

INCORPORACIÓN DE MICRONUTRIENTES ASIMILABLES AL SUELO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN LODO DE DEPURADORA COMO ENMIENDA ORGÁNICA

J. MORENO-CASELLES*, R. MORAL*, A. PÉREZ-ESPINOSA*, M.D. PÉREZ-MURCIA* y I. GÓMEZ**

* Departamento de Química, Universidad Politécnica de Valencia, EPS-Orihuela, Ctra Beniel Km 3.2, 03312-Orihuela (Alicante), Spain.

** Departamento de Agroquímica, Universidad de Alicante, Spain.

Abstract: The effects derived of composted sewage sludge application to soil on Fe, Mn, Cu and Zn contents extracted by DTPA were studied in a field experiment. Also absorption of these elements on lettuce cultivation (*lactuca sativa* cv. Malta) was analyzed. Four treatments based on sewage sludge addition were established (0, 2, 4 y 6 kg/m²).

Fe, Zn and Cu available contents in soil were increased significantly with the addition of the different application rates of sewage sludge. No direct incidence was observed on the soil content of Mn. However, Cu, Mn and Zn absorption by plants was not similar to the soil evolution, probably due to the high increase of the vegetal biomass that sewage sludge application provokes. The content of Fe in leaf was increased significantly by the addition of the biosolid, associated to the sewage sludge nature.

Key words: microelements, soil, bioavailability, sewage sludge.

Resumen: En esta experiencia de campo se analizan los efectos derivados de la adición de diferentes dosis de un lodo de depuradora compostado sobre los contenidos extraíbles mediante DTPA de Fe, Mn, Cu y Zn asimilables en un suelo calizo. También se estudió la extracción de éstos por un cultivo testigo de lechuga (*lactuca sativa* cv. Malta). Se establecieron 4 tratamientos en función de la dosis de aplicación del lodo (0, 2, 4 y 6 kg/m²).

Los contenidos de Fe, Zn y Cu asimilable en el suelo aumentan de forma muy significativa en función de la adición de diferentes dosis de lodo de depuradora. Respecto al Mn en suelo, no se observa una incidencia clara asociada a la adición del biosólido. Sin embargo, la absorción de Cu, Mn y Zn por parte de la planta no refleja la anterior evolución probablemente debido al gran incremento de biomasa que origina la aplicación del lodo. En los contenidos foliares de hierro se produce un aumento muy significativo con la dosis de aplicación del lodo, observación asociada a la naturaleza del lodo.

Palabras clave: microelementos, suelo, biodisponibilidad, lodo de depuradora.

INTRODUCCIÓN

Diferentes procesos degradativos del suelo tales como una climatología adversa, empleo

inapropiado de ciertas prácticas agrícolas, incendios forestales, etc, tienen un gran impacto en amplias zonas de la Comunidad Valenciana, y en particular de la provincia de Alicante,

sometidas a un clima semiárido y a un régimen de precipitaciones cada vez más restringido (Moral, 1994). Otro factor de desequilibrio en este sistema es la escasez de fuentes de materia orgánica natural que aportan al suelo que se suma a la alta tasa de mineralización de ésta en el suelo (Cegarra et al. 1983).

La utilización de distintas fuentes de materia orgánica alternativas a las tradicionales y de naturaleza residual se plantea como solución para paliar este desequilibrio (Felipó, 1992). Sin embargo, hemos de considerar el impacto que estas prácticas pueden generar respecto a la incorporación de elementos potencialmente tóxicos al suelo y en especial de metales pesados (Salim, 1990). En el caso de los lodos procedentes de la depuración de aguas residuales, la existencia de elementos contaminantes, como metales pesados, gérmenes patógenos o contaminantes orgánicos, hace necesario el establecimiento de unos niveles de calidad que limiten su uso en el sector agrario, de manera que se eviten problemas de contaminación de suelos, aguas subterráneas y en última instancia del hombre. Sin embargo, y debido a la propia naturaleza de este biosólido, se pueden encontrar ciertas ventajas en cuanto a que incorporan en su composición elementos esenciales como Fe, Cu, Mn y Zn en cantidades apreciables y susceptibles de permanecer en forma biodisponible en las condiciones adversas que se dan cita en los suelos del sureste español, pH elevado y alto contenido en carbonatos.

En este experimento se pretende evaluar la incorporación de los elementos Fe, Cu, Mn y Zn al suelo mediante la adición de un lodo de depuradora, con especial interés en la fracción biodisponible de estos elementos en el suelo. Además se correlaciona el contenido de estos elementos en el suelo con la extracción de éstos por parte de un cultivo testigo de lechuga.

