

## DISPONIBILITAT PER A LES PLANTES DE Mn, Cu, Zn I Cd EN ELS SÒLS DE DIFERENTS SISTEMES AGRÍCOLES A CATALUNYA

J. M. Virgili,<sup>1</sup> A. Bosch,<sup>1</sup> M. Pérez<sup>2</sup> i J. Boixadera<sup>1, 3</sup>

### RESUM

Es va avaluar el contingut del sòl en Mn, Cu, Zn, Ni i Cd fent una extracció amb DTPA, segons el mètode de Lindsay i Norvell (1969). Les mostres analitzades procedien de parcel·les agrícoles d'arreu de Catalunya, conservades al Banc de Mostres de Sòls del Mapa de Sòls de Catalunya del DARP.

Els resultats es van agrupar per sistemes agrícoles en funció de l'origen de les mostres, ja que dins de cada un es pot assumir una reducció important en l'interval de variació de diferents factors. Es va realitzar una comparació estadística entre els valors mitjans dels diferents sistemes agrícoles, entre els valors mitjans de les dues profunditats de sòl considerades, i una interpretació agronòmica.

1. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure, 177. Lleida.

2. Laboratori Agroalimentari. Carretera de Vilassar de Mar a Cabriels, s/n. 08348 Cabriels.

3. Secció d'Avaluació de Recursos i Noves Tecnologies. DARP. Generalitat de Catalunya. Rovira Roure, 177. 25006 Lleida.

Els resultats van indicar que els sòls procedents d'horticultura intensiva del Maresme són els que tenen continguts disponibles més elevats dels metalls considerats. D'altra banda, es fa palès que els valors estan condicionats tant pel material originari del sòl com per l'acció antròpica. Per al Cu i el Zn en les mostres de sòls del Maresme els continguts trobats estan molt per sobre dels mínims considerats com a agronòmicament satisfactoris.

PARAULES CLAU: contaminació, disponibilitat, biodisponibilitat, DTPA.

### RESUMEN

Se evaluó el contenido del suelo en Mn, Cu, Zn, Ni y Cd haciendo una extracción con DTPA, según el método de Lindsay y Norvell (1969). Las muestras analizadas procedían de parcelas agrícolas en cualquier parte de Catalunya, conservadas en el Banco de Muestras de Suelos del Mapa de Suelos de Cataluña del DARP.

Los resultados se agruparon por sistemas agrícolas en función del origen de las muestras, ya que dentro de cada

uno de ellos se puede asumir una reducción importante en el intervalo de variación de diferentes factores. Se realizó una comparación estadística entre los valores medios de los diferentes sistemas agrícolas, entre los valores medios de las dos profundidades de suelo consideradas, y una interpretación agronómica.

Los resultados indicaron que los suelos procedentes de horticultura intensiva del Maresme son los que tienen contenidos disponibles más elevados de los metales considerados. Por otro lado, se pone de manifiesto que los valores están condicionados tanto por el material originario del suelo como por la acción antrópica. Para el Cu y el Zn en las muestras de suelos del Maresme los contenidos encontrados están muy por encima de los mínimos considerados como agronómicamente satisfactorios.

**PALABRAS CLAVE:** contaminación, disponibilidad, biodisponibilidad, DTPA.

#### **ABSTRACT**

The Mn, Cu, Zn, Ni and Cd contents of the soil were evaluated by means of DTPA extraction according to the Lindsay and Norvell (1969) method. The soil samples analysed came from agricultural fields from all over Catalonia, stored in the Soil Samples Bank of the Catalonia Soil Map (DARP).

The results were grouped by agricultural systems in function of the origin of the samples as a significant reduction in the variation of the different

factors for each agricultural system may be expected. A statistical analysis of the median values from the different agricultural systems was carried out, together with the median values for the two soil depths studied and an agronomic interpretation.

The results show that the soils from the highly intensive horticultural system in the Maresme have the highest contents of the metals studied. On the other hand, it is clear that the soil values encountered are conditioned by the parent soil material as well as by anthropogenic activity. The Cu and Zn contents in the samples from the Maresme are well above the minimum contents considered satisfactory agronomically.

