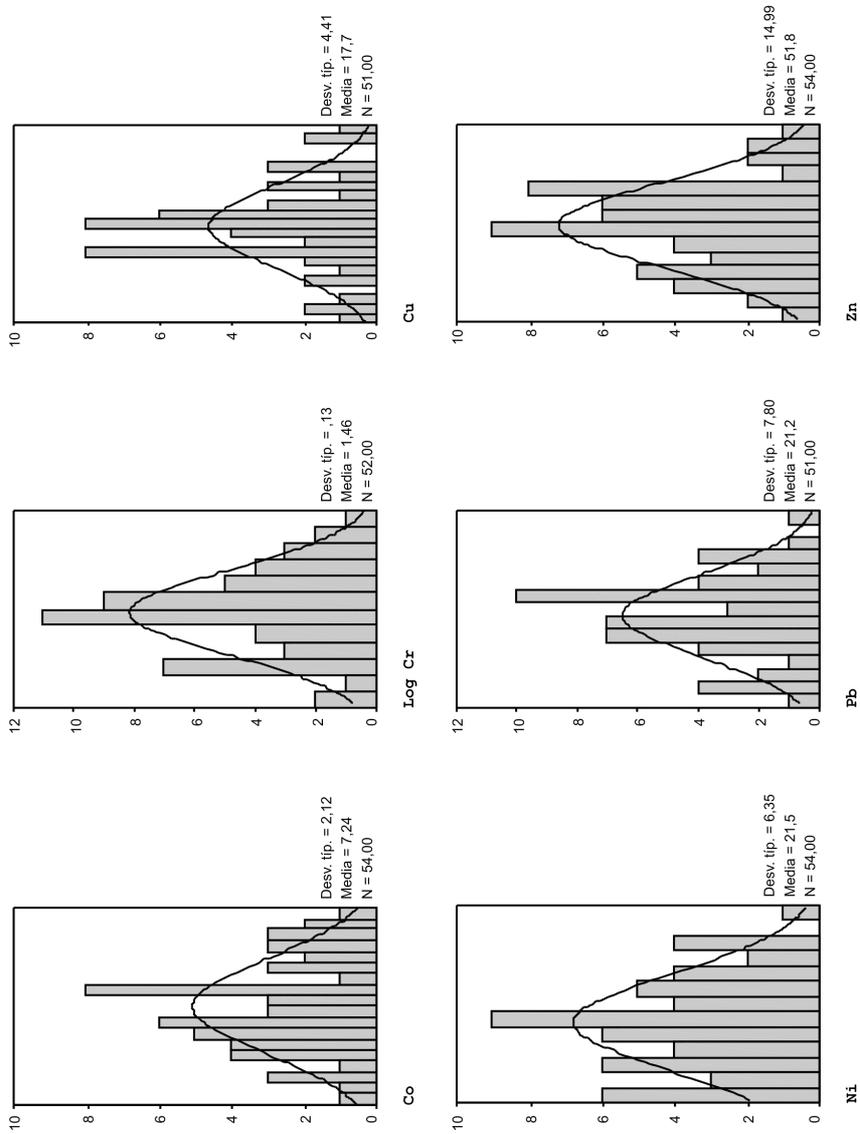


FIGURA 2. Histogramas representativos de las distintas poblaciones de metales pesados analizadas.

TABLA 3. Principales parámetros estadísticos descriptivos de los contenidos totales de metales pesados.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>Media</b>	7.2	30.3 <sup>a</sup>	19.2	21.5	24.6	51.8
<b>DE</b>	2.1	10.1	9.0	6.4	16.1	15.0
<b>Mínimo</b>	3.0	15.0	8.4	11.0	3.8	21.1
<b>Máximo</b>	11.6	56.0	72.5	35.3	91.6	82.5

<sup>a</sup>Media Geométrica; DE, desviación estándar

Aquellos suelos que presentan altos contenidos de Cr, Cu y Pb, y que han sido identificados como valores discordantes, son de gran interés puesto que al tratarse de suelos dedicados al cultivo pueden presentar altas concentraciones de metales pesados en formas biodisponibles que podrían pasar a la cadena trófica a través de los cultivos hortícolas. Por tanto, se requerirían investigaciones adicionales para analizar los contenidos asimilables de metales pesados, así como las concentraciones de estos elementos en los cultivos hortícolas con el fin de evaluar posibles efectos negativos sobre la salud humana.

