

# **EFEECTO DE LA ADICIÓN DE UN LODO RESIDUAL SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO: EXPERIENCIAS DE CAMPO**

Quinteiro Rodríguez, M. P.; Andrade Couce, M. L.; De Blas Varela, E.

Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. Apartado 874. Vigo-36200. España.

## **INTRODUCCIÓN**

La aplicación de lodos residuales a suelos agrícolas es una práctica habitual en países desarrollados por razones prácticas y económicas (Ottaviani et al., 1991). Los lodos residuales tienen valor fertilizante y mejoran también las propiedades físicas de los suelos (Tester, 1990). La dosis de aplicación se suele fijar en función de los requerimientos del cultivo en N y P. La productividad del suelo aumenta frecuentemente, a causa del llamado efecto de la materia orgánica que se produce después de la aplicación de lodos residuales.

La materia orgánica juega un importante papel en la movilización y adsorción de diferentes elementos en los suelos (Schnitzer, 1991). Por tanto, el análisis de las distintas fracciones orgánicas suministrará información sobre la mineralización de los lodos y la formación de humus (Genevini et al., 1986). También diversos metales pesados y microcontaminantes orgánicos pueden estar presentes en los lodos; llegando a afectar a la cadena alimentaria a través de los cultivos y contaminar las aguas freáticas (Legret et al., 1988; Gennaro et al., 1991). El Consejo de las Comunidades Europeas ha establecido límites obligatorios para las concentraciones de metales pesados en los lodos residuales que se apliquen a los suelos, para prevenir riesgos de contaminación. (CEC, 1986). Dichos límites han sido fijados para suelos con pH comprendido entre 6.0 y 7.0. Si los lodos se añaden a suelos con pH menor de 6, debe tenerse en cuenta un posible aumento de la asimilabilidad de dichos metales por las plantas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Lodos residuales y suelos**

Los lodos residuales utilizados (SS) en este experimento proceden de la planta depuradora de aguas residuales de Santiago de Compostela. El tratamiento que reciben las aguas en ella comprende un proceso de desarenado, después agitación aerobia y dos etapas de sedimentación. Los lodos procedentes de ambas sedimentaciones se mezclan, se tratan con  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y se secan en un filtro prensa. En la [Tabla 1](#) se presentan las características generales de los lodos residuales. El suelo utilizado fue un Cambisol Húmico de textura areno arcillosa y cuyas características generales son: capacidad de intercambio catiónico  $5.37 \text{ cmol.kg}^{-1}$  (CIC); pH: 5; materia orgánica(%): 5.2; N (%): 0.25 y relación C/N: 12.2.

## **Diseño experimental**

Las experiencias de campo han sido realizadas en la provincia de Pontevedra. La parcela experimental no fue fertilizada, ni se desarrolló cultivo alguno en ella, en los últimos diez años, manteniéndola en barbecho. Las parcelas experimentales fueron diseñadas en bloques al azar, con tres réplicas por tratamiento. Se realizaron 6 tratamientos diferentes en las distintas parcelas, cuatro en los que se aplicaron dosis de lodos equivalentes a 5 (T1), 10 (T2), 20 (T3) y 40 (T4)  $\text{Mg.ha}^{-1}$  y dos controles, uno en el que no se añadieron lodos ni fertilización alguna (C) y otro al que se añadió fertilización mineral (F) equivalente a 200, 120 y 100  $\text{kg.ha}^{-1}$  de N, P y K, respectivamente. La dosis óptima de Nitrógeno fue calculada en función de los requerimientos del cultivo (Genevini et al. 1986); siendo el tratamiento con 20  $\text{Mg.ha}^{-1}$  de lodo residual el más adecuado. El lodo fue aplicado en Agosto de 1991 y, un mes más tarde, se sembró cebada, (*Hordeum vulgare*, L.) variedad atlas, dejándola desarrollar durante 7 meses; procediendo entonces a la recolección. Después se sembró maíz (*Zea mays*, L.) variedad INRA 260, dejándolo desarrollar también durante otros siete meses. Durante todo el período experimental, el suelo fue muestreado cada dos meses.

