

## DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN UN SUELO DEGRADADO ENMENDADO CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS

I. Walter, F. Martínez y G. Cuevas

Departamento de Medio Ambiente, INIA, Carretera de La Coruña km. 7, 28040 Madrid, walter@inia.es

**RESUMEN.** En una experiencia de campo de larga duración se aplicaron en superficie, y de una sola vez, tres dosis (40, 80 y 120 Mg ha<sup>-1</sup>) de biosólidos (B) y residuos sólidos urbanos (RSU) sobre un suelo degradado semiárido situado al sureste de la Comunidad de Madrid. Se estudió la dinámica de los elementos traza a lo largo de 5 años, después de la aplicación de los residuos. La concentración de los elementos traza totales (extraídos con HCl-HNO<sub>3</sub>) y asimilables (extraídos con DTPA) aumentó, de forma general, significativamente, en las parcelas tratadas con residuos. Los contenidos de Zn, Pb y Cu asimilables aumentaron en todos los tratamientos con RSU y la concentración de Cd experimentó un incremento en los tratamientos 80 y 120 Mg ha<sup>-1</sup>. Estos aumentos se observaron desde el primer año después de la aplicación. Las parcelas tratadas con B experimentaron un incremento en Zn, Pb y Cu, siendo este aumento significativo a partir del cuarto año de la aplicación del residuo. Los valores alcanzados en las parcelas tratadas con B fueron generalmente inferiores a los obtenidos en las parcelas tratadas con RSU. La concentración de Cr extraído con DTPA no fue detectada en ningún tratamiento. Los porcentajes de las fracciones asimilables relativas a sus contenidos totales presentaron una dinámica diferente entre ambos residuos y esto se debió, probablemente, al diferente comportamiento de la materia orgánica de ambos residuos.

**ABSTRACT.** Biosolids (B) and municipal solid wastes (MSW) were surface-applied once at three rates (40, 80 and 120 Mg ha<sup>-1</sup>) to different plots in a degraded semiarid soil site on the SE in the Madrid Community. Dynamic of soil trace elements were determined over a 5 year period after the biowastes application. Generally, the total (extracted by HCl-HNO<sub>3</sub>) and available (extracted by DTPA) trace elements significantly increased in all the treated plots. The amount of available Zn, Pb, and Cu increased in all MSW-treated plots. The concentration of Cd increased in the plots that had received 80 and 120 Mg ha<sup>-1</sup> of MSW. All these increases were noticed since the first year after the application of this waste. The B treated plots showed a significant increase in Zn, Pb and Cu concentrations since the fourth year after the application of

this waste. The concentrations of the trace elements obtained in B treated plots were, in all the cases, lower than those obtained in MSW treated plots. The content of Cr extracted by DTPA was not detected in any of the plots. Percentages of available elements versus their total content showed different dynamics in both treated plots. This was probably due to the different organic matter behaviour of both biowastes.

---

### 1. Introducción

La aplicación de residuos orgánicos urbanos como enmienda orgánico-mineral para la recuperación de suelos degradados implicaría dos soluciones ambientales: i) una alternativa para su gestión de bajo coste y ii) adicionar al suelo un material orgánico que libera nutrientes, con lo que se mejorarían las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. El uso de estos residuos no está exento de riesgos, debido principalmente a su contenido en metales pesados; si bien en ecosistemas semiáridos la probabilidad de que los elementos trazas se lixivien hacia las aguas subterráneas es muy baja, debido a que estos suelos son generalmente calcáreos y tienen un pH elevado, lo que favorece la inmovilización de éstos (Rostagno y Sosebee, 2001).