#### Estudio comparativo con otros estudios

La concentración media de Co en los suelos agrícolas bajo cultivos hortícolas de la provincia de Alicante (7 mg/kg) presenta un valor similar al contenido analizado por Gimeno-García *et al.* (1995) (5 mg/kg) o Andreu y Gimeno-García (1996) (7 mg/kg) en otros suelos agrícolas de la provincia de Valencia. Sin embargo, otros estudios han obtenidos valores medios de Co superiores a los analizados en este trabajo, por ejemplo, Boluda *et al.* (1988) (16 mg/kg) en Valencia o Moreno *et al.* (1992) (54 mg/kg) en suelos de Madrid, lo cual indica que los niveles de Co en el área de estudio son similares o incluso inferiores a los valores medios analizados en otros suelos agrícolas cultivados de características similares.

El Cr, tal y como se mencionó en el apartado anterior, presentó dos parcelas con conte-

nidos totales más elevados al resto (55 y 56 mg/kg, respectivamente), y que fueron estadísticamente identificados como valores discordantes. Estos valores, sin ser demasiado elevados para indicar procesos de contaminación, son ligeramente superiores al valor más alto encontrado por Cala *et al.* (1985) (25 mg/kg) en suelos agrícolas de la Vega de Aranjuez. En cuanto al valor medio de la población analizada en el área de estudio (30 mg/kg), se sitúa por debajo del valor encontrado por Boluda *et al.* (1988) (49 mg/kg) en Valencia.

El Cu presentó tres valores discordantes, siendo la concentración más elevada de 73 mg/kg. Además, el contenido total de Cu en esta parcela supera el valor de referencia establecido para suelos agrícolas de Madrid por Pérez *et al.* (2000) (34 mg/kg) y para suelos agrícolas de Murcia por Pérez *et al.* (2002) (41 mg/kg), que podrían servir como valores orientativos para identificar procesos de contaminación, dada la carencia de valores de referencia propios para la Comunidad Valenciana. Este alto contenido parece indicar una contaminación antrópica, posiblemente debida a la utilización de fertilizantes y otros tratamientos habituales en suelos agrícolas (Millán *et al.*, 1983; Marín *et al.*, 2000). De hecho, el sulfato de cobre ha sido ampliamente utilizado como fungicida y fertilizante en suelos agrícolas de Alicante, así como alguicida añadido al agua de las balsas de riego, para evitar la proliferación de algas (Bello *et al.*, 2003). La media de Cu obtenida en el área de estudio fue de 19 mg/kg indicando un valor medio inferior al

analizado en otros suelos cultivados, como es el caso de Millán *et al.* (1983) (39 mg/kg), Andreu y Gimeno-García (1996) (26 mg/kg); Cano *et al.* (1997) (54 mg/kg) y Marín *et al.* (2000) (29 mg/kg), todos en el ámbito Mediterráneo.

El valor medio de Ni en el área de estudio se sitúa en 22 mg/kg, el cual se presenta próximo a los valores encontrados por otros autores, como por ejemplo, 37 mg/kg de Boluda *et al.* (1988), 24 mg/kg de Gimeno-García *et al.* (1995) y 16 mg/kg de Andreu y Gimeno-García (1996), en La provincia de Valencia, o 29 mg/kg de Marín *et al.* (2000), en suelos de viñedo en la Rioja. En consecuencia, no se observa un enriquecimiento de los contenidos de Ni a partir de las actividades humanas en el área de estudio.

