

# ASIMILABILIDAD DE METALES PESADOS EN UN SUELO ENMENDADO CON DIFERENTES BIOSÓLIDOS RESIDUALES URBANOS

E. BENÍTEZ, E. ROMERO, F. GALLARDO-LARA y R. NOGALES

Dpto Agroecología. Estación Experimental del Zaidín. CSIC, c/  
Profesor Albareda, 1, 18008- Granada

## Resumen

Se ha llevado a cabo un experimento de incubación dirigido a comparar el efecto de la aplicación de 100 Tm ha<sup>-1</sup> de tres biosólidos (lodos) residuales urbanos - digeridos, compostados o cenizas de biosólido- sobre las formas totales y asimilables de Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Co y Cr en un suelo degradado. Los resultados obtenidos dejaron patente que la aplicación de los biosólidos aumentó los niveles totales y asimilables de Cu, Zn y Pb en el suelo. En cambio las concentraciones de Ni, Co y Cr se encontraron escasamente afectados. Comparativamente, los aumentos de Cu, Zn y Pb en el suelo inducidos por el aporte de estos subproductos decreció en el siguiente orden: biosólidos digeridos > biosólidos compostados > biosólidos incinerados. Pese a los aumentos observados, los niveles alcanzados de Cu, Zn y Pb no constituirían un riesgo de contaminación por metales pesados en el suelo utilizado.

**Palabras clave:** biosólido residual, biosólido compostado, cenizas de biosólido, suelo, metales pesados, asimilabilidad

## INTRODUCCIÓN

La utilización de los biosólidos (lodos) residuales urbanos en agricultura ha experimentado un notable aumento en los últimos años como consecuencia del bajo costo

de estos subproductos orgánicos y de la implantación de estaciones de depuración de aguas residuales en la mayoría de los municipios del estado español.

Aunque el uso en agricultura es el principal destino de los biosólidos residuales, la incineración de estos subproductos constituye una alternativa utilizable por algunos núcleos de población (Iturralde, 1994). La incineración de biosólidos residuales conlleva la generación de cenizas, desprovistas de sustancias orgánicas tóxicas y patógenos, con elementos fertilizantes (P y K) y metales pesados esenciales y no esenciales para las plantas, y por ello susceptibles de ser utilizadas en el sector agrario (Bierman y Rosen, 1994).

En la actualidad existe una numerosa información bibliográfica referente a los efectos beneficiosos (mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo) y perjudiciales (entrada de metales pesados en el medio edáfico) que conlleva el uso agrícola de los biosólidos residuales, tanto los obtenidos en las propias estaciones depuradoras de aguas residuales — por lo general digeridos anaeróbicamente y deshidratados —, como los previamente compostados (Genevini et al., 1986; Clapp et al., 1994; Nogales et al., 1997). Sin embargo, existen pocos estudios en los que se compare los efectos que sobre el suelo y la planta ocasiona el aporte de biosólidos digeridos frente a biosólidos compostados (Chaney et al., 1978) y menos aun si esta comparación se amplía a las cenizas de estos subproductos.

En relación a esta cuestión, en el presente estudio se compara el efecto que ocasiona la aplicación de tres tipos de biosólidos residuales urbanos — digeridos, compostados o incinerados- sobre los niveles y formas totales y asimilables de diferentes metales pesados en un suelo, con objeto, además, de establecer cual de estos tipos de biosólidos pueden presentar un mayor potencial para contaminar el medio edáfico.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Suelo y Biosólidos residuales utilizados**

Se utilizó la capa arable (0-25 cm) de un suelo no calcáreo y degradado (Xerocept típico) localizado en las cercanías de Alquife (Granada). Los biosólidos digeridos anaeróbicamente y deshidratados (BD) fueron suministrados por la EDAR Los Vados-Oeste, Emasagra, Granada, y los biosólidos compostados (BC) por la empresa Abonos Orgánicos del Sur, Santa Fe, Granada. Ambos biosólidos, antes de su aplicación al suelo, fueron completamente secados al aire, molidos y tamizados (< 2mm). Las cenizas de biosólido digerido (BI) procedieron del biosólido digerido, que una vez secado, molido y

tamizado fue incinerado en horno mufla Gallemkamp mod. FR-614 a 450°C. Algunas propiedades químicas del suelo y de los biosólidos utilizados se exponen en la [tabla 1](#).

