

## EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS CON CULTIVOS VEGETALES DE LA COMARCA DEL BAJO VINALOPÓ (ALICANTE)

C. MICÓ, L. RECATALÁ, M. PERIS, 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), Tel. 961220540, Fax 961270967, E-mail: carolina.mico@uv.es

**Abstract.** Soil pollution can reduce productivity affecting negatively the soil quality. The atmospheric deposition, agricultural practices and the use of wastewater can increase the contents of some contaminants (e.g., heavy metal) in soils. Furthermore, these elements can be transferred from soils to other environmental components such as crops or underground waters. The main objective of this work is to assess soil pollution by Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in agricultural soils devoted to vegetable crops in the area of the Lower Vinalopó (Alicante) and to assess the bioavailability of these elements and, therefore, their potentiality to be transferred from soils to vegetable crops.

**Key words:** Agricultural soils, heavy metals, vegetable crops, Bajo Vinalopó.

**Resumen.** La contaminación puede reducir considerablemente la productividad del suelo incidiendo negativamente sobre la calidad del mismo. La deposición atmosférica, el uso de productos agroquímicos y el riego con aguas residuales pueden incrementar los contenidos de ciertos contaminantes en los suelos (p. ej., metales pesados), ya que persisten en el medio ambiente y pueden ser transferidos desde el suelo hasta otros componentes ambientales como los cultivos o las aguas subterráneas. El objetivo de este trabajo es evaluar, en función de los contenidos de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn, el estado actual de los suelos agrícolas con cultivos vegetales de la comarca del Bajo Vinalopó (Alicante), en referencia a los procesos de contaminación, y evaluar la biodisponibilidad de estos elementos y, por tanto, su potencialidad para ser transferidos desde el suelo hasta los cultivos presentes.

**Palabras clave:** Suelos agrícolas, metales pesados, cultivos vegetales, Bajo Vinalopó.

### INTRODUCCIÓN

A mitad del siglo XX, la provincia de Alicante se encontraba cubierta mayoritariamente por cultivos de secano (almendro, viñedo, algarrobo y olivo) y, en menor medida, por cultivos de regadío (frutales, cítricos y cultivos vegetales) (Roselló, 1965). Durante las décadas siguientes se produjo una reducción acusada de la superficie de secano a favor del regadío, a través de la puesta en riego de terrenos hasta entonces improductivos o con esca-

sos rendimientos. A partir de la década de los 80 tuvo lugar un retroceso en las superficies cultivadas de regadío, no sólo para la provincia de Alicante sino para la horticultura española y valenciana en general, tal y como señalan diferentes autores (p. ej., Padilla, 1998; Maroto, 2002). Este retroceso se debió, entre otras razones, a la presión urbanística en zonas costeras y periurbanas, las escasas reservas de agua para el riego que venían manifestándose desde principio de los años 80 o la reducción de los precios de venta de los cultivos genera-

dos en relación con la situación existente en décadas anteriores.

Los cultivos vegetales de regadío en la provincia de Alicante presentan una extensión 11641 Ha, según los datos del informe del Sector Agrario Valenciano del año 2001 (CAPA, 2002). En consecuencia, Alicante constituye una zona de relevante valor en la economía de la Comunidad Valenciana y de España, donde se originan una gran variedad de productos vegetales destinados a su comercialización en los mercados nacionales e internacionales. Las características geográficas y climáticas de la provincia le otorgan un interés especial ya que, como consecuencia de la agricultura intensiva a la que se ven sometidos los suelos agrícolas con una utilización masiva de productos agroquímicos (Maroto, 2002) y el riego con aguas residuales parcialmente depuradas (Olcina, 2002; Bello *et al.*, 2003), se originan una serie de factores de riesgo de contaminación que requieren un estudio en mayor profundidad. Además, la proximidad de las zonas industriales a las poblaciones y la dispersión de pequeñas industrias en las zonas agrícolas pueden estar condicionando un incremento de elementos tóxicos y contaminantes que requieren una evaluación.

La comarca del Bajo Vinalopó se caracteriza por una intensa actividad agrícola e industrial que, junto con la elevada densidad de población (508 hab/km<sup>2</sup>) (IVE, 2003) y la expansión urbanística, determinan un elevado grado de presión sobre el suelo que puede favorecer el desarrollo de procesos de contaminación a nivel puntual. A pesar de la gran importancia de la agricultura en la Comunidad Valenciana, existe poca información acerca del estado actual de los suelos agrícolas en la provincia de Alicante y, en concreto, de los contenidos de metales pesados en estos suelos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el estudio del contenido de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en diferentes suelos agrícolas con cultivos vegetales de la comarca

del Bajo Vinalopó (Alicante) que han sido muestreados aleatoriamente, con el objeto de evaluar la calidad de estos suelos en cuanto a procesos de contaminación por metales pesados. El estudio comparativo de las concentraciones analizadas en el área de estudio con los resultados obtenidos por otros autores en suelos cultivados de la Comunidad Valenciana, principalmente referidos a la provincia de Valencia, servirá para completar la evaluación del estado actual de estos suelos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio comprende los suelos agrícolas con cultivos vegetales presentes en la comarca del Bajo Vinalopó, al sureste de la provincia de Alicante. Los principales núcleos urbanos de esta comarca son Elche, Crevillente y Santa Pola, siendo el municipio de Elche el que alberga una mayor superficie destinada al cultivo de vegetales de regadío. El climograma de la estación pluviométrica de Elche muestra un déficit de agua que se prolonga desde los primeros meses del año hasta prácticamente el mes de octubre, en el cual se observa un ligero pico de precipitación. La temperatura media anual es 18°C, la precipitación media anual es 286 mm y la evapotranspiración potencial se sitúa alrededor de 908 mm (Pérez-Cueva, 1994).