MATERIAL Y MÉTODOS

En una finca experimental situada en Elda

(Alicante), se establecieron 4 tratamientos en función de la adición de lodo de depuradora en diferentes dosis de aplicación (0, 2, 4 y 6 kg/m²) a un suelo calizo. Las características de la capa arable del suelo y del lodo de depuradora se muestran en la tabla 1. La experiencia se ha realizado en una superficie de 60 m², donde cada tratamiento se aplicó en una franja de 15 m².

La aplicación de los diferentes tratamientos se realizó un mes antes del transplante con el fin de conseguir unas condiciones estables en el momento de implantar el cultivo. Se realizó mediante adición superficial del lodo y posterior homogeneización en los primeros 20 cm del perfil de este suelo agrícola.

Como cultivo testigo, se utilizó la lechuga (*lactuca sativa* cv. Malta). La plantación se realizó con una densidad de 15 plantas por metro cuadrado, dispuestas de forma regular en el área asignada a cada tratamiento. El dispositivo utilizado para el riego es mediante riego tradicional, con una periodicidad determinada por lecturas tensiométricas realizadas in situ. No se empleó ningún tipo de fertilización extra de fondo o cobertera o de apoyo al cultivo, por lo que la única fertilización a lo largo de toda la experiencia fue la aplicación del lodo. Se efectuaron 3 muestreos (30, 50 y 85 días desde la implantación del cultivo), donde se tomaron muestras de suelo y material vegetal.

El procedimiento de Linsay-Norvell, recomendado para suelos calcáreos (Aguilar et al., 1987) mediante extracción con una disolución extractora 0,005 M DTPA, 0,01 N CaCl₂ y 0,1 N en Trietanolamina a pH 7, es el usado para la estimación de los iones Fe, Cu, Mn, Zn y Cd y posterior determinación mediante espectroscopía de absorción atómica (Whiteside y Milner, 1984). Los contenidos de Fe, Mn, Cu y Zn en la parte comercial del cultivo se determinaron mediante mineralización ácida mediante microondas (Moral et al. 1996) y posterior determinación mediante espectroscopía de absorción atómica.

Para evaluar el significado estadístico de

Tabla 1. Características del suelo y del lodo de depuradora.

Propiedad		suelo ^a	lodo ^b
pH (1/5 extracto acuoso)		8,24	7,26
C.E. (1/5 extracto acuoso)	μS/cm	618	1850
Arena	%	43	--
Limo	%	22	--
Arcilla	%	35	--
CaCO ₃ total eq.	%	45,5	--
CaCO ₃ activo eq.	%	15,5	--
Mat. orgánica oxidable	%	1,54	50,1
N - Kjeldahl	g/Kg	1,14	35,5
Relación C/N	--	7,85	14,0
P	g/Kg	0,015	26,3
K	g/Kg	0,28	6,4
Ca	g/Kg	4,09	181
Mg	g/Kg	0,51	9,2
Na	g/Kg	0,62	1,1
Fe	mg/Kg	6,7	12050
Cu	mg/Kg	10,0	66
Mn	mg/Kg	7,3	189
Zn	mg/Kg	1,9	208

a - K, Ca, Mg y Na determinado en extracto de acetato amónico 1N y Fe, Mn, Cu, Zn y Cd determinado en extracto mediante disolución de Lindsay-Norwell.

b - Composición elemental determinada mediante digestión nítrica de la muestra en microondas.

los tratamientos se ha empleado el análisis de varianza ANOVA (F, C, FxC), representado por los signos *, ** y *** que indican diferencias significativas a p=0.05, 0.01 y 0.001 respectivamente. El test de Duncan ha sido utilizado para comparar las medias entre tratamientos (medias con la misma letra no son significativamente diferentes para p=0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El lodo de depuradora utilizado procede de la depuradora de Rincón del León que da servicio a la ciudad de Alicante y su composición se encuentra dentro de los valores usuales obtenidos para lodos con similares procesos de estabilización para los macronutrientes. Sin embar-

go, parece existir un alto valor de P, posiblemente fruto de la utilización de sales de hierro que pueden favorecer la precipitación de dicho fósforo (Jokinen, 1990). Respecto a los micronutrientes destaca la concentración de hierro, como consecuencia directa de los procesos de depuración utilizados; en cuanto al resto de metales, se encuentran dentro del rango establecido por otros autores (Andrade y col. 1985; Sauerbeck, 1986; Juárez y col. 1987).