## **Desarrollo experimental**

El experimento de incubación se efectuó utilizando recipientes de vidrio de 200 ml de capacidad. En cada uno de ellos se depositó 100 g de suelo tamizado (< 2 mm), sólo (S) o mezclado con 100 Tm ha<sup>-1</sup> de biosólido digerido (S+BD), biosólido compostado (S+BC) o las cenizas resultantes de la incineración del equivalente a 100 Tm ha<sup>-1</sup> de biosólido digerido (S+BI). La humedad de incubación correspondió al 80% de la capacidad de campo del suelo, que se ajustó mediante el aporte de agua destilada. Posteriormente, todos los recipientes se cubrieron con Parafilm "M", permitiendo así el intercambio gaseoso sin pérdidas de humedad (Dubey, 1969).

La incubación de las diferentes muestras de cada uno de los tratamientos ensayados se llevó a cabo en una cámara cerrada a 28°C, efectuándose las determinaciones con la siguiente periodicidad: 0, 1, 2, 4, 8 y 16 semanas, por lo que de acuerdo con el número de tratamientos y repeticiones hubo necesidad de preparar inicialmente 72 recipientes. A cada uno de los intervalos programados, y por triplicado, la muestra de suelo fue retirada de cada recipiente, secada al aire y guardada herméticamente en bolsa de plástico.

## ***Análisis efectuados***

La textura, pH, carbono orgánico total y nitrógeno total del suelo y biosólidos utilizados fueron determinados según M.A.P.A. (1986) y Jackson (1970). Las formas totales de metales pesados (Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cr y Cd) fueron medidas con un espectrofotómetro de absorción atómica (IL Model 357) después de la digestión de las muestras con agua regia (McGrath and Cunliffe, 1985). Las formas asimilables de los metales fueron extraídas de las muestras utilizando dos extractantes: a) agua desionizada, relación 1:10 muestra:agua (Guisquiani et al., 1992) y b) 1M CO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub>H-0.005DTPA, pH 7.6 (AB-DTPA), relación 1:2 muestra:extractante (Soltanpour and Schwab, 1977); siendo analizados los extractos mediante EAA. Los resultados fueron evaluados estadísticamente realizando análisis de varianza (ANOVA, utilizando el programa STATGRAPHICS Plus.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***Formas totales de metales pesados***

La [tabla 2](#) recoge las concentraciones totales de Cu, Zn, Pb, Ni, Co y Cr del suelo al final del experimento en los diferentes tratamientos ensayados. No se detectaron niveles de Cd total en ninguno de los tratamientos ensayados por la metodología analítica utilizada. La aplicación del biosólido digerido, compost de biosólido y cenizas de biosólido, aumentó de forma significativa las concentraciones totales de Cu y Zn en el suelo, no afectando, en cambio, los niveles totales de Co y Cr. Las concentraciones de Pb y Ni únicamente aumentaron significativamente cuando el suelo fue enmendado con biosólido digerido o sus cenizas, mientras que el aporte de compost de biosólido tuvo una escasa incidencia sobre los niveles totales de estos metales en el suelo. En todo caso y aunque se adicionaron 100 Tm ha<sup>-1</sup> de los diferentes biosólidos ensayados, los aumentos experimentados por Cu, Zn, Pb y Ni no alcanzaron niveles que supusieran un riesgo de contaminación para el suelo utilizado (Kabata-Pendias y Pendias, 1992; NMHPPE, 1991).

### **Formas asimilables de metales pesados**

Las [figuras 1](#), [2](#) y [3](#) recogen la evolución, respectivamente, del Cu, Zn y Pb extraído del suelo con AB-DTPA durante el experimento de incubación. No se exponen los valores de Ni, Co y Cr extraíbles con AB-DTPA, ni de los metales solubles en agua ya que no fueron detectados por la metodología analítica utilizada.