## **Metodología analítica**

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm antes de efectuar los análisis. La humedad de suelos, lodos residuales y plantas se determinó por secado de las muestras a  $105^\circ\text{C}$  hasta peso constante (Gutián y Carballas, 1976). El pH de suelos y lodos se determinó en agua y en  $\text{KCl } 1\text{M}$  (Gutián y Carballas, 1976). El fraccionamiento de los compuestos carbonados se realizó utilizando el método descrito por Kononova (1961), excepto las sustancias hidrosolubles que fueron extraídas siguiendo lo indicado por Stevenson (1965).

El fraccionamiento secuencial de los metales fue realizado según el método de Tessier et al.(1979) y Gibson y Farmer (1986). Se obtuvieron cinco fracciones denominadas: extraíble con  $\text{MgCl}_2$  (pH=7) (E1), extraíble con acetato sódico (pH=5) (E2), extraíble

con ácido oxálico (0.1M) oxalato amónico (0.175M) (E3), extraíble con pirofosfato sódico (0.1M) (E4) y residual (mediante digestión ácida) (E5). La fracción extraída con  $MgCl_2$  representa la fracción intercambiable. La extracción con  $NaCH_3COO$  solubiliza los metales asociados a carbonatos y suele ser denominada como fracción extraíble con ácido diluído. La extracción con ácido oxálico-acetato amónico solubiliza los metales asociados con los óxidos de Fe y Mn, y el pirofosfato sódico extrae los metales ligados con la fracción orgánica de los suelos. Los análisis de los metales en suelos y lodos fueron realizados por espectrofotometría de absorción atómica.

Los datos fueron evaluados estadísticamente realizando análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SYSTAT.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de materia seca

La cebada y el maíz fueron seleccionados por ser cultivos habituales desarrollados en los suelos de Galicia. No se apreciaron síntomas de toxicidad, ni de deficiencia en los cultivos desarrollados en las parcelas tratadas con lodos. La producción de materia seca ([Tabla 2](#)) en los suelos a los que se aplicaron lodos fue mayor que en las parcelas control (C), excepto para el caso de la cebada cultivada en el suelo que recibió el tratamiento T1 (5 Mg.ha<sup>-1</sup>). No obstante, la producción de cebada en las parcelas con fertilización mineral (F) es mayor que en las que recibieron el tratamiento T1 y similar a la de las tratadas con T2 y T3. La producción de maíz es mayor en los suelos tratados con cualquiera de las dosis de lodos residuales que en el control y que la que recibió fertilizante inorgánico. La comparación de la producción obtenida entre fertilización mineral y tratamiento con lodos indica que la enmienda con estos residuos produce un aumento en la productividad del suelo ([Tabla 2](#)), incluso cuando el nivel de N está por debajo de los valores óptimos requeridos por el cultivo (T3). Esto se atribuye al posible efecto de la materia orgánica (De Haan, 1983) y de otros micronutrientes, como el Fe, aportados con los lodos. El hecho de que en todos los suelos enmendados, con cualquier dosis de lodos, se obtenga mayor producción en el segundo cultivo que en las parcelas fertilizadas inorgánicamente, puede ser debido al efecto de la mineralización del N inicial añadido con el lodo, que está presente fundamentalmente en forma orgánica. A medida que esta mineralización progresa, cada vez más N asimilable es liberado; dando como resultado que para el segundo, o siguientes, cultivos se presente mejor respuesta al efecto del aporte de lodos que en la primera cosecha desarrollada en el suelo enmendado. Por el contrario durante el crecimiento de la cebada, en el suelo fertilizado inorgánicamente, el contenido de N asimilable es alto y se pueden producir pérdidas por volatilización (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y por drenaje (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) que hacen que descienda la asimilabilidad para las plantas del segundo cultivo.