Como se observa en la tabla 2, los contenidos de Fe asimilable en el suelo aumentan de forma muy significativa en función de la adición de diferentes dosis de lodo de depuradora. Esta observación es esperable en función de la utilización de sales de hierro en los procesos de generación del lodo. Esta incidencia se mantiene en todos los muestreos realizados.

La presencia de Zn en el lodo de depuradora incide en gran medida en el aumento de la fracción biodisponible de este elemento en el suelo con aumentos que superan incluso el

100% respecto al tratamiento testigo para la dosis de adición más alta. Los contenidos de Fe y Zn en los lodos de depuradora suelen ser elevados y su comportamiento en el suelo implica un alto grado de biodisponibilidad (Pendias y Pendias, 1984).

Una evolución similar se produce para el Cu. Se observa una correspondencia directa entre los contenidos extraíbles y la dosis de aplicación del lodo de depuradora al suelo. Silviera y Sommers (1977) consideran al Cu como un elemento con una alta atracción por la materia orgánica y de relativamente baja movilidad en el suelo.

Sin embargo, y en lo que respecta al Mn, no se observa una incidencia clara asociada a la adición del biosólido, probablemente debido a la propia composición basal del lodo así como a las interacciones que se producen entre este elemento y la materia orgánica que condicionan una menor biodisponibilidad en el suelo.

En lo que respecta a la extracción de

Tabla 2. Contenido de Fe, Cu, Mn y Zn extraíble mediante DTPA en suelos enmendados con diferentes dosis de lodos.

	Fe (mg/kg suelo)			Cu (mg/kg suelo)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L-0 kg/m ²	1,55 a	1,47 a	1,48 a	0,94 a	0,94 a	0,89 a
L-2 kg/m ²	2,90 b	2,54 b	2,60 b	1,11 b	1,23 b	1,26 b
L-4 kg/m ²	4,49 c	3,80 c	4,28 c	1,88 c	1,77 c	1,92 c
L-6 kg/m ²	4,70 c	2,80 d	3,73 d	2,15 d	1,71 c	2,20 d
F-anova	***	***	***	***	***	***

	Mn (mg/kg suelo)			Zn (mg/kg suelo)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L-0 kg/m ²	6,81 a	7,95 a	8,09 a	3,10 a	3,20 a	3,10 a
L-2 kg/m ²	7,89 a	9,06 b	9,05 b	3,65 b	4,07 b	4,07 b
L-4 kg/m ²	7,75 a	7,76 a	8,58 c	6,13 c	6,88 c	7,07 c
L-6 kg/m ²	7,45 a	8,07 a	7,37 d	7,64 d	6,59 d	7,44 c
F-anova	ns	**	***	***	***	***

micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn por parte de la planta y reflejada en los contenidos de estos elementos en la hoja del cultivo testigo (tabla 3) podemos observar como los elementos analizados tienden a disminuir significativamente en sus contenido en función de la aplicación de dosis crecientes de lodo de depuradora, salvo el

hierro. Esta aparente contradicción entre la mayor biodisponibilidad de los micronutrientes en el suelo con la aplicación del lodo y una menor presencia de éstos en hoja se justifica en función de una mayor producción de biomasa por parte de las plantas cultivadas en los suelos enmendados con lodos. En este sentido, la

Tabla 3. Contenido de Fe, Cu, Mn y Zn en hojas de lechuga cultivadas en suelos enmendados con diferentes dosis de lodos.

	Fe (mg/kg m.s.)			Cu (mg/kg m.s.)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L-0 kg/m ²	240 a	362 a	320 a	19,9 a	26,2 a	15,3 a
L-2 kg/m ²	273 b	313 b	345 a	18,2 b	20,4 b	11,5 b
L-4 kg/m ²	273 b	528 c	413 b	19,2 ab	12,1 c	12,2 b
L-6 kg/m ²	232 a	562 c	500 c	15,3 c	12,4 c	11,2 b
F-anova	*	***	***	***	***	***

	Mn (mg/kg m.s.)			Zn (mg/kg m.s.)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L-0 kg/m ²	34 a	38 a	36 a	66 a	65 a	63 a
L-2 kg/m ²	33 a	35 b	35 a	61 ab	44 b	47 b
L-4 kg/m ²	28 b	29 c	36 a	55 c	43 b	44 b
L-6 kg/m ²	30 b	31 c	33 a	57 bc	52 c	54 c
F-anova	**	***	ns	*	***	***

Tabla 4. Producción en peso fresco y peso seco de hojas de lechuga cultivadas en suelos enmendados con diferentes dosis de lodo.