Sin embargo, la toxicidad de ciertos metales pesados y elementos traza para las plantas y los animales que los consumen hace necesario que se realicen estudios a través del tiempo para evitar cualquier riesgo ambiental mayor que el que se pretende corregir (McBride, 1995). La determinación de los metales pesados totales en el suelo es una medida útil para estimar la contaminación del suelo, pero no nos informa sobre su solubilidad y/o disponibilidad para las plantas. Con la finalidad de estimar la fracción del metal que es potencialmente disponible para las plantas se emplean generalmente diferentes reactivos, siendo los más utilizados los agentes secuestrantes como el ácido etilendiaminotetraacético, EDTA, (Ure et al., 1993) o el ácido dietilentriaminopentaacético, DTPA, (Lindsay y Norvell, 1978). Los elementos traza extraídos de esta

manera se correlacionan de forma razonable con el contenido de dichos elementos en la planta (Hooda y Alloway, 1994). La determinación de la cantidad absoluta de los metales extraídos con DTPA o con EDTA es un valor muy útil para evaluar la disponibilidad del metal en estudios a corto plazo mientras que para experiencias de larga duración, debido a los cambios espaciales y temporales que pudieran producirse, es mejor expresar la disponibilidad de los metales de forma relativa, o sea, su relación frente a su contenido total (Juste y Mench, 1992).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica de los elementos traza (Zn, Pb, Cd, Ni, Cr y Cu) a través del tiempo (5 años) en un suelo degradado del S.E. de la Comunidad de Madrid, al que se le aplicó diferentes dosis de dos residuos orgánicos urbanos.

## 2. Material y métodos

El tipo climático de la zona de estudio es mediterráneo semiárido continental, con precipitaciones y temperaturas anuales de 400 a 450 mm y de 14 a 16 °C, respectivamente. El suelo se clasifica como *Lithic xerorthents* (Soil Taxonomy, 1998), que presenta una baja a moderada evolución y es muy susceptible a la erosión. Las principales características físicas y químicas del suelo objeto de la experiencia se encuentran en la Tabla 1. El área de estudio se caracteriza por una baja cobertura vegetal (40-55%) siendo ésta de tipo herbáceo con presencia de algunos caméfitos, lo que indica la elevada presión que se ha ejercido sobre estos terrenos y la degradación tan acusada que lo caracteriza. La parcela de estudio se encuentra en un monte bajo con moderada pendiente (10-15%), la cual se dividió en 4 bloques situados cada uno en un transecto de la ladera. Cada bloque se dividió en 7 parcelas de 60 m<sup>2</sup> (20mx3m). Las parcelas están separadas entre sí por pasillos y los bloques por zanjas para evitar contaminaciones por vecindad. En marzo de 1997 se aplicaron en superficie 40, 80 y 120 Mg ha<sup>-1</sup> de biosólidos (B) y 40, 80 y 120 Mg ha<sup>-1</sup> de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), ambos en peso seco. Además, se dejó una parcela sin enmendar que actúa como control (C). Los tratamientos fueron distribuidos al azar. B procede de la planta depuradora de La China (Madrid) y corresponde a un lodo de digestión anaeróbica y RSU procede de la planta de tratamiento de Valdemingómez (Madrid) y corresponde a la fracción orgánica de la basura doméstica compostada. Las características de ambos residuos aplicados se encuentran reflejadas en la Tabla 1. Se cogió una muestra compuesta de 18 submuestras de suelo de cada parcela de 0-15 cm de profundidad, cada año, después de la aplicación de los residuos y durante 5 años seguidos (1998-2002). Las muestras fueron secadas al aire tamizadas por tamiz de 2 mm y una parte de éstas fueron molidas para el análisis de los elementos traza. Se determinaron pH (relación suelo:agua 1:2,5), conductividad eléctrica (C.E.), carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), carbono (C) orgánico oxidable, nitrógeno (N) total, fósforo (P) y potasio (K)

asimilables según los métodos oficiales de análisis de suelo del MAPA, 1994. La concentración de Zn, Pb, Cd, Ni, Cr y Cu total se determinó mediante digestión con HCl-HNO<sub>3</sub> (McGrath y Cunliffe, 1985) y los mismos elementos de forma asimilable mediante extracción con DTPA (Lindsay y Norvell, 1978). Los elementos traza extraídos por ambas soluciones fueron determinados mediante ICP-OES.

## 3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la determinación de pH, durante todo el periodo de estudio, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos realizados, por lo que se podría considerar que este parámetro no tuvo ninguna influencia en los cambios que se registraron en los metales pesados, ya que es bien conocido que el pH es uno de los parámetros que más influyen sobre la movilidad y/o disponibilidad de éstos. El valor medio de pH, en el periodo de estudio, en la parcela control, fue 8,2, mientras que el valor medio de las parcelas enmendadas con los distintos tratamientos en los 5 años de estudio fue 8,1.