Como consecuencia de las condiciones fisiográficas y climáticas, el Bajo Vinalopó es un sector deficitario, desde el punto de vista hídrico, sujeto a caudales foráneos de carácter irregular. Al caudal propio del río Vinalopó, que escasamente llega hasta Elche, se le unen las aguas residuales procedentes de los núcleos urbanos y los vertidos adicionados por las actividades industriales, que dan como resultado un caudal de agua salino y contaminante, sobre todo en períodos secos. Asimismo, la comarca del Bajo Vinalopó está exenta de acuíferos de importancia, por lo que ha tenido que recurrir a las escasas aguas sobrantes del río Vinalopó y

del río Segura para su utilización en las tierras de regadío que, por otro lado, ocupan un 87% de la superficie (Bru, 1993).

En cuanto a los suelos de la comarca del Bajo Vinalopó (Ortiz *et al.*, 1985; Forteza *et al.*, 1995), la mayoría de la superficie se encuentra ocupada por Fluvisoles calcáricos que se prolongan hasta alcanzar la Vega Baja del Segura, donde son predominantes. Estos suelos aluviales se encuentran en la parte central del abanico deltaico del Vinalopó, incluyendo la zona de palmeral que bordea el núcleo de Elche, siendo más reducidos en el término de Crevillente. En las proximidades de la laguna del Hondo de Elche aparecen suelos halomorfos. Finalmente, en la zona septentrional predominan los Calcisoles, Cambisoles y Regosoles sobre materiales principalmente constituidos por calizas secundarias y margas terciarias.

En el año 2001, el Bajo Vinalopó contaba con 4982 Ha que correspondían a herbáceos de regadío. Dentro de este grupo, 1355 Ha estaban destinadas al cultivo de vegetales y hortalizas, mientras que 281 Ha se dedicaban al cultivo de tubérculos (CAPA, 2002). Durante este año, en esta zona agrícola se muestrearon 18 parcelas destinadas a cultivos vegetales de regadío, que se localizan en los términos municipales de Elche (16 parcelas) y Crevillente (2 parcelas). Las parcelas agrícolas que fueron muestreadas se seleccionaron mediante un procedimiento de muestreo aleatorio simple, con el objeto de no introducir un sesgo intencionado durante la fase de muestreo y evaluar, de forma aleatoria, el estado actual de estos suelos agrícolas. En cada parcela agrícola se tomó una muestra superficial formada por 16 submuestras repartidas sistemáticamente dentro de la parcela y la profundidad máxima de toma de muestra fue de 20-25 cm. Las muestras de suelo se depositaron en una bolsa de plástico identificada correctamente y se transportaron hasta el laboratorio donde se dejaron secar, a temperatura ambiente, durante varios días. Posteriormente, las muestras se pasaron a través de

un tamiz de 2 mm de luz y se conservaron en recipientes de plástico hasta su posterior análisis.

El análisis de las propiedades y características edáficas se realizó siguiendo los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994) como, por ejemplo, el pH en el extracto acuoso 1:2.5, la conductividad eléctrica en el extracto de saturación, el porcentaje de materia orgánica, el contenido total de carbonatos, la capacidad de intercambio catiónico y el análisis granulométrico que permite estimar la textura del suelo. Para el análisis del contenido total de metales pesados se siguió el método 3051A de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (USEPA, 1998), que utiliza HNO<sub>3</sub> y HCl para la digestión de las muestras de suelo en un horno microondas (MILESTONE® Ethos D). Por otro lado, la determinación de la fracción extraíble de los metales pesados en el suelo mediante una extracción con EDTA 0.05M a pH 7.0, mediante una ligera modificación del método establecido por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de Gran Bretaña (MAFF, 1986), siguiendo el procedimiento descrito por Boluda *et al.* (1993) aplicado también en otros estudios de la Comunidad Valenciana (p. ej., Andreu, 1991; Errecalde *et al.*, 1991; Gimeno-García, 1993). La determinación del contenido total y la fracción extraíble de los metales pesados se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA) y los resultados se expresaron en mg/kg de suelo seco.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físico-químicas de los suelos

Las principales propiedades y características edáficas de los suelos agrícolas bajo cultivos vegetales de la comarca del Bajo Vinalopó se presentan en la Tabla 1. Todos los suelos analizados presentan un pH básico de-

bido a la presencia de materiales carbonatados de origen sedimentario, con valores que oscilan entre 7.9 y 8.8. La conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CE) varía entre 0.8 y 21.6 dS/m. Estos resultados indican que el 72% de las parcelas analizadas presentan problemas de salinidad (CE>4 dS/m) y, dentro de este porcentaje, el 44% son suelos fuertemente salinos (CE>8 dS/m). Estos problemas de salinidad han sido descritos por otros autores en la provincia de Alicante (Ortiz *et al.*, 1985; Aragón *et al.*, 1999; Andreu *et al.*, 2002) debido a los largos períodos de sequía que se reproducen sobre todo al sur de la provincia y, sobre todo, a la utilización de aguas parcialmente depuradas para el riego de estos suelos que incorporan una gran cantidad de sales disueltas. Se requiere por tanto, un uso racional y sostenible de las aguas depuradas y/o desaladas con el fin de no incrementar la concentración de sales en los suelos agrícolas de Alicante. Este hecho es particularmente de gran importancia en el caso de suelos con cultivos vegetales, ya que se trata de cultivos sensibles a los procesos

de salinización y, en consecuencia, pueden ver mermada su producción.