## **pH**

Los datos muestran un aumento significativo en el pH del suelo ([Tabla 3](#)) cuando la dosis de lodos es mayor de 20 Mg.ha<sup>-1</sup>. Los valores de pH varían entre 4.7 (para C) hasta 5.6 (para T4). Sólomente el tratamiento T4 aumenta significativamente el pH con relación al control durante el desarrollo de ambos cultivos y hasta el final del experimento. El aumento de pH entre tratamientos nunca es mayor de 0,8 unidades. Los suelos enmendados con lodos presentan una muy pequeña variación estacional de este parámetro. Ello es debido a que estos lodos han sido tratados con cal y los suelos enmendados con ellos tienen mucha mayor capacidad reguladora que los que reciben lodos que no sufrieron esta adición; dando como resultado que los suelos a los que se añaden lodos encalados no presentan procesos de acidificación progresiva.

## **Materia orgánica**

El aumento del contenido de materia orgánica del suelo es de un 1% como máximo ([Tabla 4](#)) a pesar de la contenida en los lodos. Diversos autores sugieren la posibilidad de que la buena aireación de los suelos arenosos contribuye a una rápida mineralización de la materia orgánica (Levi-Minzi et al., 1985). Así, durante el crecimiento de ambos cultivos, el contenido de materia orgánica en el suelo tratado con 5 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo (T1) ([Tabla 4](#)) es menor que en los suelos control, lo cual puede ser justificado como consecuencia del "efecto priming" (Terry et al., 1979).

Un alto contenido de sustancias liposolubles en suelos puede afectar a la germinación y a los procesos de nitrificación (Braids y Miller, 1975). Los lodos residuales contienen un 20% de sustancias hidrosolubles (del total de la materia orgánica), sin embargo no se ha apreciado un aumento significativo en los suelos causado por la aplicación de los lodos. El contenido varía en el rango del 3-4% de la materia orgánica total. Ello supone que el C mineralizado en un corto espacio de tiempo es el correspondiente a la fracción hidrosoluble. Al comparar los valores obtenidos inmediatamente después de la adición de los lodos y los finales, se aprecia que los compuestos lignocelulósicos, sustancias hidrosolubles y celulosas decrecen significativamente, mientras que la lignina aumenta en todos los suelos. La fracción lignocelulósica (lignina y celulosas) alcanza un 90% del contenido total de materia orgánica. No se han apreciado diferencias significativas entre tratamientos para la fracción de celulosas. Sin embargo, una vez recogida la cosecha de maíz, la lignina y la fracción hidrosoluble son muy diferentes para los distintos tratamientos. Los suelos tratados con las dosis mayores de lodos tienen una significativamente mayor proporción de compuestos hidrosolubles que el control, mientras que la de lignina es menor. Esto puede ser debido al efecto de la adición de la materia orgánica del lodo, ya que el contenido de lignina en la materia orgánica de éste es de un 11%, mientras que en la del suelo es de un 35%.

## **Efecto de la aplicación de los lodos sobre el contenido y formas de los metales pesados**

Las cinco fracciones extraídas pueden agruparse en dos amplias categorías en función del grado de movilidad de los metales en el suelo bajo condiciones normales: 1) Las formas fácilmente liberables, que incluyen las fracciones extraídas con  $Mg_2Cl$  (E1) y acetato sódico (E2), y 2) las formas fuertemente ligadas (E3, E4 y E5). La posición de los metales enlazados a la materia orgánica en el esquema de fraccionamiento (E4), hace que estos sean considerados como fuertemente ligados (Elliot et al., 1990). Inicialmente, los metales contenidos en las fracciones orgánicas pueden estar en formas móviles, pero la movilidad disminuye cuando se ha estabilizado la materia orgánica aportada por los lodos. Ninguno de los extractantes es específico para una forma concreta de los metales, lo que da como resultado que en cada una de las fracciones se disuelven múltiples formas de los mismos. Además, no sólo debe considerarse la efectividad de los reactivos para extraer una forma específica del metal, sino también la secuencia de etapas en el esquema general de extracción.