El Pb presentó, al igual que el Cu, tres valores discordantes con concentraciones totales de 76, 79 y 92 mg/kg, respectivamente. Estos valores superan los valores más altos analizados en otros estudios, como los 47 mg/kg determinados por Cala *et al.* (1985) en Madrid, los 50 mg/kg de Sánchez-Camazano *et al.* (1998) en Valladolid o los 64 mg/kg de Marín *et al.* (2000) en La Rioja. Asimismo, el valor máximo de Pb analizado en los suelos, bajo cultivos hortícolas de la provincia de Alicante (92 mg/kg), supera ligeramente el valor de referencia establecido por Pérez *et al.* (2000) para suelos agrícolas de Madrid (88 mg/kg) y Pérez *et al.* (2002) para suelos agrícolas de Murcia (30 mg/kg). Por otro lado, el valor medio de Pb fue de 25 mg/kg, el cual se encuentra próximo a los valores medios encontrados por Sánchez-Camazano *et al.* (1998) (23 mg/kg) o Marín *et al.* (2000) (21 mg/kg), y por debajo de las medias encontradas por Boluda *et al.* (1988) (42 mg/kg), Cano *et al.* (1997) (101 mg/kg) o Moreno *et al.* (1992) (50 mg/kg).

Finalmente, la concentración media para el Zn en Alicante fue de 52 mg/kg, valor que resulta comparable a las medias encontradas

por Millán *et al.* (1983) (57 mg/kg), Boluda *et al.* (1988) (62 mg/kg), Moreno *et al.* (1992) (46 mg/kg), Gimeno-García *et al.* (1995) (51 mg/kg) o Marín *et al.* (2000) (48 mg/kg), todos ellos en el ámbito Mediterráneo. Además, ninguna de las muestras analizadas supera el valor de referencia para suelos agrícolas de Madrid establecido en 109 mg/kg por Pérez *et al.* (2000), ni el valor de referencia establecido por Pérez *et al.* (2002) en 192 mg/kg para suelos agrícolas de Murcia. En consecuencia, tampoco parece observarse un aumento del contenido de Zn en los suelos agrícolas del área de estudio como consecuencia de las actividades humanas contaminantes.

Por todo lo discutido anteriormente, podemos concluir que los suelos agrícolas bajo cultivos hortícolas muestreados en la provincia de Alicante presentan, en general, contenidos totales de metales similares a los analizados por otros autores en suelos agrícolas cultivados, mayoritariamente pertenecientes al ámbito mediterráneo nacional. Además, los niveles para todos los metales pesados analizados son inferiores a las concentraciones máximas admisibles establecidas por Kabata-Pendias y Pendias (1984) a nivel general. Sin embargo, se han detectado algunas parcelas que presentan concentraciones totales de Cr, Cu y Pb más elevadas que el resto de la población, y que han sido identificados estadísticamente como valores discordantes. Estos valores podrían proceder, en el caso del Cu, de la excesiva utilización de productos agroquímicos que contienen Cu, algunas veces en forma de impurezas (Loneragan *et al.*, 1982; Adriano, 2001; Bello *et al.*, 2003). En el caso del Cr, el origen podría deberse a las aguas residuales, urbanas o industriales, utilizadas para el riego de estos suelos, tal y como ha sido referenciado en otros suelos agrícolas (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Ross, 1994b; Adriano, 2001). Finalmente, los altos contenidos en Pb podrían tener un origen antrópico, como consecuencia de la emisión de gases procedentes de la quema de combustibles

fósiles a partir de industrias o de vehículos, así como de las aguas residuales que podría haber afectado a algunas parcelas puntuales, tal y como han señalado diversos autores en el ámbito internacional (e.g., Alloway, 1990; Adriano, 2001; Turer *et al.*, 2001). En estas parcelas se requieren investigaciones adicionales, a corto y medio plazo, para localizar el origen concreto de estos metales, y controlar que estos niveles no aumenten y, por tanto, no se produzca una aportación continuada al suelo con posibles efectos sobre los cultivos y, en definitiva, sobre la salud humana y el medio ambiente.