En cuanto al resto de propiedades fisicoquímicas de estos suelos, el porcentaje de materia orgánica (MO) varía entre 1.3 y 3.0%, debido al uso intensivo de estos suelos y la rápida mineralización de la misma en climas áridos y semiáridos. El contenido de carbonatos (CaCO<sub>3</sub>) presenta un valor medio del 52%, de tal forma que todas las parcelas presentan niveles muy altos de carbonatos por encima de 40% como consecuencia de la presencia de materiales carbonatados propios del área Mediterránea. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos agrícolas se sitúa entre 8.8 y 24.1 cmol(+)/kg, mientras que tres de las parcelas analizadas presentan una baja capacidad para almacenar nutrientes para un uso agrícola (CIC<10 cmol(+)/kg) debido al alto contenido en arena. Finalmente, los suelos analizados presentan una textura que varía desde arcillo-limosa a franco-limosa, de tal forma que el 50% de las parcelas presentan texturas finas y el otro 50% presentan texturas medias.

TABLA 1. Propiedades y características edáficas de los suelos con cultivos vegetales en el Bajo Vinalopó.

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (%)
pH	8.3	7.9	8.8	8.3	0.3	3
CE (dS/m)	7.8	0.8	21.6	6.8	5.6	71
MO (%)	2.0	1.3	3.0	2.0	0.5	24
CaCO <sub>3</sub> (%)	52.1	46.4	59.7	52.2	4.0	8
CIC (cmol(+)/kg)	14.1	8.8	24.1	13.3	4.2	8
Arena (%)	29	2	60	31	16	54
Limo (%)	42	28	54	43	7	17
Arcilla (%)	29	12	56	27	11	37

La retención de los metales pesados por algunos componentes del suelo como la materia orgánica o la fracción arcilla, a través de procesos de adsorción, o los carbonatos, a través de procesos de precipitación, constituye un impedimento para los procesos de transferen-

cia de estos elementos desde el suelo hasta los cultivos o el agua subterránea. De hecho, la presencia de pH básicos y el alto contenido de carbonatos en todas las parcelas agrícolas parecen reflejar una baja movilidad de estos elementos. Sin embargo, el aporte de

contaminantes por las fuentes antrópicas incorporan los metales pesados en formas solubles que pueden ser asimiladas por los cultivos presentes o ser transferidas hasta el acuífero. Consecuentemente, el análisis de los contenidos totales y, sobre todo, la determinación de la fracción extraíble que se presentan en los apartados siguientes permitirán evaluar el estado actual de estos suelos agrícolas, en cuanto a procesos de contaminación por metales pesados.

#### Contenido total de metales pesados

A falta de estudios previos en la comarca del Bajo Vinalopó sobre el contenido de metales pesados en suelos agrícolas cultivados, así

como de valores de referencia para estos elementos en la Comunidad Valenciana, se ha realizado un estudio comparativo con otros trabajos sobre suelos agrícolas cultivados del ámbito valenciano. En la Tabla 2 se presentan la media, el valor máximo y mínimo, la mediana, la desviación estándar y la desviación estándar relativa de los contenidos totales de metales pesados en los suelos del área de estudio. Los contenidos medios de estos elementos siguen el siguiente orden: Fe>Mn>Zn>Pb>Cr>Cu>Ni>Co>Cd, mientras que los valores máximos siguen el mismo orden excepto en el caso del Pb que presenta un contenido máximo superior al Zn.

TABLA 2. Contenidos totales de metales pesados en suelos con cultivos vegetales del Bajo Vinalopó (en mg/kg suelo seco).

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (%)
Cd	0.30	0.10	0.77	0.21	0.19	63
Co	6.1	2.9	9.2	6.1	1.6	25
Cr	24.6	15.7	34.7	23.8	4.7	19
Cu	19.9	12.6	31.4	19.8	4.8	24
Fe	11571	6588	17686	11228	2708	23
Mn	265	133	343	274	61	23
Ni	17.8	12.8	26.4	17.2	4.3	24
Pb	27.8	10.5	101.3	18.7	23.3	84
Zn	46.5	22.8	88.8	42.3	16.5	35

El Fe, Mn y Zn son considerados esenciales para los organismos vivos y se encuentran a concentraciones superiores al resto de metales. Los valores medios analizados son 11571 mg/kg para el Fe, 265 mg/kg para el Mn y 46.5 mg/kg para el Zn. Estos tres metales son importantes en estudios de fertilidad y nutrición puesto que son micronutrientes esenciales para el adecuado desarrollo de los cultivos que, además, en el caso del Fe y Mn suelen presentarse en formas poco móviles en suelos carbonatados causando posibles deficiencias (p. ej., pro-

blemas de clorosis férrica). El contenido medio de Fe en el área de estudio es ligeramente inferior al valor medio obtenido por Pomares *et al.* (1998) con una media de 25930 mg/kg en suelos con cítricos de la provincia de Valencia, donde el Fe es aportado como suplemento para evitar deficiencias. En el caso del Mn, el valor medio analizado es similar al obtenido por Pomares *et al.* (1998) con una media de 261 mg/kg. El contenido total de Fe y Mn no es indicador de su potencial de transferencia hasta las plantas, ya que a pesar de los altos conteni-