### **Co, Cu y Cr**

El contenido total de Co no supera nunca  $10\text{ mg.kg}^{-1}$ . Está presente fundamentalmente en las fracciones fácilmente extraíbles (E1 y E2). A pesar del Co añadido con la dosis más elevada de lodos (T4), no se han encontrado diferencias significativas entre los suelos con ésta y con las restantes dosis. Sin embargo, una vez recogida la cosecha de maíz, el contenido de Co en los suelos tratados con lodos es menor que el del control ([Figura 1](#)). Esto implica que el Co añadido con el lodo está en formas más fácilmente asimilables que el propio del suelo.

El Cu se encuentra fundamentalmente en formas fuertemente enlazadas y solamente se detectan niveles traza en las fracciones fácilmente extraíbles (E1 y E2). El contenido total no supera  $36\text{ mg.kg}^{-1}$ , que está por debajo del valor límite recomendado de  $50\text{ mg.kg}^{-1}$  (Directiva CEC, 1986). Se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos. El suelo tratado con la dosis más alta de lodos contiene más Cu que los controles ([figura 2](#)). El Cu residual representa, en todos los suelos, alrededor de un 60% del contenido total. En esta fracción no se han encontrado diferencias significativas para los distintos suelos. Los lodos tienen su contenido más elevado de Cu en las fracciones E3 y E4 y podría ocurrir que la concentración de éste elemento en la fracción E3, de los suelos que recibieron la dosis más alta (T4), fuese más elevada que la de los controles. Además el Cu posee una fuerte tendencia a formar complejos orgánicos (Alloway y Jackson, 1991). Sin embargo, según datos aportados por diferentes autores (Levy et al., 1992), los niveles extraídos con ácido oxálico-oxalato amónico son más elevados que los que se extraen con pirofosfato sódico. A esto se suma el efecto, anteriormente mencionado, de la secuencia de extracción (el oxalato extrae parte de los metales

orgánicamente enlazados) y todo ello contribuye a las diferencias entre ambas fracciones.

El Cr se encuentra principalmente en la fracción residual, lo cual coincide con los resultados de otros trabajos similares (Legret et al., 1988). Era esperable que el contenido de Cr aumentase con la adición de lodos residuales, pero este incremento no alcanza niveles por encima de los valores permitidos para suelos tratados con este tipo de materiales que es de 100 mg.kg<sup>-1</sup> (Directiva EEC, 1986) ([Figura 3](#)). El contenido de Cr en otras fracciones es bajo, nunca mayor de 3 mg.kg<sup>-1</sup>. No se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos. El Cr añadido con los lodos suele estar en forma trivalente que es menos asimilable y tóxica que la hexavalente. Sin embargo, las condiciones de pH del suelo, potencial redox y contenido de Mn pueden afectar al estado de oxidación del Cr. El hecho de que la mayor proporción de este elemento se encuentre en la fracción residual indica que las condiciones del suelo no contribuyen a aumentar la asimilabilidad del Cr añadido con los lodos.

## **Fe y Mn**

Los lodos poseen una alta concentración de Fe (66743 mg.kg<sup>-1</sup>). Esta elevada proporción se encuentra en forma de óxidos (E3) y, cuando el lodo se añade al suelo, no se aprecian cambios en esta forma. La fracción residual es la que presenta mayor contenido de este metal. La extraída con MgCl<sub>2</sub> varía entre 1 y 3 mg.kg<sup>-1</sup> y la extraída con CH<sub>3</sub>COONa entre 10 y 18 mg.kg<sup>-1</sup>, pero no se aprecian diferencias significativas causadas por la aplicación de los lodos. La mayor parte del Fe está en formas fuertemente ligadas y su concentración en óxidos es diez veces superior al enlazado a la materia orgánica. En los suelos, el Fe asociado con óxidos y el contenido en la fracción residual, presentan diferencias significativas debidas a la aplicación de los lodos. Estas diferencias permanecen después de haber recogido los cultivos ([Fig. 4](#) y [Fig. 5](#)), lo cual coincide con los datos de diversos autores (Bell et al., 1991).