	Producción (g/planta m.f.)			Peso seco hoja (g/planta m.s.)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L-0 kg/m ²	10,5 a	77 a	254 a	0,75 a	4,22 a	15,98 a
L-2 kg/m ²	14,8 b	159 b	319 b	1,09 b	8,43 b	12,16 a
L-4 kg/m ²	21,5 c	248 c	536 c	1,66 c	12,11 c	24,05 b
L-6 kg/m ²	28,4 d	237 c	610 d	2,36 d	11,72 c	26,67 b
F-anova	***	***	***	***	***	***

producción vegetal está directamente influenciada por los tratamientos aplicados (tabla 4). La adición de lodo de depuradora mejora la producción de hojas tanto cuando esta producción se expresa en base a peso fresco como a peso seco. Sin embargo, las dosis de 4 y 6 Kg lodo/m² poseen similares productividades de peso por planta, sobre todo cuando analizamos los resultados sobre materia seca. Por ello, y si consideramos que estos rendimientos suponen aumentos de la biomasa de hasta el 200% en algunos casos, con respecto a los tratamientos testigo, podemos concluir que sí se produce una mayor extracción en niveles absolutos por parte de la planta, aunque para Cu, Mn y Zn, no se manifieste en un mayor contenido a nivel foliar.

Esta disminución a nivel foliar no se manifiesta para el hierro. Este hecho es debido a la gran carga que posee el lodo de depuradora, que provoca un aumento muy significativo de la presencia del hierro a nivel foliar. Domingues et al. (1995), en ensayos en diferentes suelos enmendados con lodos de depuradora, observaron para *Trifolium subterraneum* un aumento significativo en la presencia de hierro en hoja.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A.; Etchevers, J.D. y Castellanos, J.Z. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Ed. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo-México.
- Andrade M.L.; Mateos Beato, A y Guitian Ojea F. (1985). Poder fertilizante de los lodos residuales: efecto sobre el contenido total y disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Co y Ni. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 44: 7-8: 1123-1139.
- Cegarra, J.; Hernández, M.T.; Lax, A. y Costa, F. (1983). Adición de residuos vegetales a suelos calizos. II. Influencia sobre la capacidad de retención hídrica y las propiedades de intercambio iónico. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 42 (1-2), 235-244.
- Domingues, H. ; Pires, F. ; Monteiro, O. y Sequeira, E. (1995). Growth of *Trifolium subterraneum* in schistic soils treated with sewage sludge having high Cu content. *Arid Soil Res. Rehabilitation*, 9 : 327-333.
- Felipó, M.T. (1992). Contaminación del suelo e impacto ambiental. Seminario «Contaminación, protección y saneamiento de suelos». UIMP, Valencia.
- Jokinen, R. (1990). Effect of phosphorus precipitation chemicals on characteristics and agricultural value of municipal sludges. *Acta Agr. Scand.* 40: 123-129.
- Juárez, M.; Sánchez-Andréu, J. y Mataix, J. (1987). Interés agrícola de lodos de depuradora de aguas residuales. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 46 (1-2): 211.228.
- Moral, R. (1994). Significación agroquímica y fisiológica del cadmio en el sistema suelo-planta. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante.
- Moral, R.; Navarro-Pedreño, J.; Gómez, I. y Mataix, J. (1996). Quantitative analysis of organic residues: effects of sample preparation in the determination of metals. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 27 (3-4): 753-761.
- Pendias, A.K. y Pendias H. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Ratón, Florida (USA).
- Salim Akhter, M. (1990). Trace metal analysis of sewage sludge and soils in Bahrain. *Water Air Soil Pollut.*, 51 : 147-152.
- Sauerbeck, D.R. (1986). Effects of agricultural practices on the physical, chemical and biological properties of soils: Part II - Use of sewage sludge and agricultural wastes. Scientific basis for soil protection in the European Community, 181-210. Ed. Elsevier Applied Science Publishers LTD, Essex-Reino Unido.
- Silviera, D.J. y Sommers, L.E. (1977). Extractability of copper, zinc, cadmium and lead in soils incubated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 6 : 47-52.
- Whiteside, P.J. y Milner, B.A. (1984). Pye Unicam atomic absorption data book. Ed. Pye Unicam Ltd, Cambridge-Reino Unido.