dos totales ambos elementos se encuentran presentes en forma de óxidos e hidróxidos precipitados a pH básicos. En consecuencia, la determinación del contenido asimilable o fracción extraíble representa un mejor indicador de su biodisponibilidad, como se comenta en el apartado siguiente. El contenido de Zn en los suelos analizados es ligeramente inferior al valor analizado por Andreu (1991) (52 mg/kg) en suelos con cultivos hortícolas y Pomares *et al.* (1998) (59 mg/kg) en suelos con cítricos, ambos en la provincia de Valencia. Los mayores contenidos medios analizados han sido obtenidos por Boluda *et al.* (1988) (62 mg/kg) en suelos de la comarca de Requena-Utiel y Errecalde *et al.* (1991) (71 mg/kg) en la comarca de l'Horta, también en la provincia de Valencia. Por tanto, los contenidos de Fe, Mn y Zn obtenidos en la comarca del Bajo Vinalopó se encuentran incluidos dentro del intervalo considerado normal.

El Ni y Cu también son esenciales para los cultivos aunque se presentan en menores concentraciones que los anteriores, con un contenido medio de 17.8 y 19.9 mg/kg, respectivamente. El valor medio de Ni está próximo a los valores obtenidos por otros autores como, por ejemplo, 12 mg/kg de Pomares *et al.* (1998), 13 mg/kg de Errecalde *et al.* (1991), 16 mg/kg de Andreu y Gimeno-García (1996) y 24 mg/kg de Andreu (1991), mientras que Boluda *et al.* (1988) (37 mg/kg) encuentran contenidos medios superiores. En general, los contenidos normales de Ni en el suelo varían entre 1 y 100 mg/kg (Kabata-Pendias y Pendias, 1984), donde se sitúan todas las parcelas analizadas. Además, ninguna parcela supera el valor de referencia establecido por Pérez *et al.* (2002) en 43 mg/kg para suelos de la huerta de Murcia y todas las parcelas se encuentran por debajo de la concentración máxima establecida por Kabata-Pendias y Pendias (1984) en 100 mg/kg. En cuanto al Cu, algunos estudios han obtenido un valor medio similar al analizado en el área de estudio como, por ejemplo, Andreu (1991)

(19 mg/kg) en la provincia de Valencia. Sin embargo, otros estudios obtienen valores medios superiores como es el caso de Errecalde *et al.* (1991) (25 mg/kg), Andreu y Gimeno-García (1996) (26 mg/kg) y Pomares *et al.* (1998) (31 mg/kg). El contenido normal de Cu en suelos agrícolas se encuentra entre 5 y 50 mg/kg (Kabata-Pendias y Pendias, 1984), si bien concentraciones en el suelo por debajo de 8 mg/kg podrían indicar una cierta deficiencia para los cultivos debido a que se trata de un micronutriente esencial para las plantas (p. ej., McBride, 1994). En nuestro caso, todas las parcelas se sitúan dentro del nivel considerado normal y ninguna de ellas se sitúa por debajo del nivel de deficiencia. Además, ninguna de las parcelas supera el valor de referencia establecido en 41 mg/kg por Pérez *et al.* (2002) para suelos de la huerta de Murcia.

El Cr no es esencial para las plantas superiores y aparece en el área de estudio con una media de 24.6 mg/kg, mientras que el Pb, con una concentración media de 27.8 mg/kg, tampoco es esencial para los organismos vivos y representa un elemento tóxico. Los contenidos de Cr en otros estudios son similares o inferiores como, por ejemplo, Andreu (1991) (13 mg/kg), mientras que otros estudios (p. ej., Pomares *et al.*, 1998 y Boluda *et al.*, 1988) obtienen una media superior (33 y 49 mg/kg, respectivamente). Ninguna de las parcelas alcanza el valor de referencia establecido para el Cr en 73 mg/kg para suelos con cultivos hortícolas de Murcia (Pérez *et al.*, 2002), ni la concentración máxima admisible en suelos establecida por Kabata-Pendias y Pendias (1984) en 150 mg/kg. En el caso del Pb, el valor medio en el área de estudio también se encuentra próximo a los resultados obtenidos por Pomares *et al.* (1998) que obtienen una media de 22 mg/kg. Otros estudios obtienen un valor medio superior como Errecalde *et al.* (1991) (38 mg/kg), Andreu (1991) (41 mg/kg) y Boluda *et al.* (1988) (42 mg/kg). Por tanto, la media de Pb en la comarca del Bajo Vinalopó