EL Mn, al contrario que el Fe, se encuentra en concentraciones similares en las fracciones extraídas con MgCl<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>COONa y pirofosfato sódico. Cada una de éstas representan aproximadamente un 5% del contenido total de Mn. Los valores totales no alcanzan, en ningún caso, 500 mg.kg<sup>-1</sup>. No se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos que puedan ser atribuibles a la aplicación de los lodos, a diferencia de lo señalado en otros trabajos (Campbell y Beckett, 1988). Por el contrario el Mn contenido en la fracción mas fácilmente extraíble es significativamente menor en los suelos que recibieron los tratamientos T3 y T4 que en el control al final de la experiencia ([Figura 6](#)). El Manganeso enlazado a los óxidos constituye el 38% y el residual un 45% del total. Tampoco se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos para estas dos fracciones.

## **Cd y Zn**

El Cd y el Zn son considerados, junto con el Ni, los metales con mayor potencial contaminante para los suelos tratados con lodos, debido a su elevada movilidad y a su asimilabilidad para las plantas (Alloway y Jackson, 1991). El contenido de materia orgánica y el pH del suelo tienen un importante efecto sobre la movilización. En suelos cuyo pH no supere el valor de 6 sólo es esperable que se solubilice una pequeña parte de los metales que se aportan con los lodos. Estos contienen 6 mg.kg<sup>-1</sup> de Cd. Con las dosis aplicadas, el efecto del Cd añadido es mínimo y no se han encontrado niveles detectables. El Zn está presente en los lodos (1.380 mg.kg<sup>-1</sup>) principalmente en la fracción extraíble con ácido oxálico-oxalato amónico. No obstante, solamente se han encontrado niveles traza de Zn en las fracciones extraíbles con MgCl<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>COONa y ácido oxálico-oxalato amónico de los suelos tratados con lodos. La fracción residual representa más del 90% del contenido total. Durante el crecimiento del primer cultivo, el Zn contenido en los suelos enmendados con lodos (T2, T3 y T4) es significativamente mayor que en los controles ([Figura 7](#)). Al final de la experiencia no se aprecian diferencias altamente significativas entre tratamientos. Frecuentemente el Zn está presente en formas orgánicas e inorgánicas en suelos tratados con lodos y no muestra preferencia por enlazarse a la materia orgánica (Alloway y Jackson, 1991). En este caso, la fracción extraída con pirofosfato sódico (E4) no aumenta significativamente a causa de la adición del lodo y los niveles varían entre 2 y 4 mg.kg<sup>-1</sup>. El contenido total de Zn es siempre menor que el valor límite recomendado: 150 mg.kg<sup>-1</sup> (CEC, 1986).

## **CONCLUSIONES**

La adición de lodos residuales aumenta el rendimiento de los cultivos, incluso cuando la dosis de aplicación no supere los requerimientos de nitrógeno calculados. Se ha apreciado un significativo incremento del pH de los suelos tratados con las dosis mayores de lodos. Los niveles de materia orgánica y metales pesados no se ven, en general, significativamente afectados por la aplicación de los lodos. No se han observado síntomas de toxicidad en los cultivos. En todos los suelos el contenido de Cd es inapreciable y los niveles para los restantes metales están por debajo de los valores límite recomendados para suelos tratados con lodos residuales

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alloway B.J. & Jackson A.P. (1991). The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *Sci. Total Environ.*, 100, 151-176.