**KEY WORDS:** pollution, availability, bio-availability, DTPA.

#### **1. INTRODUCCIÓ**

La contaminació dels sòls per metalls pesants és particularment negativa per a la qualitat d'aquest recurs, atesa la seva difícil reversibilitat quan es degrada. Una extensa investigació s'ha dut a terme des dels anys setanta als països més desenvolupats per tal d'arribar a avaluar, de manera cada cop més precisa, el potencial de transferència dels metalls pesants des del sòl cap a la cadena alimentària. La preocupació per aquest fet s'incrementa actualment, entre altres raons perquè s'està estenent la pràctica d'aplicar fangs de depuradora i altres residus orgànics als sòls agrícoles, per tal de minimitzar el volum de residus que arriben als abocadors. Els prin-

cipals perjudicis de les elevades concentracions de metalls pesants en els sòls són, d'una banda, la fitotoxicitat, i de l'altra, l'elevada exposició de persones i animals a aquests elements, bàsicament per la introducció en la cadena tròfica.

Des de l'any 1986 existeix una normativa comunitària (Directiva 86/278/CEE) que regula els continguts màxims que poden assolir els sòls en metalls pesants, fixa els valors màxims de concentració en els llots i fangs d'estacions depuradores amb destinació a sòls i estableix les aportacions màximes anuals en sòls cultivats. El Real Decreto núm. 1310, de 29 d'octubre de 1990 (BOE, núm. 262, any 1990), transposició de l'esmentada Directiva, estableix el valor límit de concentració de metalls pesants en el sòl en funció del seu pH, i també valors límit per a les quantitats anuals de metalls pesants que es poden introduir en un sòl durant deu anys.

La legislació vigent està referida a continguts totals dels diferents elements en el sòl, però cal tenir ben present també des d'un punt de vista agronòmic que en realitat interessa arribar a diferenciar els següents conceptes:

- contingut total d'un element en el sòl,
- disponibilitat de l'element per a la planta,
- absorció de l'element per part de la planta.

Estudiar la disponibilitat (biodisponibilitat) dels metalls pesants per a les plantes és, mediambientalment, un enfocament alternatiu encara que, en cer-

ta manera, parcial respecte a l'estudi dels continguts totals. L'estudi dels continguts disponibles té un gran interès, especialment perquè serveix per predir l'absorció per a les plantes (Tiller, 1989) i també perquè no existeixen gaires estudis d'aquest tipus (Abadia *et al.*, 1984) i encara menys en un entorn en què cada cop arriben més metalls pesants al sòl.

Diversos mètodes d'extracció s'han usat per avaluar les diferents formes químiques dels metalls en el sòl per a veure si la forma química de l'element i les característiques del sòl afecten la facilitat d'extracció i es correlacionen bé amb l'assimilació per les plantes. Entre els agents extractants més freqüentment emprats hi ha l'EDTA 0,02 M, acetat amònic 0,5 M i àcid acètic 0,5 M a pH 4 (COMIFER, 1981); i el DTPA 0,005 M, clorur càlcic 0,01 M i trietanolamina 0,1 M a pH 7.3 (Lindsay i Norvell, 1969).

L'enfocament triat en aquest estudi, consistent a considerar les dades segons els diferents sistemes agrícoles d'on procedeixen, dóna molta informació. Segons Russell i Wilson (1994), un sistema agrícola es defineix com 'una classe d'explotacions agràries estructurades de manera similar'. Els mateixos autors defineixen l'explotació agrària com 'una unitat de presa de decisions que comprèn les terres d'un mateix propietari, el sistema de cultiu i el sistema d'explotació ramadera, i que obté productes vegetals i animals per al consum i la venda'.

Els objectius que es van establir en aquest treball, partint d'un conjunt de

mostres representatives d'alguns dels sistemes agrícoles més representatius de Catalunya i emmagatzemades al Banc de Mostres de Sòls del DARP, van ser els següents:

— Avaluar, per a diversos sistemes agrícoles de Catalunya, la disponibilitat de Mn, Cu, Zn, Ni i Cd, relacionant la disponibilitat d'aquests elements amb altres paràmetres del sòl i/o amb el ma-neig existents al sistema agrícola.