**Tabla 1.** Principales características físico-químicas del suelo (n°=28), al inicio de la experiencia y de los residuos orgánicos urbanos utilizados.

Parámetros	Suelo (X ± σ)	Biosólido	RSU
pH (1: 2,5) suelo/H <sub>2</sub> O	8,3 ± 0,07	8,6	6,7
C. E. (1:5) suelo/ H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup> 0,137 ± 0,009	1,457	9,521
C oxidable	g kg <sup>-1</sup> 19,5 ± 4,2	-	-
C total	g kg <sup>-1</sup>	253	332
N total	g kg <sup>-1</sup> 2,1 ± 0,5	24,5	17,7
P total	g kg <sup>-1</sup> -	10,6	3,73
P asimilable	mg kg <sup>-1</sup> 7,86 ± 1,23	613	47,5
K total	g kg <sup>-1</sup> -	2,0	5,0
K asimilable	mg kg <sup>-1</sup> 203 ± 35	-	-
Zn Total	mg kg <sup>-1</sup> 23,1 ± 5,3	445	334
Pb Total	mg kg <sup>-1</sup> 36,6 ± 3,9	253	193
Cd Total	mg kg <sup>-1</sup> 0,54 ± 0,2	0,58	1,48
Ni Total	mg kg <sup>-1</sup> 7,14 ± 1,8	15,3	21,6
Cr Total	mg kg <sup>-1</sup> 10,2 ± 2,2	48,5	32,9
Cu Total	mg kg <sup>-1</sup> 6,4 ± 1,2	174	203
Textura	Franco-arenosa	-	-

En las Figs. 1 y 2 se encuentra representado el contenido de C orgánico oxidable, durante los 5 años del estudio, para los tratamientos de B y RSU, respectivamente.

En la Fig. 1 se observa claramente que el C orgánico no presentó diferencias significativas en los tres primeros años entre los tratamientos con biosólidos frente al control. A partir del cuarto año se observaron diferencias significativas en las dosis más altas y en el quinto año estas diferencias fueron significativas en los tres tratamientos con B frente al control. En los tratamientos con RSU (Fig. 2) se observó que, si bien en el primer año de la aplicación de este residuo no hubo diferencias significativas entre los

tratamientos, éstas fueron observadas en el segundo año en la dosis más alta y en el tercer año en las tres dosis que se aplicaron.

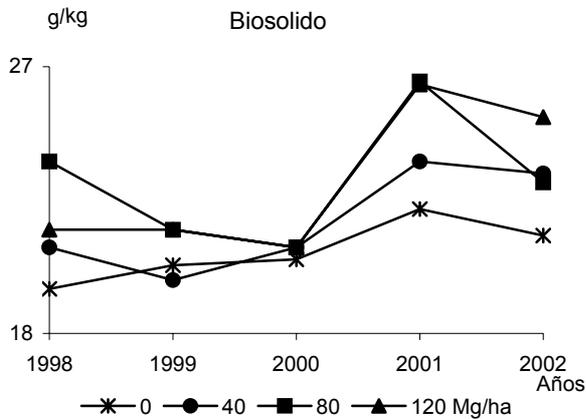


Fig. 1. Contenido de C orgánico en las diferentes parcelas tratadas con B, para el periodo de estudio.

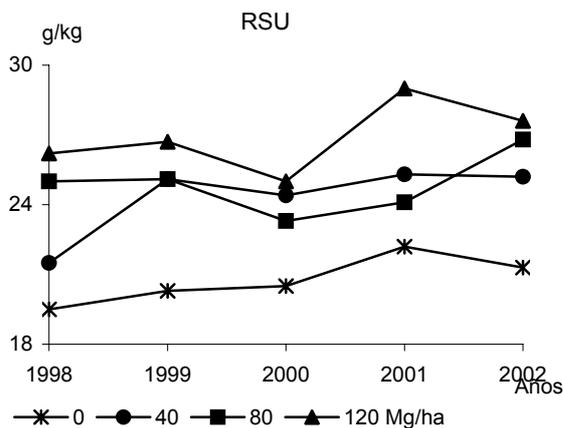


Fig. 2. Contenido de C orgánico en las diferentes parcelas tratadas con RSU, para el periodo de estudio.