- Bell P.F.; James B.R.; Chaney R.L. (1991). Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal salt-amended soils. *J. Environ. Qual.*, 20, 481-486.
- Braids O.& Miller R. (1975) In: *Organic components*. E. Gieseking ed. Springer-Verlag. New York, 343-368
- Campbell D.J.& Beckett P.H.T. (1988). The soil solution in a soil treated with digested sewage sludge. *J. Soil Sci.*, 39; 283-298.
- Council of the European Communities. 1986. Directive concerning sludge amendments. *Off. J. June*, 12, L181/6.
- De Haan S. (1983). General comments on the organic value of sludge In: *The influence of sewage sludge application on physical and biological properties*. D.Reidel Pub. Co. Dordrecht, 62-63
- Elliot H.A.;Dempsey B.A.;Maille P.J. (1990). Content and Fractionation of heavy metals in water treatment sludges. *J. Environ. Qual.*, 19, 330-334.
- Gennaro M.C.; Vanni A.; Ferrara E.; Petronio B.M.; Petruzzelli G.; Liberatori A. (1991) A Characterization study of organic matter in municipal treatment sludges by reversed-phase HPLC chromatography. *J. Environ. Sci. Health, A 26(7)*, 1115-1138.
- Genevini P.L.; Vismara R.; Mezzanotte V. (1986). Utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione. *Ingegneria ambientale*, 5. Milano.
- Gibson J.J.& Farmer J.G. (1986) Multistep sequential chemical extraction of heavy metals from urban soils. *Environ. Pollut. Ser. B 11*, 117-135.
- Gutián F.& Carballas T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- Kononova M.M. (1961). *Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Pergamonn Press. Oxford.
- Legret M.; Divet L.; Juste C. (1988). Migration et speciation des métaux lourds dans un sol soumis à des épandages de boues de station d'épuration à très forte charge en Cd et Ni. *Wat. Res.*, 22 (8), 953-959.
- Levi-Minzi R.; Riffaldi R.; Guidi G.; Poggio G. (1985)."Chemical characterization of soil organic matter in a field study with sewage sludge and composts. In: *Long term effects of sewage sludge and farm slurries applications* J.H. Williams; G. Guidi & P. L'Hermite (eds.) Elsevier Applied Science Publishers. London & New York, 151-160.
- Levy, D.B.; Barbarick, K.A.; Siemer, E.G.; Sommers, L. E. (1992) Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near Leadville, Colorado. *J. Environ. Qual.* 21, 185-195.
- Ottaviani M.; Santarsiero A.; De Fulvio S. (1991). Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage. *Acta Chim. Hung.* 128 (4 - 5), 535-543.
- Schnitzer M. (1991). Soil organic matter - The next 75 years. *Soil Sci.*, 151 (1), 41-58.



Stevenson F.J. (1965). Gross chemical fractionation of organic matter In:Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger & F.E. Clark.(ed.) American Society of Agronomy. Madison, WI., 1409-1414.

Terry R.E.; Nelson D.W.; Sommers L.E. (1979).Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 43(3), 494-499.

Tessier A.; Campbell P.G.C.; Bisson M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chem., 51 (7), 844-850.

Tester C.F. (1990). Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 54(3), 827-831.

Anexo Tablas:

**Tabla 1.** Características generales de los lodos residuales.

Parámetro	Valor
pH <sub>H2O</sub>	8.52
pH <sub>KCl</sub>	7.72
Materia orgánica (%)	46.10
Sustancias hidrosolubles (%)*	29.45
Sustancias liposolubles (%)*	23.47
Lignina (%)*	13.50
Celulosas y Hemicelulosas (%)*	33.58
N (%)	2.64
P <sub>(asimilable)</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	1376
K <sub>(asimilable)</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	926
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	6
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	64
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	433
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	502
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	67743
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	671
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	1380

\*: Porcentaje del contenido total de materia orgánica en las fracciones hidrosoluble, liposoluble, lignina y celulosas.

Tabla 2:

**Tabla 2.** Efecto de la adición de lodos residuales en la producción de materia seca.

Cultivo	Tratamientos											
	C		F		T1		T2		T3		T4	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
Cebada	826a	1	1609b	1.9	870a	1	1522b	1.8	1783bc	2.2	2000c	2.4
Maíz	1652a	1	1783a	1.1	2217b	1.3	2609c	1.6	2783c	1.7	3739d	2.3

P: Producción (kg. ha<sup>-1</sup>).  
 R: Relación entre la producción de los suelos con los distintos tratamientos y la del control.  
 (En cada fila, los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Tabla 3:

**Tabla 3.** Efecto de la adición de lodos residuales sobre el pH del suelo.

	Tratamientos											
	C		F		T1		T2		T3		T4	
pH <sup>1er</sup> cultivo	4.8b		4.6a		4.8b		4.9bc		4.9bc		5.0c	
pH <sup>2º</sup> cultivo	4.7a		4.9a		5.1b		5.1b		5.4c		5.6c	

(En cada fila, los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Tabla 4

**Tabla 4.** Efecto de la adición de lodos residuales en el contenido total de materia orgánica y en las fracciones hidrosolubles y lignina.