La aplicación de los diferentes biosólidos aumentó significativamente, y desde el tiempo inicial, las concentraciones de Cu, Zn y Pb extraídas con AB-DTPA del suelo, aumento que se mantuvo significativo frente al suelo control durante todo el periodo de incubación. Comparativamente hubo un mayor aumento de estas formas debido al aporte de los biosólidos orgánicos que por las cenizas de estos. Los aumentos de Cu, Zn y Pb en el tratamiento BI implicaría que estos metales se encuentran en las cenizas de biosólido en forma inorgánica, que de inmediato resultan asimilables en el suelo. En el caso de los biosólidos orgánicos aplicados, los niveles de asimilabilidad aumentaron debido a que Cu y Zn se encuentran, tanto en el biosólido digerido como en el compost de biosólido, formando complejos con compuestos orgánicos de bajo peso molecular que se liberan rápidamente al suelo, incrementando así su biodisponibilidad (Kabata-Pendias y Pendias, 1992; Hue et al., 1988)

Durante el periodo de incubación, los niveles de asimilabilidad de Cu muestran una tendencia ascendente, alcanzándose los valores máximos para cada tratamiento en la última semana de incubación. Estos aumentos contrastan con los observado en otros estudios con suelos incubados con compost de RSU (Nogales et al., 1989) o biosólidos de depuradora (Adams y Kissel, 1989), en los que se apreció un claro descenso en la concentración de Cu asimilable desde el inicio hasta el final del experimento. Aunque en nuestro experimento, este descenso no tuvo lugar, hay que señalar que las diferencias

entre los niveles iniciales y finales de Cu extraíble con AB-DTPA no fueron muy grandes. En los tratamientos S+BD y S+BC, los procesos de degradación de la materia orgánica podrían explicar la tendencia al aumento que se observa, más intensa en el suelo enmendado con biosólido digerido al contener este subproducto una materia orgánica menos estabilizada.

Respecto al Zn asimilable, únicamente en el suelo enmendado con cenizas de biosólido se observan diferencias significativas a lo largo del periodo de incubación, no ocurriendo lo mismo en los tratamientos orgánicos (S+BD y S+BC). Este hecho dejaría patente la baja asimilabilidad del Zn en suelos con alto contenido en materia orgánica debido a la afinidad que presenta este elemento por la misma (Senesi et al., 1989) y la existencia de formas queladas en la solución del suelo a pH neutro (Adams y Kissel, 1989).

En el caso del Pb asimilable, las variaciones experimentadas durante el periodo de incubación fueron escasas en los tratamientos S+BC y S+BI. En el tratamiento que incluía biosólido digerido (S+BD), se observó un aumento significativo de los niveles asimilables de Pb hasta la cuarta semana, debido posiblemente a la formación de complejos quelados con la materia orgánica contenida en este tipo de biosólido y solubles en el medio edáfico (Adriano, 1986). Posteriormente, la extractabilidad del Pb disminuyó significativamente, alcanzando al final del experimento niveles de asimilabilidad ligeramente inferiores a los del inicio.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron que la aplicación de 100 Tm ha<sup>-1</sup> de diferentes biosólidos residuales urbanos — digeridos, compostados o incinerados— provocó aumentos significativos de las concentraciones totales y asimilables de Cu, Zn y Pb en un suelo degradado. En cambio los niveles de Ni, Co y Cr se encontraron escasamente afectados por el aporte de estos subproductos. Comparativamente, los aumentos de Cu, Zn y Pb en el suelo inducidos por el aporte de estos subproductos decreció en el siguiente orden: biosólidos digeridos > biosólidos compostados > biosólidos incinerados. Pese a los aumentos observados, los niveles alcanzados de Cu, Zn y Pb no suponen un riesgo de contaminación por metales pesados en el suelo utilizado.

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente estudio ha sido financiado por la CICYT a través del proyecto AMB96-0473. Asimismo, los autores agradecen a la Empresa EMASAGRA S.A. y a la Empresa Abonos Orgánicos del Sur los biosólidos suministrados, y a ambas su interés por el desarrollo del proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

Adams, J.F.; Kissel, D.E. (1989). Zn, Cu and Ni availabilities as determined by soil solution and DTPA extraction of a sludge-amended soil. *Soil Sci. Plant Anal.*, 20, 139-158.

Adriano, D.C. (1986). *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag, New York. 533 pp.

Bierman, P.M.; Rosen C.J. (1994). Sewage sludge incinerator ash effects on soil chemical properties and growth of lettuce and corn. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 25, 2409-2437.