es inferior a la mayoría de estudios sobre metales pesados en otros suelos cultivados de la Comunidad Valenciana. Sin embargo, cuatro parcelas superan el valor de referencia establecido por Pérez *et al.* (2002) para suelos agrícolas de Murcia (30 mg/kg). Asimismo, Kabata-Pendias y Pendias (1984) sugieren que niveles superiores a 100 mg/kg son indicadores de posibles procesos de contaminación, de tal forma que uno de los suelos agrícolas analizados supera dicho valor (101 mg/kg). Además, el máximo valor de Pb analizado corresponde a una parcela situada en la parcela de El Plantío, en el municipio de Elche, y próxima a la carretera comarcal AP-3061 que enlaza Elche y San Fulgencio (antigua carretera de Dolores). Este suelo presenta un alto contenido en arcilla (>30%), por lo que este componente podría ser responsable de la mayor adsorción del Pb. Aucejo *et al.* (1997) también encuentran altos contenidos de Pb en suelos cultivados con cítricos en la zona de Villarreal (Castellón). Estos autores relacionan estos niveles con la utilización de aguas residuales para el riego de determinadas parcelas. De hecho, Bru (1993) menciona la reducida presencia de estaciones depuradoras en la provincia de Alicante, hasta hace escasos años, tanto para el tratamiento de aguas residuales urbanas como industriales, que obligaba al uso de estas aguas residuales sin tratamiento previo para la irrigación de los suelos agrícolas. En cualquier caso, concentraciones por encima de 70-80 mg/kg representarían suelos potencialmente contaminados, por lo que en la comarca del Bajo Vinalopó se han identificado varios suelos agrícolas con contenidos de Pb superiores a estos valores.

El Co es un micronutriente que se encuentra en bajas concentraciones en los suelos analizados, con un valor medio de 6.1 mg/kg. Los resultados obtenidos en el área de estudio presentan un orden de magnitud similar a los valores analizados por Errecalde *et al.* (1991) (4 mg/kg), Andreu y Gimeno-García (1996) (7

mg/kg) y Andreu (1991) (10 mg/kg) en otros suelos agrícolas de la provincia de Valencia. Sin embargo, otros estudios obtienen contenidos superiores como, por ejemplo, Boluda *et al.* (1988) (16 mg/kg). Estos resultados indican que los niveles de Co en la comarca del Bajo Vinalopó se encuentran al mismo nivel, e incluso ligeramente por debajo, de las concentraciones medias encontradas en otros suelos agrícolas de la Comunidad Valenciana. Por tanto, no se observa un incremento significativo del contenido de Co como consecuencia de las actividades antrópicas.

Finalmente, el Cd es un elemento contaminante que presenta mayoritariamente un origen antrópico y, a pesar de encontrarse en bajos contenidos, resulta muy tóxico para los organismos vivos cuando se supera un determinado nivel en el suelo. El valor medio en el área de estudio es 0.30 mg/kg, que resulta similar al encontrado por Andreu (1991) con una media de 0.4 mg/kg en suelos agrícolas de la provincia de Valencia. En los suelos agrícolas, la causa de contaminación por Cd más extendida se debe a la aplicación de enmiendas orgánicas (p. ej., lodos de depuración) y la utilización de productos agroquímicos, como los fertilizantes fosfatados, cuyo contenido en Cd puede variar entre 2 y 156 mg/kg (Adriano, 2001). En el caso de los suelos agrícolas de Alicante, los fertilizantes utilizados para incrementar la productividad podrían ser una de las fuentes de este metal. En relación con esto, otros estudios con suelos de arrozal de la Comunidad Valenciana (p. ej., Gimeno-García, 1993) encuentran que los contenidos de Cd pueden verse incrementados como consecuencia del uso de productos fitosanitarios ampliamente utilizados también en cultivos hortícolas. Además, la utilización de aguas residuales insuficientemente depuradas (Bru, 1993; Olcina, 2002) para la irrigación de los suelos del área de estudio puede también ser el origen del Cd en estos suelos. Diferentes autores establecen que concentraciones por encima de 0.5 mg/kg podrían reflejar una in-

fluencia de actividades humanas en los horizontes superficiales (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Alloway, 1990; McBride, 1994). En este sentido, tres parcelas superan este valor, lo que implicaría un ligero incremento respecto a los contenidos considerados normales, mientras que seis parcelas superan el valor de referencia establecido por Pérez *et al.* (2002) para suelos con cultivos hortícolas de Murcia (0.3 mg/kg). Sin embargo, ninguna de las parcelas alcanza la concentración máxima admisible en suelos que ha sido fijada por Kabata-Pendias y Pendias (1984) en 5 mg/kg. Estos resultados sugieren que los contenidos de Cd analizados en los suelos agrícolas de la comarca del Bajo Vinalopó no alcanzan los niveles tóxicos establecidos en la bibliografía, si bien se requeriría realizar un seguimiento de la evolución de estos contenidos debido a la importancia del Cd como elemento tóxico y contaminante.

A modo de resumen podemos señalar que las 18 parcelas con cultivos vegetales que han sido muestreadas de forma aleatoria en la comarca del Bajo Vinalopó presentan, en general, niveles de metales pesados similares o incluso menores a los contenidos analizados por otros autores en suelos cultivados del ámbito mediterráneo valenciano, por lo que puede considerarse que la calidad de estos suelos es aceptable. Además, ninguna de las parcelas analizadas supera los valores límite de concentración de metales pesados establecidos por el Real Decreto 1310/1990, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario, para suelos de pH>7: Cd 3 mg/kg, Cr 150 mg/kg, Cu 210 mg/kg, Ni 112 mg/kg, Pb 300 mg/kg y Zn 450 mg/kg. No obstante, sería conveniente realizar estudios adicionales, con el fin de establecer sistemas de vigilancia de los niveles de contaminantes, especialmente en el caso del Cd y Pb para los cuales se han identificado algunas parcelas con altos contenidos totales, con el fin de preservar las funciones ambientales y productivas de estos suelos agrícolas.

#### **Fracción extraíble de metales pesados**

La determinación de la fracción extraíble en los suelos agrícolas aporta información adicional en cuanto a la situación actual de estos suelos en comparación con la información proporcionada por los contenidos totales, en tanto que permite conocer la movilidad de los metales y, por tanto, la cantidad de metal que puede ser asimilada por los cultivos. Esta fracción representa un mejor indicador acerca del peligro actual que significa la presencia de metales pesados en el suelo y, por tanto, supone una caracterización más adecuada del riesgo existente para la salud humana y/o el medio ambiente. En la Tabla 3 se presentan los resultados alcanzados tras el análisis del contenido extraíble con EDTA de los metales pesados en los suelos del área de estudio.

A partir de los resultados, se observa que los contenidos medios de la fracción extraíble siguen la siguiente secuencia: Mn>Fe>Pb>Zn>Cu>Ni>Co>Cd>Cr. Los elementos más abundantes son el Mn y Fe, al igual que ocurría con los contenidos totales, junto con el Pb, Zn y Cu. El resto de metales (Ni, Co, Cd y Cr) presentan menores contenidos extraíbles, en valores absolutos. Esta secuencia podría llevar a pensar que los contenidos de Mn y Fe presentan una mayor disponibilidad hacia las plantas que el Cd y Cr. Sin embargo, para una mejor aproximación sobre la disponibilidad de estos metales suele calcularse el porcentaje que representa la fracción extraíble con respecto al contenido total, que ha sido aplicado por numerosos autores (p. ej., Errecalde *et al.*, 1991; Andreu, 1991; Andreu y Boluda, 1992). El cociente entre ambas formas permite predecir la fracción del contenido total del metal que quedaría disponible para su absorción por los cultivos en suelos agrícolas. La relación entre el contenido extraíble y el total sigue, por tanto, el siguiente orden: Cd>Pb>Cu>Zn>Mn>Co>Ni>Cr>Fe. Esta secuencia es similar a la encontrada por Andreu y Boluda (1992) en suelos agrícolas próximos al

Parque Natural de la Albufera, en la provincia de Valencia, si bien para estos autores el Cu presenta un mayor porcentaje que el Pb.

TABLA 3. Fracción extraíble de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos vegetales del Bajo Vinalopó (en mg/kg suelo seco).

	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (%)
Cd	0.07	0.02	0.13	0.08	0.03	47
Co	0.20	0.08	0.29	0.22	0.07	32
Cr	0.05	0.02	0.07	0.05	0.01	24
Cu	2.07	0.86	6.34	1.68	1.29	62
Fe	10.6	4.9	15.7	11.0	2.9	28
Mn	15.2	7.2	23.0	15.5	3.9	26
Ni	0.49	0.20	0.89	0.44	0.20	41
Pb	6.97	1.99	29.68	4.34	7.19	103
Zn	3.63	0.89	11.88	3.08	2.96	82

Un porcentaje reducido indica que sólo una pequeña parte del contenido total se encuentra disponible para las plantas (p. ej., Co, Ni, Cr y Fe), mientras que elevados porcentajes (p. ej., Cd y Pb) ponen de manifiesto una mayor movilidad. Estos resultados están en consonancia con lo expuesto por diferentes autores (p. ej., Andreu y Boluda, 1992; Kabata-Pendias, 1995), que señalan al Cd como el elemento más móvil, el Cu como elemento intermedio y al Ni y Cr como elementos de menor movilidad debido principalmente a su unión a los silicatos del suelo. Sin embargo, el Pb también ha resultado ser un elemento bastante móvil en los suelos agrícolas de la comarca del Bajo Vinalopó. Según Chlopecka *et al.* (1996), las formas antropogénicas suelen ser más móviles que los metales procedentes del material originario, por lo que las elevadas fracciones extraíbles parecen corroborar el origen antrópico de metales como el Cd y Pb.

Las concentraciones extraíbles de metales pesados representan entre un 3 y un 10% del contenido total, excepto para el Cd y el Pb que representan más del 20%. Estos porcentajes son semejantes a otros resultados de la bibliografía,

donde la fracción disponible por las plantas representa aproximadamente un porcentaje alrededor del 10%, si bien algunos elementos como el Cd y Pb pueden exceder estos valores (p. ej., Stalikas *et al.*, 1999).

A pesar de que los contenidos extraíbles de Cd presentan un orden de magnitud bajo, estas concentraciones son elevadas respecto a los contenidos totales. La fracción extraíble de Cd viene a representar un 27% (valor medio) del contenido total. Así, un 61% de las muestras presentan un porcentaje superior al 20%. Cabe destacar una parcela próxima al antiguo camino de El Altet, en el municipio de Elche, que presenta un contenido extraíble del 57% respecto al total y, por tanto, la fracción extraíble de Cd representa más de la mitad del contenido total. Estos porcentajes indican una elevada disponibilidad de este elemento. Esta elevada fracción extraíble podría deberse a la utilización de fertilizantes fosfatados que introduciría en el medio edáfico mayores contenidos de Cd en formas disponibles, aunque no se puede descartar su procedencia a partir del uso de aguas residuales para el riego de estos suelos y/o el uso de lodos de depuración para el aporte de

materia orgánica, ya que también suelen ser prácticas habituales en algunos suelos agrícolas del Bajo Vinalopó (Bru, 1993).

Paralelamente, los contenidos extraíbles de Pb también presentan una elevada fracción extraíble respecto al contenido total, con un valor medio del 21%. Estos resultados son superiores a los encontrados por Andreu (1991) con un valor medio del 11% tras extracción con EDTA en suelos cultivados de la provincia de Valencia. Además, cabe mencionar que el 89% de las parcelas presenta un porcentaje mayor al 20% respecto al contenido total, por lo que esta mayor disponibilidad del Pb se manifiesta para la mayoría de las muestras analizadas. Estos resultados están en consonancia con otros resultados de la bibliografía (p. ej., Luo y Christie, 1998; Stalikas *et al.*, 1999), donde el Cd y Pb representan los elementos con una mayor disponibilidad para los cultivos. Este hecho podría explicarse a consecuencia de la contaminación antrópica o externa que incorpora estos metales pesados fundamentalmente en formas solubles e intercambiables.

En el lado opuesto, se encuentran el Cr y Fe que presentan los porcentajes más bajos. El porcentaje medio de Cr extraíble con respecto al total presenta un valor del 0.2%, que es similar al porcentaje establecido por Andreu (1991). Estos resultados parecen sugerir un origen natural del Cr, ya que las formas antropogénicas suelen ser más solubles y disponibles (McLaughlin *et al.*, 2000), si bien en última instancia dependerá de los componentes del suelo. Además, el elevado pH disminuye la solubilidad de este elemento y favorece la presencia de formas insolubles. En definitiva, los valores obtenidos en el área de estudio se encuentran dentro de los rangos normales consultados en la bibliografía, por lo que la fracción extraíble de Cr analizada no parece indicar una disponibilidad importante de este metal. En el caso del Fe, la fracción extraíble representa un 0.1% del contenido total, siendo el porcentaje inapreciable en la mayoría de las

muestras analizadas. Esta baja proporción de contenido extraíble se debe al elevado pH de los suelos, que disminuye la solubilidad del Fe al favorecer la formación de compuestos insolubles. En ocasiones, la fracción extraíble de estos micronutrientes puede aumentar tras el abonado, si bien contenidos incluso superiores al 5% respecto al total no llegan a provocar efectos tóxicos en los cultivos. En el área de estudio, ninguna de las parcelas analizadas alcanza ni supera este porcentaje.

Para el resto de metales pesados, la fracción extraíble con respecto al total presenta valores normales, lo cual parece confirmar un origen natural de estos elementos a partir del material originario, sin un incremento apreciable de los niveles disponibles como consecuencia de las actividades antrópicas.

En definitiva, en algunos de los suelos agrícolas analizados se ha identificado una elevada fracción extraíble con respecto al total para algunos elementos como el Cd y Pb, como consecuencia de actividades humanas de carácter puntual. En estas parcelas deberían realizarse investigaciones adicionales para concretar el origen de dichas concentraciones y llevar a cabo un seguimiento de la evolución de las mismas. Para el resto de parcelas, los contenidos de metales pesados se encuentran dentro de los rangos normales y, por tanto, presentan una calidad aceptable desde el punto de vista de la contaminación por metales pesados.

## CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas bajo cultivos vegetales de la comarca del Bajo Vinalopó han sido caracterizados a través del análisis de las propiedades y características edáficas, así como del contenido total y extraíble de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en 18 parcelas agrícolas seleccionadas aleatoriamente. Estos suelos agrícolas presentan un pH básico y problemas de salinidad en algunas zonas de la comarca. El porcentaje en materia orgánica es relativamente

bajo, como consecuencia del uso intensivo al que se ven sometidos estos suelos, y el contenido en carbonatos es elevado debido a la presencia de materiales carbonatados propios del área Mediterránea. La capacidad de intercambio catiónico presenta valores adecuados para un uso agrícola para la mayoría de parcelas, aunque tres de las parcelas analizadas presentan una baja capacidad para almacenar nutrientes para un uso agrícola, con una CIC inferior a 10 cmol(+)/kg. En cuanto al análisis granulométrico, las partículas de tamaño limo son mayoritarias, y predominan de igual forma las texturas finas y medias.

Los contenidos totales medios de metales pesados siguen la siguiente secuencia Fe>Mn>Zn>Pb>Cr>Cu>Ni>Co>Cd, mientras que los valores máximos siguen el mismo orden excepto en el caso del Pb que presenta un contenido máximo superior al Zn. Las 18 parcelas muestreadas presentan, en general, niveles de metales pesados similares o incluso menores a los contenidos analizados por otros autores en suelos cultivados de la Comunidad Valenciana, por lo que puede considerarse que la calidad de estos suelos es aceptable, salvo en aquellas parcelas en las que se han encontrado valores más elevados. Ninguna de las parcelas analizadas supera los valores límite de concentración de metales pesados establecidos por el Real Decreto 1310/1990, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario, y todas ellas se encuentran dentro de los rangos normales. Finalmente, en algunos de los suelos agrícolas se ha identificado una elevada fracción extraíble con respecto al total para algunos elementos como el Cd y Pb. En estas parcelas deberían realizarse investigaciones adicionales que permitieran concretar el origen de dichas concentraciones y las posibles repercusiones medioambientales. A pesar de esto, se puede confirmar que los suelos agrícolas analizados en la comarca del Bajo Vinalopó no presentan una fuerte contaminación por metales pesados, si bien la contaminación puede

producirse a nivel puntual en aquellos suelos o parcelas afectadas por actividades humanas localizadas. No obstante, sería recomendable una mayor moderación en el uso de productos agroquímicos y la utilización de agua de calidad aceptable para el riego, con el fin de no incrementar los niveles actuales de metales pesados en determinadas parcelas y, en general, en los suelos agrícolas de la provincia de Alicante, y mantener e incluso mejorar la calidad ambiental y productiva de estos suelos.