En el cuarto año solo fue diferente significativamente la dosis más elevada de este residuo, mientras que en el quinto año las tres dosis de RSU fueron nuevamente diferentes significativamente frente al control. La explicación respecto a no observar cambios en los primeros años en el C orgánico en las parcelas tratadas con B, podría ser que el suelo, por lo general, responde con un incremento en la mineralización de su materia orgánica cuando se le adiciona grandes dosis de N (Woods et al., 1987), lo que significa que a corto plazo no se observara un aumento de la materia orgánica en el suelo cuando se le aplicaron altas dosis de biosólidos. Los beneficios de la aplicación de este residuo, según White et al. (1997) se observarían a largo plazo, este hecho es coincidente con el observado en el presente estudio.

El diferente comportamiento de la materia orgánica de ambos residuos podría haber sido la causa de la distinta

disponibilidad de los elementos traza en las parcelas tratadas con ambos residuos, como se verá más adelante.

En la Tabla 2 se encuentran los valores de los elementos traza extraídos con agua regia, HCl-HNO<sub>3</sub> en relación 3:1, considerados como los totales y los extraídos con DTPA, que representarían los elementos asimilables, para los cinco años de estudio. Se observó que, de forma general, Zn, Pb, Cd y Cu totales aumentaron de forma significativa desde el primer año en las dosis intermedias y altas de RSU, mientras que en los tratamientos con B solamente aumentaron significativamente en las parcelas enmendadas con 120 Mg ha<sup>-1</sup> y a partir del tercer año de la aplicación.

Las concentraciones totales de Ni y Cr en ambos residuos y para los tratamientos aplicados no presentaron diferencias significativas a lo largo del estudio.

Con la excepción del Cr, los elementos traza asimilables estudiados presentaron diferencias significativas en todos los tratamientos con RSU frente al control para los 5 años. Las diferencias fueron significativas también entre los tratamientos con RSU y éstos a su vez, con los tratamientos con B. Los valores obtenidos con RSU fueron sensiblemente mayores respecto a los obtenidos con la misma dosis de B. En las parcelas enmendadas con B, las concentraciones de Zn y Cu asimilables fueron diferentes significativamente con las aplicaciones de dosis alta y alta e intermedia, respectivamente. Ambos elementos aumentaron significativamente a partir del tercer año de la aplicación del biosólido. El Pb asimilable en las parcelas tratadas con las dosis intermedias y altas aumentó significativamente frente al control a partir del 4<sup>o</sup> año. No fueron registradas diferencias significativas entre las distintas dosis de este residuo. El resto de los elementos estudiados no mostraron diferencias significativas. El contenido de Cr extraído con DTPA fue en todos los tratamientos inferior al límite de detección (0,08 mg kg<sup>-1</sup>).

En la Tabla 3 se encuentran los porcentajes de los elementos traza extraídos con DTPA con relación a sus contenidos totales para los diferentes tratamientos aplicados, en los cinco años de estudio. En ella se observa que en el caso del control y, por lo general para todos los elementos, la variación de esta fracción en los diferentes años fue pequeña. Los porcentajes de los elementos asimilables frente a su contenido total permanecieron prácticamente constantes a lo largo del tiempo que duró la experiencia en el suelo sin enmendar. En los tratamientos con RSU, estos valores fueron, de forma general, más altos en el primero, tercero y quinto año, mientras que para los tratamientos con biosólidos los valores obtenidos para Pb, Cd y Cu no variaron mucho a lo largo del periodo de estudio. Para el caso del Zn, las fracciones obtenidas con los tratamientos con biosólidos fueron aumentando con el paso del tiempo. Esto podría deberse a que con el tiempo estas parcelas reciben materia orgánica disuelta, que contiene Zn y por lo tanto se encuentra en forma más asimilable que en los años anteriores. Esto se podría relacionar en parte con los aumentos del C oxidable experimentados en los últimos dos años del estudio en las parcelas tratadas con biosólido. En el caso de los tratamientos con RSU el aumento de C oxidable fue

observado desde el primer año y este valor ha ido fluctuando a través del tiempo.