Chaney, R.L.; Hundemann P.T.; Palmer W.T.; Small R.J.; White M.C.; Decker A.M. (1978). Plant accumulation of heavy metals and phytotoxicity resulting from utilization of sewage sludge and sludge composts on cropland. En: *Proc. Nat. Conf. Composting of Municipal Residues and Sludges*. Information Transfer, Inc., Rockville, Md, 86-97.

Clapp, C.E.; Stark, S.A.; Clay, D.E. y Larson, W.E. (1986). Sewage sludge organic matter and soil properties. En: *The role of organic matter in modern agriculture*, Y. Chen y Y. Avnimelech, eds Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Holanda Dubey. 209-254.

Genevini, P.L.; Vismara, R.; Mezzanotte, V. (1986). Utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione. *Ingenieria Ambientale*, 5, 134 pp.

Guisquiani, P.L.; Giglioti, G.; Businelli, D. (1992) Mobility of heavy metals in urban waste-amended soils. *J. Environ. Qual.* 21, 330-335.

Hue, N.V.; Silva, J.A.; Arifin, R. (1988). Sewage sludge-soil interactions as measured by plant and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.*, 17, 384-390.

Iturralde, L. (1994). Soluciones de eliminación de lodos residuales. En: *Cuadernos del ICE n° 11: Contribución a la Educación Ambiental: El tratamiento de los*

*residuos urbanos*. J.B. Alvarez y A. Polo, eds. Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid. 231-274

Jackson, M.L. (1970). *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega S.A., Barcelona. 662 p.

Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. (1992). *Trace elements in soils and plants*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton. FL.

M.A.P.A. (1986). *Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Plantas, productos orgánicos fertilizantes, suelos, agua, productos fitosanitarios y fertilizantes inorgánicos*. Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 532 pp.

McGrath, S.P.; Cunliffe, C.H. (1985). A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludge. *J. Sci. Food Agric.* 36, 794-798.

NMHPPE (1991). *Environmental Quality Standards for Soil and Water*. Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, Leidschendam, Netherlands

Nogales, R.; Navarro, A.; Baca, M.T.; Gallardo-Lara, F. (1989). DTPA-extractable micronutrients in soils of contrasting pH affected organic wastes and elemental sulphur. *Trends in Trace Elements*, 1, 93-106.

Nogales, R.; Gallardo-Lara, F.; Benitez, E.; Soto, J.; Hervas, D.; Polo, A. (1997). Metal extractability and availability in a soil after heavy application of either nickel or lead in different forms. *Water Air Soil Pollut.* 94, 33-44.

Senesi, N.; Sposito, G.; Kenneth, M.H.; Bradford, G. (1989). Chemical properties of metal-humic acid fractions of a sewage sludge-amended aridisol. *J. Environ. Qual.* 18, 186-194.

Soltanpour, P.N.; Schwab, A.P. (1977). A new soil test for simultaneous extraction of macro and micronutrients in alkaline soils', *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8, 195-207.