## CONCLUSIONES

Las poblaciones de Co, Cu, Ni, Pb y Zn obtenidas tras el análisis de 54 parcelas de suelos agrícolas bajo cultivos hortícolas de la provincia de Alicante presentan una distribución normal. Por tanto, los contenidos medios pueden ser caracterizados adecuadamente a través de la media aritmética, en el caso del Co, Cu, Ni, Pb y Zn. En el caso del Cr, la población siguió una distribución log-normal por lo que la media geométrica resulta más adecuada para caracterizar esta población. La comparación de los niveles de metales analizados con otros estudios de la bibliografía realizados en suelos cultivados de características similares parece indicar que los procesos de contaminación no resultan relevantes en el área de estudio. Sin embargo, se han detectado algunas parcelas que presentan altos contenidos para el Cr, Cu y Pb. En estos suelos se requiere una investigación más detallada y profunda, con el fin de controlar el aporte continuado de metales pesados en estos suelos que puede suponer un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- Adriano, D.C. (2001): Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. Second edition, *Springer-Verlag*, New York, 866 p.
- Alloway, B.J. (1990): Heavy Metal in Soils. *Blackie & Son Ltd.*, London, 368 p.
- AMA (1991): Mapa Geocientífico de la Provincia Alicante. Memoria y Cartografía. Agència del Medi Ambient (AMA), Conselleria d'Administració Pública, *Generalitat Valenciana*, Valencia, 93 p.
- Andreu, J.M., García-Sánchez, E., Cerón, J.C., Pulido-Bosch, A., Jordán-Vidal, M.M., Navarro, J. y Mataix-Solera, J. (2002): Algunas consideraciones sobre la calidad de las aguas del acuífero del Tarafa (Alicante, España). En: Groundwater and Human Development, E. Bocanegra, D. Martínez y H. Massone, eds. *Mar de la Plata*, Argentina, 129-133.
- Andreu, V. y Gimeno-García, R. (1996): Total content and extractable fraction of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead, and zinc in calcareous orchard soils. *Commun. Soil Sci. Plan.* 27, 2633-2648.
- Aragón, R., Solís, L. y Hornero, J.E. (1999): Características químicas de las aguas subterráneas de la Cuenca del Segura. Aptitud de uso y principales fuentes de contaminación. En: Jornadas sobre la Contaminación de las Aguas Subterráneas: un Problema Pendiente, J. Samper, A. Sahuquillo, J.E. Capilla y J.J. Gómez, eds. Asociación Internacional de Hidrogeólogos, ITGE y MIMAM, Madrid, 363-372.
- Bello, A., López-Pérez, J.A. y García Álvarez, A. (2003): Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío. Producción Integrada de Hortícolas. Ed. *Mundi-Prensa S.A. y Fundación Rural Caja Alicante*, Alicante, 670 p.
- Boluda, R., Andreu, V., Pons, V. y Sánchez, J. (1988): Contenido de metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en suelos de la comarca La Plana de Requena-Utiel