— Avaluar la possible contaminació del sòl per aquests metalls.

— Veure la viabilitat d'utilitzar un únic extractant que proporcioni informació sobre diferents elements des d'ambdós punts de vista: disponibilitat i contaminació.

## **2. MATERIAL I MÈTODES**

### **2.1. Procedència de les mostres**

Se seleccionaren mostres del Banc de Mostres de Sòls del Mapa de Sòls de Catalunya (1/25.000) del DARP, procedents de parcel·les agrícoles de diferents zones de Catalunya. Aquestes mostres havien estat obtingudes en el període 1987-1992 per la Secció d'Avaluació de Recursos i Noves Tecnologies (SARNT) del DARP per a avaluar la fertilitat general mitjançant un mostreig estratificat dels sòls de diferents sistemes agrícoles. S'havien recollit fent una prospecció segons la tècnica de la malla quadrada: se sobreposava una quadrícula sobre les fotografies aèries de cada zona objecte de l'estudi (normalment un terme municipal) i s'escollia a l'atzar una parcel·la agrícola en cada requadre. Aquests requadres acostuma-

ven a tenir entre 25 i 50 ha de superfície.

La manera de mostrejar cada parcel·la seleccionada era sondejant en sis punts repartits en ziga-zaga. Al final del procés s'obtenien dues mostres compostes: una corresponent a la fondària 0-20 cm i una altra corresponent a la fondària 20-40 cm. Les determinacions analítiques que s'havien realitzat sobre aquestes mostres eren: pH a l'aigua (1/2,5), CE 1:5 (conductivitat elèctrica en l'extracte 1:5), MO (matèria orgànica), P assimilable (mètode Olsen) i K assimilable (acetat amònic). Existeix una caracterització dels principals tipus de sòls així com també altres determinacions analítiques (salinitat, SAR, CIC, cations de canvi, etc.).

Se seleccionaren 142 mostres de l'esmentat Banc, corresponents a 71 parcel·les agrícoles. Com a criteris de selecció, es va tenir en compte que tots els sistemes agrícoles quedessin representats, mentre que dins de cada sistema agrícola la selecció de les parcel·les es va fer a l'atzar.

### **2.2. Anàlisi de metalls pesants**

Per tal de conèixer la disponibilitat dels elements traça per a les plantes s'està tendint a emprar solucions extractants que permetin determinar el màxim nombre d'elements, ja siguin nutrients o elements tòxics, sobre un mateix extracte (Loué, 1988). És per això que el mètode del DTPA és dels més usats actualment. Va ser desenvolupat inicialment per a sòls calcaris, però amb la inclusió del pH

del sòl en la interpretació dels resultats ha esdevingut útil en l'estimació de la disponibilitat d'elements traça en sòls àcids ben per sota de l'interval de pH per al qual el test va ser originalment desenvolupat, malgrat que això no ha estat fet sense crítiques (Tiller, 1989). El DTPA és l'agent quelatant que ofereix la combinació més favorable de constants d'estabilitat per a la complexació simultània de Mn, Zn, Cu, Ni i Cd.

De cada una de les mostres de sòl es va obtenir una solució amb l'agent extractant DTPA (àcid etilendiaminopentaacètic), segons el mètode de Lindsay i Norvell (1969). Per espectrometria d'absorció atòmica sobre aquests extractes es van llegir, al Laboratori Agroalimentari del DARP a Cabriels, les concentracions dels elements Mn, Cu, Zn, Ni i Cd.

### 2.3. Tractament dels resultats

Les 71 parcel·les agrícoles considerades es van agrupar per sistemes agrícoles per tal de tractar estadísticament els resultats de l'extracció amb DTPA.

Tal com es consideren en aquest treball, els sistemes agrícoles no s'ajusten estrictament a la definició de Russell i Wilson (1994), ja que només es disposaven de les dades de les parcel·les mostrejades i no de la caracterització de cada una de les explotacions agràries a les quals pertanyien. El que es va fer va ser assignar a cada parcel·la un sistema agrícola de manera que cada una de les parcel·les considerades quedava englobada en algun dels sistemes agrícoles que apareixen a la taula I.

Per a cada sistema agrícola es pot assumir una reducció important en l'in-

**TAULA I.** *Procedència (termes municipals) i agrupament (sistemes agrícoles) de les mostres de sòl analitzades*

Sistema agrícola	Termes municipals prospectats segons el mètode de la malla quadrada
Horticultura molt intensiva del Maresme	Premià de Dalt Premià de Mar Cabrer de Mar Vilassar de Mar
Fruiters en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	Bellpuig d'Urgell Alguaire
Herbacis en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	Alpicat Castellserà Bellpuig d'Urgell Alguaire
Secà frescal de cereal al Berguedà	Viver i Serrateix
Secà cerealista a la Segarra	Torà de Riubregós Montoliu de Segarra Guissona Plans de Sió
Secà vitícola i cerealista de l'Urgell	Verdú

terval de variació de diferents factors: espècies cultivades, secà/regadiu, intensitat del cultiu, tipus de sòl i climatologia.

Es va utilitzar el *software* SAS (*Statistical Analysis System*, versió 6, SAS Institute Inc., Cary, NC) per a l'anàlisi estadística de les dades. Amb el subprograma TTEST es va comparar, per a cada element estudiat, la variabilitat existent en les repeticions de la mostra estàndard amb la variabilitat existent en el global de totes les mostres. Es va aplicar el test Snedecor-Newman-Keuls (amb un nivell de significació de 0,05) per a detectar diferències entre els sistemes agrícoles pel que fa als valors mitjans dels continguts dels metalls pesants. D'altra banda, amb el subprograma MEANS es va estudiar si hi havia diferències significatives en els continguts dels elements en les dues profunditats de sòl considerades.

### 3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

#### 3.1. Repetibilitat dels resultats

Un dels objectius de les anàlisis de microelements és la separació entre

**TAULA II.** Desviacions típiques en les repeticions de la mostra estàndard i en el global de les mostres

Element	Desviació típica	
	Mostra estàndard	Global mostres
Mn	1,88	9,21 **
Cu	0,15	7,85 **
Zn	0,68	5,12 **
Ni	173	256 (p = 0,23)
Cd	25,2	44 (p = 0,09)

sòls deficientes i no deficientes, o bé entre sòls contaminats i no contaminats. El mètode del DTPA no ha demostrat, en el present treball, ser útil per a avaluar diferents graus de disponibilitat del Ni, ja que la variància dels resultats obtinguts sobre una mateixa mostra (mostra estàndard) no difereix significativament de la variància del conjunt de totes les mostres (taula II). Aquesta baixa repetibilitat dels resultats per al Ni va motivar que no es fessin posteriors tractaments sobre aquests resultats.

Per al cas del Cd la repetibilitat és més aviat baixa. La comparació entre les dues variàncies (taula II) dona un nivell crític de significació de 0,09, que s'ha considerat suficient, ja que aquest estudi pretén generalitzar i no pas arribar a diagnosticar problemes en la parcel·la individual.

#### 3.2. Diferències entre sistemes agrícoles

A la taula III apareixen els continguts mitjans dels diferents elements traça en cada sistema agrícola, per a les mostres de sòl procedents dels primers 20 cm. Destaca el fet que el sistema agrícola d'horticultura intensiva del Maresme té uns continguts disponibles significativament superiors a la resta de sistemes. Això també es repeteix per a les mostres de sòl de fondària 20-40 cm (taula IV), amb l'única excepció del Mn, el qual no difereix estadísticament dels altres sistemes agrícoles, tot i que la mitjana mostral és superior. D'altra banda, cal destacar que la resta de sistemes no presenten diferències significatives entre si.