## 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.
- Andreu, J.M., Cerón, J.C., Pulido-Bosch, A. y Estévez, A. (2002): Aspectos hidrogeoquímicos de las aguas subterráneas del Cabezo de Oro (Alicante, España). En: Groundwater and Human Development, E. Bocanegra, D. Martínez y H. Massone, eds. *Mar de la Plata*, Argentina, 916-921.
- Andreu, V. (1991): Contenido y Evolución de Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni y Zn en Suelos de la Comarcas de l'Horta y la Ribera Baixa (Valencia). Facultad de Farmacia, Universitat de València, Tesis Doctoral.
- Andreu, V. y Boluda, R. (1992): Estudio de índices de contaminación en suelo de las comarcas de l'Horta y la Ribera Baixa (Valencia). En: IV Simposio Nacional sobre Nutrición Mineral de las Plantas. Contaminación: Efectos Fisiológicos y Mecanismos de Actuación de Contaminantes, J. Mataix-Beneyto, C. Alcaraz, I. Gómez, J. Navarro, J. Navarro, M.M. García-Villalba, R. MoraL y F. García, eds. Sociedad Española de Fisiología Ve-

- getal, Alicante, 119-128.
- 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.
- Aucejo, A., Ferrer, J., Gabaldón, C., Marzal, P. y Seco, A. (1997): Diagnosis of boron, fluorine, lead, nickel and zinc toxicity in citrus plantations in Villareal, Spain. *Water Air Soil Pol.* 94, 349-360.
- 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. En: Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 179-185.
- Bru, C. (1993): Los Recursos de Agua. Aprovechamiento y Economía en la Provincia de Alicante. Fundación Cultural Caja de Ahorros del Mediterráneo (CAM), Alicante, 644 p.
- CAPA (2002): Informe del Sector Agrario Valenciano 2001. *Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación* (CAPA), Generalitat Valenciana, Valencia.
- Chlopecka, A., Bacon, J.R., Wilson, M.J. y Kay, J. (1996): Forms of cadmium, lead and zinc in contaminated soils from southwest Poland. *J. Environ. Qual.* 25, 69-79.
- Errecalde, M.F., Boluda, R., Lagarda, M.J. y Farré, R. (1991): Índices de contaminación por metales pesados en suelos de cultivo intensivo: aplicación en la comarca de l'Horta (Valencia). *Suelo y Planta* 1, 483-494.
- Forteza, J., Rubio, J.L. y Gimeno-García, E. (1995): Catálogo de Suelos de la Comunidad Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de Valencia, Valencia, 199 p.
- Gimeno-García, E. (1993): Impacto de la Actividad Agrícola y Especiación Química de Metales Pesados en un Suelo de Arrozal del Parque Natural de la Albufera (Valencia). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Valencia, Memoria de Licenciatura.
- IVE (2003): La Comunidad Valenciana en Cifras 2003. Instituto Valenciano de Estadística (IVE), Valencia.
- Kabata-Pendias, A. y Pendias, H. (1984): Trace Elements in Soils and Plants. *CRC Press*, Boca Raton, Florida, 315 p.
- Kabata-Pendias, A. (1995): Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. En: Heavy Metals Problems and Solutions, W. Salomons, U. Förstner y P. Mader eds. *Springer-Verlag*, Berlin, 3-18.
- Luo, Y.M. y Christie, P. (1998): Bioavailability of copper and zinc in soils with alkaline

- stabilized sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 27, 335-342.
- 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.
- Maroto, J.V. (2002): La horticultura en la Comunidad Valenciana: evolución, análisis técnico y de futuro. En: *Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural*, Generalitat Valenciana ed. Jornada Autonómica de la Comunidad Valenciana, Generalitat Valenciana, Valencia, 1-31.
- McBride, M. (1994): Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, 406 p.
- McLaughlin, M.J., Hamon, R.E., McLaren, R.G., Speir, T.W. y Rogers, S.L. (2000): Review: A bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. *Austr. J. Soil Res.* 38, 1037-1086.
- Olcina, J. (2002). Nuevos retos en depuración y desalación de aguas en España. *Invest. Geog.* 27, 5-34.
- Ortiz, R.; Hernández, S. y Alcaraz, F. (1985): Caracterización edafogenética de los suelos halomorfos de un sector meridional de la Albufera de Elche (Alicante). *Anal. Edafol. Agrob.* 44 (1-2), 93-117.
- Padilla, A. (1998): Colonización Vegetal en Campos Abandonados de la Provincia de Alicante. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 382 p.
- Pérez Cueva, A.J. (1994): Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana (1961-1990). Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport, Generalitat Valenciana, 205 p.
- 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.
- Pomares, F., Estela, M., Tarazona, F., Sala, M.O. y Canet, R. (1998): Estado de contaminación por metales pesados en suelos de cítricos con cultivo ecológico. En: Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Una Alternativa para el Mundo Rural del Tercer Milenio, SEAE ed. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), Valencia, 247-252.
- Roselló, V.M. (1965): Distribución de cultivos en la provincia de Alicante. *Cuad. Geogr.* 2, 1-38.
- Stalikas, C.D., Pilidis, G.A. y Tzouwara-Karayanni, S.M. (1999): Use of a sequential extraction scheme with data normalisation to assess the metal distribution in agricultural irrigated by lake water. *Sci. Total Environ.* 236, 7-18.
- USEPA (1998): Method 3051A. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Washington DC, 24 p.