## **FIGURAS Y TABLAS.**

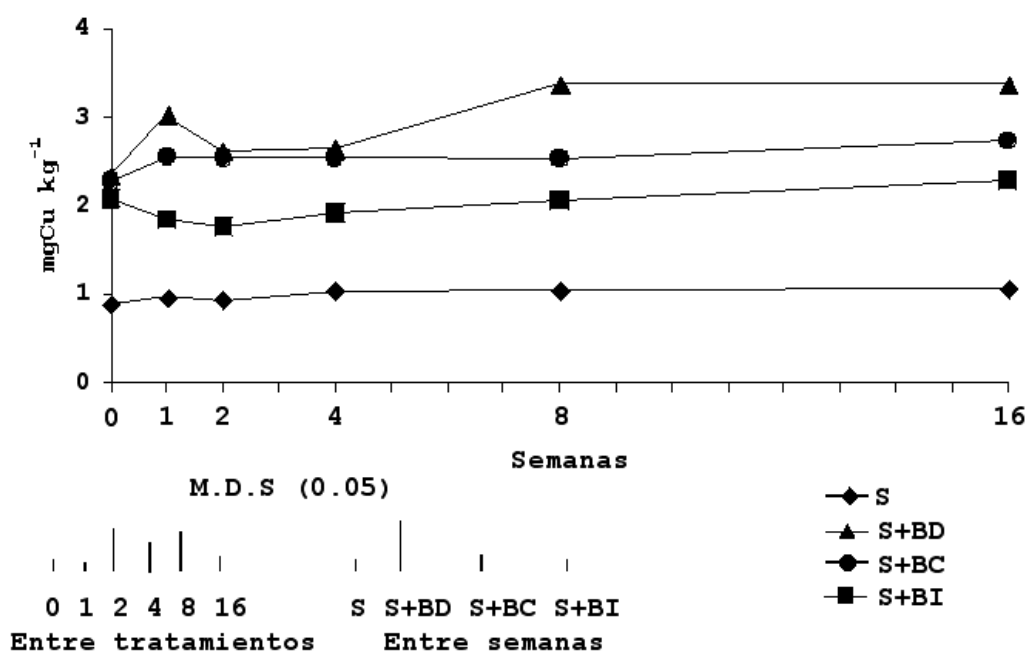


Fig. 1. Evolución del Cu extraído del suelo con AB-DTPA en los diferentes tratamientos ensayados. Valores medios de tres repeticiones.

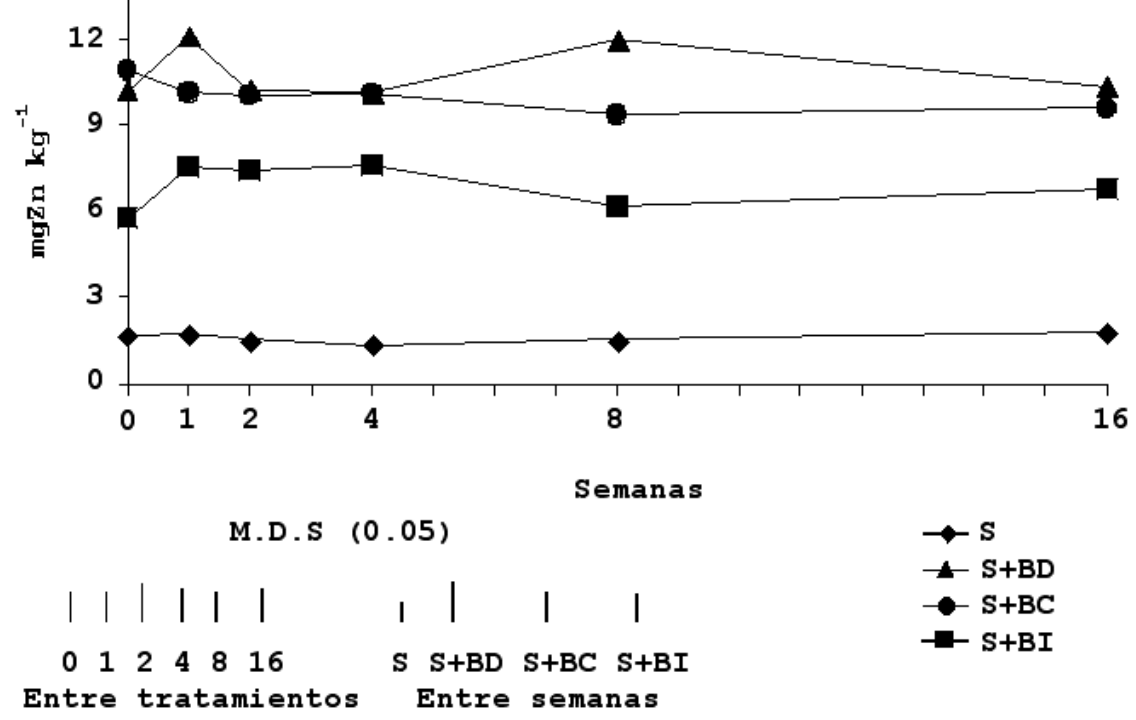


Fig. 2. Evolución del Zn extraído del suelo con AB-DTPA en los diferentes tratamientos ensayados. Valores medios de tres repeticiones.