En los tratamientos con RSU a medida que aumentó la dosis de aplicación aumentó el porcentaje de las fracciones asimilables mientras que, en los tratamientos con B, prácticamente no hubo diferencias de estos valores cuando aumentó la dosis aplicada.

Esta fracción representa un valor más acorde con la realidad en los ensayos de larga duración que su valor absoluto. La disponibilidad relativa calculada de esta manera podría relacionarse con la dinámica de los metales traza en el suelo a través del tiempo (Juste and Mench, 1992).

**Tabla 2.** Elementos traza extraídos con HCl-HNO<sub>3</sub> (totales) y extraídos con DTPA (asimilables) en los diferentes tratamientos y para el periodo de estudio (5 años).

Año	Metal mg kg <sup>-1</sup>	TRATAMIENTO													
		Control		RSU 40		RSU 80		RSU 120		B 40		B 80		B120	
		Total	DTPA	Total	DTPA	Total	DTPA	Total	DTPA	Total	DTPA	Total	DTPA	Total	DTPA
1	Zn	23bc	0,82c	23 bc	1,9 bc	33 a	3,9ab	33 a	6,1 a	19 c	0,9 c	26 b	1,1 c	23ab	1,3 c
2		23 d	0,64c	36 bc	4,9 b	43 ab	7,0ab	49 a	9,1 a	25 d	1,2 c	26cd	1,4 c	27cd	1,9 c
3		25 c	0,57d	32 b	3,2 b	40 a	4,0 b	43 a	6,3 a	25 c	1,1 c	34 b	1,3cd	34b	1,8 c
4		26 e	0,63f	37 cd	4,5 c	49 ab	6,5 b	58 a	10 a	29 ef	1,7 ef	44bc	2,7fe	46bc	3,6cd
5		23 d	0,57e	51 b	4,7 c	51 b	6,7 b	63 a	9,0 a	33 cd	2,1de	37c	2,6de	44bc	3,3cd
		ns	ns	**	*	**	**	**	**	*	*	*	*	*	*
1	Pb	34bc	1,8 c	37 ab	2,2 bc	46 a	3,5 a	44 a	3,4ab	29 c	1,7 c	39 ab	2,0 c	44 ab	2,0 c
2		40 c	1,9 b	47abc	3,5 a	49 ab	4,6 a	55 a	4,3 a	40 bc	2,0 b	39 c	2,0 b	39 bc	2,3 b
3		35 c	1,4 c	39bc	2,4 b	45 a	2,4 b	43 ab	3,3 a	35 c	1,6 c	44 a	1,5 c	42 ab	1,7 c
4		39 c	1,7 e	43bc	3,4 c	50 a	4,0 b	52 a	5,0 a	40 c	2,2 de	52 a	2,4 d	48 ab	2,5 d
5		40 d	1,5 e	61abc	3,3 b	69 a	3,0bc	66 ab	4,2 a	55 cd	1,7 cd	59bcd	1,9 cd	64abc	2,4 cd
		ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
1	Cd	0,52b	0,02 a	0,54 b	0,02 a	0,56ab	0,03 a	0,58 a	0,04 a	0,53 b	0,02 a	0,55ab	0,02 a	0,58 a	0,02 a
2		0,48b	0,02 b	0,55ab	0,03 a	0,54ab	0,03 a	0,63 a	0,04 a	0,55ab	0,02 b	0,40bc	0,02 b	0,37 c	0,02 b
3		0,39a	0,02 c	0,42a	0,02 c	0,45 a	0,03 b	0,43 a	0,05 a	0,35 a	0,02 c	0,45a	0,02 c	0,40 a	0,02 c
4		0,77b	0,02 b	0,74bc	0,02 b	0,90ab	0,03 a	0,86ab	0,03 a	0,67 c	0,02 b	0,96 a	0,02 b	0,86ab	0,02 b
5		0,48d	0,02 c	0,74ab	0,04 b	0,77ab	0,06ab	0,83 a	0,06 a	0,74ab	0,02 c	0,72bc	0,02 c	0,80ab	0,02 c
		ns	ns	*	ns	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns
1	Ni	6,4 a	0,16 d	6,8 a	0,24ab	7,1 a	0,28ab	6,8 a	0,34 a	6,6 a	0,13 d	8,3 a	0,19bc	6,9 a	0,19bc