**TAULA III.** Comparació múltiple dels valors mitjos dels sistemes agrícoles, per a les mostres de profunditat 0-20 cm (dins de cada columna, les mitjanes amb la mateixa lletra no difereixen significativament)

Sistema agrícola	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg Mg <sup>-1</sup> )
Horticultura molt intensiva al Maresme	27,80 a	19,75 a	10,90 a	111 a
Fruiters en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	17,80 b	3,20 b	0,40 b	45,8 b
Herbacs en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	15,67 b	2,67 b	0,73 b	49,9 b
Secà frescal de cereal al Berguedà	12,33 b	1,83 b	0,83 b	25,2 b
Secà cerealista a la Segarra	16,45 b	1,50 b	0,85 b	47,6 b
Secà vitícola i cerealista de l'Urgell	13,80 b	2,40 b	0,80 b	17,2 b

Aquests resultats s'expliquen en part per la naturalesa granítica del material originari dels sòls del Maresme. Aquests materials originaris tenen uns continguts totals de metalls més elevats que els materials originaris de la resta de sistemes agrícoles considerats. D'altra banda, els granits donen lloc a sòls amb un pH proper a la neutralitat (mitjana de pH de 7,4 en les mostres existents al Banc de Mostres), mentre que en els altres sistemes agrícoles els pH són bàsics (mitjana de 8,1 en les mostres existents al Banc de Mostres per a aquest sistema agrícola), en tractar-se de sòls calcaris. En augmentar la basicitat del medi disminueix la solubilitat dels elements considerats, amb la qual cosa la seva disponibilitat és inferior (Mouslaoui *et al.*, 1992).

D'altra banda, la major intensitat del cultiu en el cas del sistema agrícola del Maresme comporta una major aportació de metalls pesants, ja que estan presents tant en els fertilitzants comercials com en els subproductes orgànics. Per al cas del Cd (Holgrem *et al.* 1993), en una prospecció als Estats Units, van tro-

bar els continguts més alts (extracció amb àcid nítric) en els sòls orgànics d'intens ús agrícola, i indicaven que probablement la causa d'això era el Cd present com a impuresa en els adobs fosfatats. També ressaltaven la contribució de l'alt contingut en Cd dels purins i dels fangs de depuradora. D'altra banda, el Cd pot estar a l'atmosfera en forma d'aerosol i arribar al sòl amb la precipitació o per deposició directa (Wagner, 1993). Dels sistemes agrícoles considerats, el del Maresme és el que té grans àrees urbanes i industrials més properes.

### 3.3. Distribució en fondària

Holgrem *et al.* (1993) consideren que, si el contingut d'un element (extret amb àcid nítric) és superior en la capa superficial del sòl respecte a la capa subjacent, és a causa d'una aportació antròpica. A la taula v apareix la comparació estadística, per a cada sistema agrícola, dels continguts disponibles dels elements en les dues profunditats mostrejades. Existeixen indicis d'enri-

quiment superficial en Mn, Cu i Zn als sòls estudiats en els sistemes agrícoles del Maresme i de la Segarra. El mateix succeeix per al cas del Zn en el sistema agrícola dels herbacis en regadiu a la Depressió Central. En cap cas s'ha detectat enriquiment superficial en Cd.

Cal tenir present que el fet que en la majoria de casos (taula v) no hi hagi diferències significatives en la concentració disponible dels metalls en les dues fondàries no implica que no existeixi enriquiment superficial (acció antròpica), atès que el volteig del sòl que produeixen algunes operacions de conreu pot produir una homogeneïtzació del perfil (fins a 40 cm, en certs casos), emmascarant l'enriquiment superficial. D'altra banda, cal considerar que la matèria orgànica contribueix a mantenir els metalls en formes més disponibles per a les plantes. Per això, en sòls en què no existeix enriquiment amb un determinat metall també cal esperar una fracció disponible major en la fondària 0-20 cm respecte a la de 20-40 cm.

Pierzynski i Schwab (1993) van trobar, en sòls considerats flagrantment contaminats per Cd, continguts d'aquest element (extracció DTPA) superiors a  $400 \text{ mg kg}^{-1}$ , el qual és d'un ordre de magnitud molt superior al màxim contingut mitjà trobat en el present treball ( $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$  al Maresme). No existeixen a la literatura, però, valors contrastats (valors líndar) a partir dels quals es pugui considerar que hi ha contaminació per Cd emprant una extracció DTPA.

### 3.4. Interpretació agronòmica

Per als metalls Mn, Cu i Zn, en tractar-se de micronutrients per als vegetals, els resultats de l'extracció amb DTPA poden interpretar-se agronòmicament (taula vi). Loué (1988) recull els criteris d'interpretació més estesos.

Per al Mn, les mostres analitzades presenten continguts que van des de  $7 \text{ mg kg}^{-1}$  fins a  $61 \text{ mg kg}^{-1}$ , tot i que la majoria es troba en l'interval considerat com

**TAULA IV.** Comparació múltiple dels valors mitjos dels sistemes agrícoles, per a les mostres de profunditat 20-40 cm (dins de cada columna, les mitjanes amb la mateixa lletra no difereixen significativament)

Sistema agrícola	Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cd ( $\text{mg Mg}^{-1}$ )
Horticultura molt intensiva al Maresme	21,70 a	15,15 a	7,40 a	91,5 a
Fruiters en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	14,40 a	2,00 b	0,40 b	27,2 b
Herbacis en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	14,60 a	1,93 b	0,20 b	53,5 b
Secà frescal de cereal al Berguedà	11,17 a	1,67 b	inaprec.	24,7 b
Secà cerealista a la Segarra	13,50 a	1,10 b	0,30 b	39,6 b
Secà vitícola i cerealista de l'Urgell	12,80 a	2,20 b	0,20 b	35,0 b



**TAULA V.** Estudi estadístic del contingut. Per a alguns elements i sistemes agrícoles els continguts en la fondària 20-40 cm són significativament inferiors (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ) als continguts en la fondària 0-20 cm

Sistema agrícola	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )		Cu (mg kg <sup>-1</sup> )		Zn (mg kg <sup>-1</sup> )		Cd (mg Mg <sup>-1</sup> )	
	Fondària (cm)		Fondària (cm)		Fondària (cm)		Fondària (cm)	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Horticultura molt intensiva al Maresme	27,8	21,7*	19,75	15,15**	10,9	7,4**	111	92
Fruiters en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	17,8	14,1	3,2	2	0,4	0,4	45,8	27,2
Herbacis en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	15,67	14,6	2,67	1,93	0,73	0,2 *	48,9	53,5
Secà frescal de cereal al Berguedà	12,33	11,17	1,83	1,67	0,83	inap.	25,2	24,7
Secà cerealista a la Segarra	16,45	13,5**	1,5	1,1 **	0,85	0,3 *	47,6	39,6
Secà vitícola i cerealista de l'Urgell	13,8	12,8	2,4	2,2	0,8	0,2	17,2	35

a satisfactori per al creixement dels cultius. Loué (1988) assenyalava que valors superiors a 80 mg kg<sup>-1</sup> són generalment indicadors de problemes d'hidromorfisme o bé de pH molt àcid. Però sembla probable que l'acció antròpica pugui arribar a donar lloc a sòls amb continguts de Mn disponible superiors a l'anterior límit, sense que estiguin lligats a problemes de pH o d'hidromorfisme.

En el cas del Cu, com en el del Mn,

la gran majoria de parcel·les estudiades en tenen uns continguts satisfactoris. Les concentracions trobades van des d'inafiables (< 0,1 mg kg<sup>-1</sup>) fins a 27 mg kg<sup>-1</sup>. En el cas del sistema agrícola del Maresme, en més de la meitat de les mostres s'han superat els 20 mg kg<sup>-1</sup>, que és un valor cent vegades superior al mínim considerat agronòmicament satisfactori.

Finalment, els continguts de Zn dis-

**TAULA VI.** Freqüències relatives (%) dels continguts de microelements per a cada interval d'interpretació agronòmica (mostres de fondària 0-20 cm). Criteris citats per Loué (1988)

Sistema agrícola	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )			Cu (mg kg <sup>-1</sup> )		Zn (mg kg <sup>-1</sup> )		
	< 4	4-8	8-80	< 0,2	> 0,2	< 0,5	0,5-1	> 1
	Defic.	Mod. def.	Satisf.	Defic.	Satisf.	Baix	Crític	Correcte
Horticultura molt intensiva al Maresme	0	0	100	0	100	5	0	95
Fruiters en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	0	7	93	0	100	80	0	20
Herbacis en regadiu a la Depressió Central Catalana (Urgell i Segrià)	0	0	100	20	80	60	27	13
Secà frescal de cereal al Berguedà	0	5	95	0	100	33	50	17
Secà cerealista a la Segarra	0	5	95	0	100	50	25	25
Secà vitícola i cerealista de l'Urgell	0	0	100	0	100	60	0	40

ponible van des d'inaapreciables ( $< 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fins a  $28 \text{ mg kg}^{-1}$ . En el cas del Maresme, en més de la meitat dels casos se superen els  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , un valor deu vegades superior al mínim considerat com a agronòmicament correcte per a la nutrició de les plantes.

Malgrat que se superen de bon tros, en la majoria dels casos, els mínims continguts agronòmicament satisfactoris, no pot afirmar-se que existeixi algun grau de contaminació, ja que no es troben a la literatura quins són els nivells de disponibilitat de Mn, Cu i Zn a partir dels quals hi hagi probabilitat d'aparició de fitotoxicitat o d'acumulació en la cadena tròfica, però seria necessari fer un esforç d'investigació per a intentar establir-los i evitar així problemes a llarg termini.

#### 4. CONCLUSIONS

De l'estudi realitzat es poden concloure els següents punts:

— En els sistemes agrícoles estudiats, els sòls del Maresme tenen més disponibilitat dels metalls pesants Mn, Cu, Zn i Cd que els altres sistemes, els quals no es diferencien entre si, probablement perquè, malgrat tot, el grau d'intensificació hi és encara baix.

— Per als metalls estudiats, la quantitat disponible per a les plantes està condicionada pel material originari del sòl i per l'acció antròpica.

— Per al Cu i el Zn en les mostres de sòls del Maresme els continguts trobats estan molt per sobre dels mínims considerats com a agronòmicament satisfactoris. Malgrat això, és difícil parlar

de contaminació perquè no hi ha criteris establerts, per al mètode d'extracció amb DTPA, per a separar els sòls contaminats i els que no ho estan.

— Caldria aprofundir en la interpretació agronòmica dels resultats i en les correlacions amb els continguts totals dels elements per tal de fer viable una única extracció amb finalitats múltiples.

#### BIBLIOGRAFIA

- ABADIA, A.; MONTAÑES, L. (1984). «Niveles de Fe, Mn, Cu, Zn, Co y Ni extractados por AB-DTPA en suelos del campo de Cariñena (Zaragoza)». *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 17 (1/2), p. 51-59.
- HOLGREN, G. G. S.; MELLER, M. W.; CHANEY, R. L.; DANIELS, R. B. (1993). «Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America». *J. Environ. Qual.*, 22, p. 335-348.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. (1969). «Equilibrium relationship of Zn, Fe, Ca and H with EDTA and DTPA in soils». *Soil Science Society of America Proceedings*, 33, p.62-68.
- LOUÉ, A. (1988) *Los microelementos en agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa.
- MOUSLAOUI, D.; VERLOO, M.; PAUWELS, J. (1992). «Les formes du fer, du cuivre, du zinc et du manganese dans les sols de la region de Meknes (Muroc)». *Pedologie*, XLII-3, p. 257-270.
- PIERZYNSKI, G. M.; SCHWAB, A. P. (1993). «Bioavailability of zinc, cadmium and lead in a metal contaminated alluvial soil». *J. Environ. Qual.*, 22, p. 247-254.
- RUSSELL, G.; WILSON, G. W. (1994) *An agro-pedo-climatological knowledge-*

- base of wheat in Europe*. Agricultural series CL-NA-15798-EN-C. Luxembourg: Joint Research Centre. European Commission. 160 p.
- TILLER, K. G. (1989). «Heavy metal in soils and their environmental significance». *Advances in Soil Science*, vol. 9. Nova York: Springer Verlag, p 110-142.
- WAGNER, G. J. (1993). «Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health». *Advances in agronomy*, vol. 51. Nova York: Academic Press.