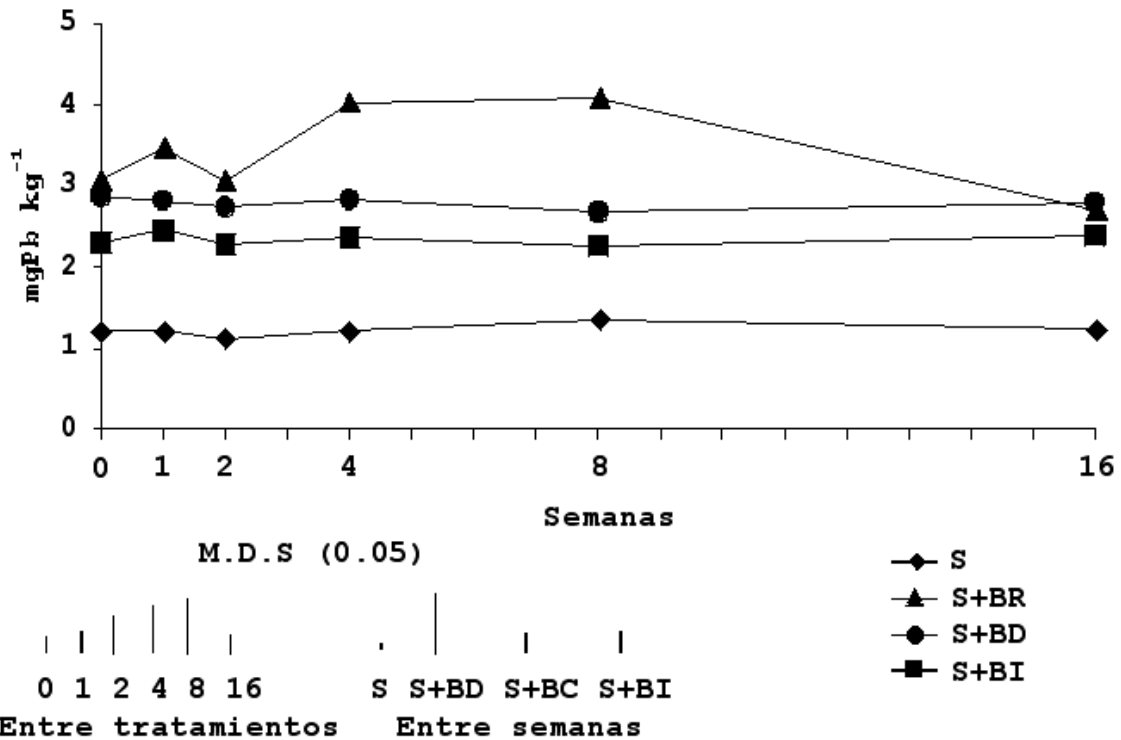


Fig. 3. Evolución del Pb extraído del suelo con AB-DTPA en los diferentes tratamientos ensayados. Valores medios de tres repeticiones.

**Tabla 1.** Composición química del suelo y biosólidos residuales urbanos utilizados. Valores medios de tres repeticiones.

	S	BD	BC	BI
pH	7,0	7,6	7,3	7,5
C g kg <sup>-1</sup>	2,3	317	151	0
N g kg <sup>-1</sup>	0,6	38	24	0
Cd mg kg <sup>-1</sup>	0	3	3	9
Cu mg kg <sup>-1</sup>	31	167	156	670
Zn mg kg <sup>-1</sup>	115	1110	1061	2520
Pb mg kg <sup>-1</sup>	26	175	170	480
Ni mg kg <sup>-1</sup>	42	22	28	59
Co mg	16	11	21	25

<b>kg<sup>-1</sup></b>				
<b>Cr mg</b>	37	54	76	116
<b>kg<sup>-1</sup></b>				

S: suelo; BD: Biosólido digerido; BC: Bio\_sólido compostado; BI: Cenizas biosólido

**Tabla 2.** Concentración total (mg kg<sup>-1</sup>) de metales pesados del suelo al final del experimento de incubación. Valores medios de tres repeticiones

	<b>S</b>	<b>S+BD</b>	<b>S+BC</b>	<b>S+BI</b>
<b>Cu</b>	31b	36a	38a	38a
<b>Zn</b>	111c	129a	118b	122b
<b>Pb</b>	25d	35b	30c	43a
<b>Ni</b>	43a	47a	44a	47a
<b>Co</b>	15a	16a	16a	16a
<b>Cr</b>	37a	40a	38a	38a

En cada línea, valores con la misma letra no son significativamente diferentes (p<0,05).