- (Valencia). *Anal. Edafol. Agrob.* 47, 1485-1502.
- Boluda, R., Errecalde, F., Farré, R. y Lagarda, M.J. (1993). Determination of total content and extractable fraction of cadmium, zinc, cobalt, copper, nickel and lead in soils by atomic absorption spectrometry. Study of a method. Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 179-185.
- Cala, V., Rodríguez, J. y Guerra, A. (1985): Contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. (I) Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Cr. *Anal. Edafol. Agrob.* 44, 1595-1608.
- Cano, M. A., Moreno, A.M. y González, J. (1997): Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo. *Ecología* 11, 83-89.
- CAPA (2000): Informe del Sector Agrario Valenciano. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación (CAPA), *Generalitat Valenciana*, Valencia.
- Carter, M.R. (1993): Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science, *Lewis Publishers*, Florida, 823 p.
- COPUT (1991): Mapa de Usos de la Comunidad Valenciana. Consellería de Obras Públicas y Transportes (COPUT), Valencia (no publicado).
- Gimeno-García, E., Andreu, V. y Boluda, R. (1995): Distribution of heavy metals in rice farming soils. *Arch. Environ. Con. Tox.* 29, 476-483.
- Jones, J.B. (Jr.) (1985): Soil testing and plant analysis: guides to fertilization of horticultural crops. *Horticult. Rev.* 7, 1-68.
- Loneragan, J.F., Robson, A.D. y Graham, R.D. (1982): Copper in Soils and Plants. *Academic Press*, London, 380 p.
- Ma, L.Q., Tan, F. y Harris, W.G. (1997): Concentrations and distributions of eleven metals in Florida soils. *J. Environ. Qual.* 26, 769-775.
- MAFF (1986): The Analysis of Agricultural Materials. Third edition. Reference Book 427, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food of United Kingdom, London, 248 p.
- MAPA (1994): Métodos de Análisis para Suelos. En: Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid, 205-324.
- Marín, A., Alonso-Martinrena, J.I., Andrades, M. y Pizarro, C. (2000): Contenido de metales pesados en suelos de viñedo de la D.O.Ca. Rioja. *Edafología* 7-3, 351-357.
- McLean, J.E. y Bledsoe, B.E. (1992): Behaviour of metals in soils. United States Environmental Protection Agency, EPA/540/S-92/018, Washington D.C., 25 p.
- Millán, E., Abadía, A. y Montañés, L. (1983): Niveles de Fe, Mn, Cu, y Zn en suelos cultivados del valle del Ebro. *An. Aula Dei.* 16, 305-317.
- Montiel, A.M. y Blanco, R. (2001): Métodos de optimización de muestreo en los estudios de las propiedades físicas del suelo. *Edafología* 8, 51-59.
- Moreno, A.M., Pérez, L. y González, J. (1992): Relaciones entre contenidos totales de Zn, Pb, Cu y Cd en suelos y plantas. *Suelo y Planta* 2, 757-771.
- 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, 113-120.
- Pérez, C., Martínez, M.J., Vidal, J. y Navarro, C. (2002): Proposed reference values for heavy metals in calcareous fluvisols of the Huerta de Murcia (SE Spain). En: Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions, A. Fáz, R. Ortiz y A.R. Mermut, eds. *Quaderna*, Cartagena, Murcia, 495-496.
- Recatalá, L., Micó, C., Sánchez, J. y Boluda,

- R. (2001): Approaches for characterising contaminated sites: an analysis considering the role of soil. En: *Third International Conference on Ecosystems and Sustainable Development (ECOSUD 2001)*, Y. Villacampa, C.A. Brebbia y J.L. Usó, eds. *Wessex Institute of Technology*, Boston, 347-356.
- Ross, S.M. (1994a): Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. En: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, S.H. Ross, ed. *John Wiley & Sons Ltd.*, London, 63-152.
- Ross, S.M. (1994b): Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. En: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, S.H. Ross, ed. *John Wiley & Sons Ltd.*, London, 3-25.
- Ross, S.M. y Kaye, K.J. (1994): The meaning of metal toxicity in soil-plant systems. En: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, S.H. Ross, ed. *John Wiley & Sons Ltd.*, London, 28-61.
- Sánchez-Camazano, M., Sánchez-Martin, M.J. y Lorenzo, L.F. (1998): Significance of soil properties for content and distribution of cadmium and lead in natural calcareous soils. *Sci. Total Environ.* 218, 217-226.
- Soon, Y.K. y Abboud, S. (1990): Trace elements in agricultural soils of Northwestern Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 70, 277-288.
- Tan, K.H. (1996): *Soil Sampling, Preparation and Analysis*. *Marcel Dekker Inc.*, New York, 408 p.
- Turer, D., Maynard, J.B. y Sansalone, J.J. (2001): Heavy metal contamination in soils of urban highways: comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio. *Water Air Soil Poll.* 132, 293-314.
- Yang, X.-E., Long, X.-X., Ni, W.Z., Ye, Z.Q., He, Z.L., Stoffella, P.J. y Calvert, D.V. (2002): Assessing copper threshold for phytotoxic and potential dietary toxicity in selected vegetable crops. *J. Environ. Sci. Heal. B*, 37(6), 625-635.