2		7,6 a	0,13 d	9,8 a	0,29bc	8,5 a	0,37ab	8,6 a	0,40 a	7,6 a	0,15cd	8,9 a	0,21cd	9,1 a	0,21bc
3		6,2 a	0,10 c	6,0 a	0,18b	9,2 a	0,21 b	6,6 a	0,28 a	7,2 a	0,11 c	8,0 a	0,18 b	6,6 a	0,18b
4		7,8 a	0,10 b	7,2 a	0,10 b	11 a	0,14 a	9,3 a	0,16 a	6,7 a	0,10 b	12 a	0,13ab	9,0 a	0,13ab
5		7,4 c	0,11 d	11 abc	0,25 b	9,5bcd	0,23 b	12 abc	0,33 a	8,3 cd	0,14cd	11abc	0,17cd	11 abc	0,19cd
		ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	*	ns
1	Cr	14 a	ND	15 a	ND	19 a	ND	18 a	ND	13 a	ND	9,2 a	ND	16 a	ND
2		12 a	ND	14 a	ND	11 a	ND	13 a	ND	11 a	ND	13 a	ND	13 a	ND
3		10 a	ND	9,8 a	ND	12 a	ND	10 a	ND	13 a	ND	11 a	ND	11 a	ND
4		11 a	ND	11 a	ND	15 a	ND	12 a	ND	9,7 a	ND	14 a	ND	12 a	ND
5		14 a	ND	14 a	ND	16 a	ND	17 a	ND	13 a	ND	15 a	ND	16 a	ND
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
1	Cu	5,4 c	0,35 d	8,0cd	1,3 bc	16 a	1,9 ab	12,5ab	2,6 a	5,4 c	0,45cd	6,0cd	0,59cd	9,7bc	0,71cd
2		6,9 c	0,28 c	15 b	2,2 b	20ab	3,1 ab	23 a	3,4 a	7,9 c	0,68 c	8,2 c	0,80 c	8,9 c	1,1 c
3		6,0 c	0,26 f	12 c	1,3 bc	14 b	1,7 b	18 a	2,4 a	7,0 e	0,47 ef	9,26 d	0,71de	10 cd	0,9 cd
4		6,4 d	0,21 e	15 c	1,2 bc	19 b	1,7 b	26 a	3,0 a	8,6 d	0,50de	13 c	0,68cd	15 c	1,1bcd
5		6,5 e	0,26 e	16bc	1,8 c	20 ab	2,5 b	25 a	3,4 a	9,7de	0,8de	12cde	1,2cd	14 bcd	1,4 cd
		ns	ns	**	*	**	**	**	**	ns	*	*	*	*	*

Valores medios seguidos por la misma letra en una línea para cada extracto, no son diferentes significativamente. ND: no se detecta, inferior al límite de detección (Cr ≤ 0,08 mg kg<sup>-1</sup>). ns: no significativo. \* y \*\*: P ≤ 0,05 y P ≤ 0,01 respectivamente, entre primer y último año.

#### 4. Conclusiones

A excepción de Cr y Ni, la aplicación de las diferentes dosis de biosólidos aumentaron de forma significativa en el suelo todos los elementos traza totales y asimilables estudiados, en los tres últimos años de la experiencia; mientras que la aplicación de RSU aumentó de forma significativa estos elementos a partir del segundo año de la aplicación del residuo. Los valores obtenidos con los tratamientos con RSU fueron en todos los casos superiores a los obtenidos con biosólido a igual dosis. Las fracciones relativas de los metales asimilables también mostraron un comportamiento diferencial con respecto a la enmienda aplicada a lo largo del tiempo. Estas fracciones fueron siempre mayores en las parcelas tratadas con RSU frente a las enmendadas con biosólidos y se observaron diferencias entre los metales estudiados.

**Tabla 3.** Porcentaje de elementos traza asimilables respecto a sus contenidos totales.

Tratamiento	dosis Mg ha <sup>-1</sup>	Años				
		1	2	3	4	5
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )						
Control		3,6	2,8	2,3	2,4	2,0
	40	8,4	13,8	9,9	12,1	9,2
RSU	80	11,8	16,4	9,9	13,5	13,3
	120	18,3	18,5	14,6	17,3	14,3
B	40	4,7	5,0	4,5	5,9	6,4
	80	4,4	5,3	3,9	6,2	7,0
	120	4,6	6,9	5,1	7,8	7,4
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )						
Control		5,3	4,8	4,0	4,4	3,8
	40	5,9	7,5	6,2	7,9	5,4
RSU	80	7,6	9,4	5,3	8,0	4,3
	120	7,7	7,8	7,6	6,6	6,4
B	40	5,9	5,0	4,4	5,5	3,1
	80	5,1	5,1	3,4	4,6	3,2
	120	4,5	5,9	4,1	5,2	3,8
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )						
Control		3,8	4,2	5,1	2,6	4,2
	40	3,7	5,5	4,8	2,7	5,4
RSU	80	5,4	5,5	6,7	3,3	7,8
	120	6,9	6,3	11,6	3,5	7,2
B	40	3,8	3,6	5,7	3,0	2,7
	80	3,6	5,0	4,4	2,1	2,8
	120	3,5	5,4	5,0	2,3	2,5
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )						
Control		6,5	4,1	4,3	3,3	4,0
	40	16,3	14,7	10,8	8,0	11,3
RSU	80	11,9	15,5	12,1	8,9	12,5
	120	20,8	14,8	13,3	11,5	13,6
B	40	8,3	8,6	6,7	5,8	8,2
	80	9,8	9,8	7,6	5,2	10,0
	120	7,3	12,4	9,0	7,3	10,0

La diferente descomposición de la materia orgánica aplicada con los residuos podría ser factor causante del diferente comportamiento de los metales pesados en las dos enmiendas ensayadas.

Las dosis ensayadas de ambos residuos no presentaron ningún riesgo ambiental debido principalmente a las características del suelo donde fueron aplicados.

#### Referencias

- Hooda, P.S. y Alloway, B.J. 1994. The plant availability and DTPA extractability of trace metals in sludge-amended soils. *Sci. Total Environ.* 149, 39-51.
- Juste, C. y Mench, M. 1992. Long term application of sewage sludge and its effects on metal uptake by crops. In *Biogeochemistry of trace metals*. D.C. Adriano (ed.) Lewis Publishers, Boca Raton, pp 159-193. Florida.
- Lindsay, W.L. y Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 4, 421-428.
- MAPA. 1994. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. España.
- Mc Bride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective?. *J. Environ. Qual.* 24, 5-18.
- Mc Crath, S.P. y Cunliffe, C.H. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Ni, Pb, Cr, Co, and Mn from soils and sewage sludges. *J. Sci. Food Agric.* 36, 794-798.
- Rostagno, C.M. y Sosebee, R. 2001. Biosolids application in the Chihuahuan desert: effects on runoff water quality. *J. Environ. Qual.* 30, 160-170.
- Soil Taxonomy. 1998. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Agricultural handbook n° 436*. USDA (U.S. Department of Agriculture)
- Ure, A.M., Quevauviller, P.H., Muntau, H. y Griepink, B. 1993. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of European Communities. *Intern. J. Environ. Chem.* 51, 135-151.
- White, C.S., Loftin, S.R. y Aguilar, R. 1997. Application of biosolids to degraded semiarid rangeland: nine year responses. *J. Environ. Qual.* 26, 1663-1671.
- Woods, L.E., Cole, C.V., Porter, L.K. y D.C. Coleman. 1987. Transformation of added and indigenous nitrogen in gnotobiotic soil: A comment on the priming effect. *Soil Biol. Biochem.* 19, 673-678.