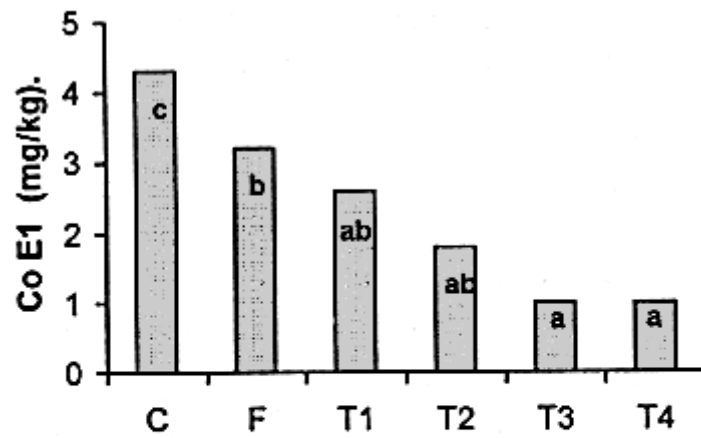
	Tratamientos											
	C		F		T1		T2		T3		T4	
M.O. <sup>1er</sup> cultivo	6.9b		7.9b		6.1a		7.4b		7.8b		8.5c	
M.O. <sup>2º</sup> cultivo	7.8b		8.4c		6.5a		9.4c		9.4c		9.8c	
Hidrosol. <sup>2º</sup> cultivo*	4.3a		4.4ab		5.1b		5.2bc		5.8c		6.0cd	
Lignina <sup>2º</sup> cultivo*	72.1a		63.7ab		70.6a		49.7bc		43.9c		43.6c	

M.O. : Contenido total de materia orgánica (% de materia seca).

\*: % del contenido total de materia orgánica.

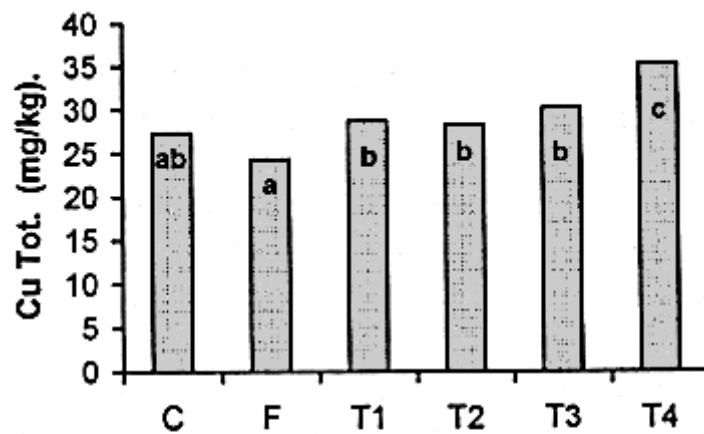
(En cada fila los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Figura 1:



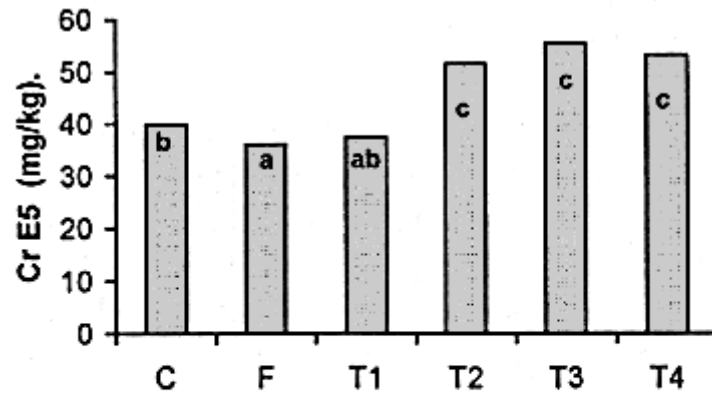
**Fig.1.** Efecto de la adición de lodos residuales en el contenido de Co extraíble con  $MgCl_2$  al final de la experiencia. (Los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Figura 2:



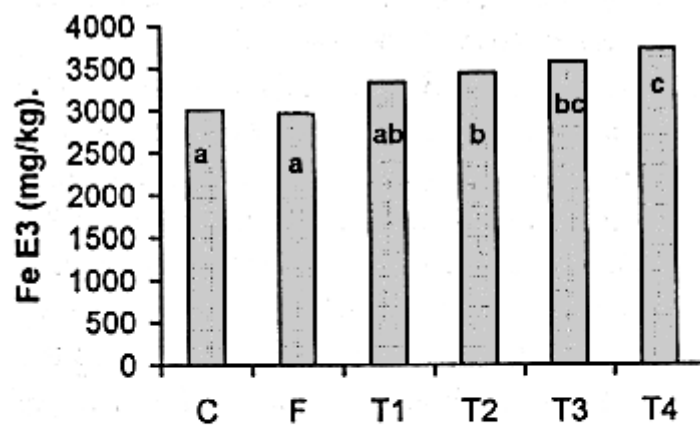
**Fig.2.** Efecto de la adición de lodos residuales en el contenido total de Cu en el suelo al final de la experiencia. (Los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Figura 3:



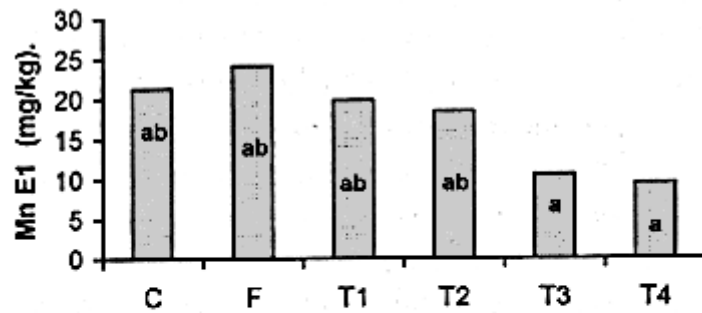
**Fig.3.** Efecto de la adición de los lodos en el contenido residual de Cr después de haber recogido el primer cultivo. (Los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Figura 4:

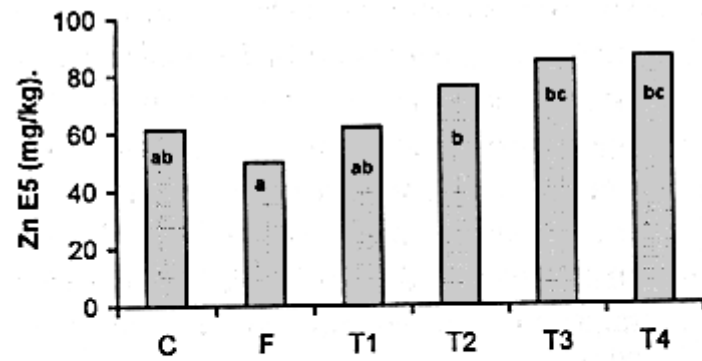


**Fig.4.** Efecto de la adición de lodos residuales en el contenido de Fe extraíble con ácido oxálico-oxalato amónico al final de la experiencia. (Los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).

Figura 5:



**Fig.6.** Efecto de la adición de lodos residuales en el contenido de Mn extraíble con  $MgCl_2$  al final de la experiencia. (Los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).



**Fig.7.** Efecto de la adición de los lodos en el contenido residual de Zn después de recoger el primer cultivo. (Los valores medios seguidos de la misma letra, o letras, no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad).