

CONTENIDO, EVOLUCIÓN DE NUTRIENTES Y PRODUCTIVIDAD EN UN SUELO TRATADO CON LODOS RESIDUALES URBANOS

ANDRADE, M^a LUISA^{*}; MARCET, PURIFICACIÓN^{*}, REYZÁBAL, M^a LUISA^{**}; MONTERO, M^a JOSÉ^{*}

^{*}Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Universidad de Vigo. Las Lagoas. Marcosende. 36200 Vigo. España

^{**}Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. 8000 Bahía Blanca. Argentina

RESUMEN

Se analizaron los efectos de diferentes dosis de lodos residuales urbanos sobre la evolución del contenido de N, P y K de un cambisol húmico y los efectos sobre la

producción de dos cultivos sucesivos, uno de *Hordeum vulgare*, L. var. Atlas y, otro de *Zea mays*, L. var. INRA 2600, comparando con un control y un suelo fertilizado inorgánicamente.

El aporte de lodos aumenta el contenido de N de los suelos, éstos, al final de la experiencia, poseen niveles de N mayores que el suelo fertilizado inorgánicamente y el control.

Todas las parcelas contienen más P asimilable que el control, este contenido aumenta cuanto mayor fue la dosis recibida.

El suelo fertilizado inorgánicamente contiene mayores cantidades de P a lo largo de toda la experiencia que los tratados con lodos. Durante el desarrollo del segundo cultivo la disponibilidad de P, en los que se aplicaron lodos, es mayor a causa de disminución de la acidez causada por la incorporación de este material.

Al final de la experiencia, los suelos tratados con lodos contienen unos niveles de K asimilable mayores que el control y que el fertilizado inorgánicamente, lo cual sugiere que la disponibilidad de K se ve favorecida por la aplicación de lodos al suelo.

La producción de materia seca aumentó con la cantidad de lodo añadida, mientras que el menor rendimiento se presentó en el control.

Los rendimientos medios de la cosecha de maíz son mayores en los suelos tratados con lodos que en el control y en el fertilizado inorgánicamente porque esta enmienda incrementa los niveles de otros nutrientes que la fertilización inorgánica no aporta.

INTRODUCCIÓN

De entre las distintas opciones que se plantean para dar un destino final a la gran cantidad de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, la reutilización, aplicándolos al suelo como enmienda, es una de las alternativas más adecuadas. Sin embargo, es necesario considerar los problemas que puede ocasionar esta forma de eliminación (Chui et al. 1986), algunos derivados de la gran cantidad de sustancias que se mezclan con las aguas, sobre todo en las redes de alcantarillado, por lo que es preciso considerar sus efectos sobre el suelo y las plantas, así como su posible entrada a las aguas subsuperficiales y a la cadena alimentaria.

Algunas de las más importantes limitaciones para la aplicación de lodos son las relacionadas con los cambios que la degradación de los lodos puede provocar en las condiciones edáficas, ya que se pueden generar intermedios metabólicos que interfieren en el desarrollo de las plantas (Zucconi et al., 1981).

Existen también aspectos positivos, como son el aumento de la estabilidad de los agregados (Guidi et al., 1983), la mejora del balance hídrico (Díaz-Burgos, 1990), el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (Morel, 1977) y del contenido de materia orgánica del suelo (Hue et al. 1988, Díaz-Burgos, 1990), así como el aporte de nutrientes, principalmente P y N. Sin embargo debe tenerse en cuenta que se puede modificar la relación C/N del suelo, generar amoníaco y provocar competencia por el N disponible entre los microorganismos y las raíces.

Tanto en la legislación comunitaria como en la española (Directivas del consejo de la CEE 86/278/CEE, 91/271/CEE y Real Decreto 1310/1990) se establecen límites para la utilización agrícola de los lodos residuales. La calidad exigida y los problemas asociados a su naturaleza y composición limitan el uso para evitar efectos negativos sobre el medio ambiente.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es analizar los efectos de diferentes dosis de lodos residuales urbanos sobre la evolución del contenido de N, P y K del suelo y la producción de dos cultivos sucesivos, uno cebo de *Hordeum vulgare*, L. var. Atlas y, otro de maíz *Zea mays*, L. var. INRA 2600.

MATERIAL Y MÉTODOS

Lodos residuales y suelo.- Se han utilizado los lodos procedentes de la estación depuradora de aguas residuales de Santiago de Compostela. El tratamiento de estas aguas comprende su paso por un digestor aerobio, seguido de dos etapas de decantación. Los lodos obtenidos se tratan con FeCl_3 y $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y se secan en un filtro-prensa. En la [Tabla 1](#) figuran sus características generales.

El suelo utilizado fue un Cambisol húmico de textura areno arcillosa, cuyo pH es 5, CIC_+ : $5,37 \text{ cmolkg}^{-1}$, M.O.: 52 g.kg^{-1} , N: $2,5 \text{ gkg}^{-1}$ y C/N: 12,2.

Diseño experimental.- La experiencia se realizó en una finca que no había sido fertilizada, ni en la que se desarrolló cultivo alguno en los últimos diez años. Las parcelas experimentales fueron diseñadas en bloques al azar, con tres réplicas por tratamiento. Se efectuaron cuatro tratamientos diferentes en los que se aplicaron dosis de lodos equivalentes a 5 (T1), 10 (T2), 20 (T3) y 40 (T4) Mgha^{-1} , respectivamente. Además se utilizaron dos controles, uno en el que no se añadieron lodos, ni fertilización alguna (C) y otro al que se aportó fertilización mineral (F) equivalente a 200, 120 y 100 kg ha^{-1} de N, P y K respectivamente, aplicados en forma de nitrato y fosfato potásico. Un mes después de haber aportado el lodo, se sembró *Hordeum vulgare*, L. Variedad Atlas, dejándola desarrollar durante 5 meses y se procedió a su recolección y al aporte de sus residuos vegetales al suelo. Inmediatamente se sembró *Zea mays*, L, variedad INRA 260, dejándolo desarrollar 6 meses. Se tomaron muestras inmediatamente después de añadir los lodos o el fertilizante y después con periodicidad bimensual.

Metodología analítica.- El pH del suelo o lodo se midió en agua, usando una relación suelo o lodo/agua 1:1, con un periodo de equilibrio de 10 minutos, y en una disolución de KCl 1:1 1M en una relación suelo o lodo/disolución 1:2,5 tras un periodo de 2 horas (Gutián y Carballas, 1976). El análisis textural del suelo se realizó tras ataque con H_2O_2 y HCl, separando las fracciones mayores de 50 μm por medio de tamices, y las más finas mediante el método de la pipeta Robinson (Gutián y Carballas, 1976). El contenido total de materia orgánica de suelos y lodos se analizó por el método de Walkley y Black (1934). La cantidad de P disponible se determinó por extracción por el procedimiento Bray II (Bray y Kurtz, 1945) y el P se analizó en los extractos por el método colorimétrico de Murphy y Riley (1962), modificado por Alexander y Robertson (1968). El nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl, modificado por Gutián y Carballas (1976).

El contenido total de metales en los lodos se determinó mediante digestión ácida en horno de microondas con una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y fluorhídrico y el asimilable se extrajo con DTPA por el procedimiento de Lindsay y Norwell (1978). El análisis de

los cationes de cambio del suelo, así como el de contenidos totales y asimilables de en lodos, se realizó por fotometría de llama (K y Na), o espectrofotometría de absorción atómica.

Todos los datos se sometieron a un análisis estadístico mediante el programa informático SPSS, realizándose Test de Levene, ANOVA y DMS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos sobre el suelo.- La variación del contenido total de nitrógeno se muestra en la [figura 1](#), donde se aprecia el aporte de N de todos los tratamientos. Los niveles no son proporcionales a la dosis de lodo añadida, debido a que cuanto más elevada sea la cantidad de lodo aportada también lo es el tiempo de incorporación al suelo. Además esta incorporación es simultánea a la absorción por el cultivo. Por ello la mayor producción obtenida en las parcelas que recibieron mayor cantidad de lodos ([figura 6](#)), explica que no se manifiesten incrementos importantes en los suelos a lo largo del período de desarrollo de los cultivos.

El suelo fertilizado inorgánicamente muestra rápidamente el efecto de la aplicación de N pero, debido a la forma en la que es aportado, las cantidades no absorbidas por las plantas se pierden por lixiviación; quedando el suelo, al final de la experiencia, con cantidades de N total muy próximas a las del suelo control (C). La menor producción de materia seca en estas parcelas ([figura 6](#)), frente a las que han recibido diferentes dosis de lodos, confirma las pérdidas mencionadas. Sin embargo, dado que los lodos aportan la mayor parte del N en forma orgánica (Hernández et al., 1992, Montero Vilariño et al., 1997 y Andrade et al., 1999), la mineralización secuencial de la misma permite que los cultivos satisfagan sus necesidades nitrogenadas y se eviten pérdidas por drenaje. Así se observa que en las parcelas tratadas con menores dosis de lodos, el mayor contenido de N se presenta en el primer muestreo, mientras que en las que recibieron cantidades mas elevadas la cantidad mayor se aprecia en el segundo, debido a la más lenta incorporación de las dosis mas altas.

También se aprecia que, cualquiera que sea el tratamiento, el contenido de N desciende en el período de recogida de la primera cosecha, incrementando ligeramente durante el crecimiento del segundo cultivo, probablemente como consecuencia de una ligera incorporación de los restos vegetales de la cebada.

Al final de la experiencia, las parcelas tratadas con 10, 20 y 40 Mg ha^{-1} de lodo quedan con un contenido de N superior al control y al suelo fertilizado inorgánicamente, aún a pesar de que la producción fue más elevada.

La evolución del contenido de P asimilable en el suelo se indica en la [figura 2](#). Todas las parcelas contienen más P asimilable que el control ya desde el primer muestreo; aumentando este contenido cuanto mayor fue la dosis recibida. También, durante el desarrollo del primer cultivo, los contenidos más elevados para T1 y T2 se presentan en el primer muestreo y para T3 y T4 en el segundo, debido también a la más lenta incorporación de las dosis mayores de lodo.

Sin embargo, el suelo fertilizado inorgánicamente contiene mayores cantidades de P a lo largo de toda la experiencia, probablemente debido a una más intensa adsorción al pH ácido del suelo. A lo largo del desarrollo del segundo cultivo la disponibilidad de P, en los suelos tratados con lodos, es mayor a causa de disminución de la acidez causada por la incorporación de este material con pH básico. Aumenta la biodisponibilidad, aún en suelos ácidos (Korentajer, 1991), cuando la acidez disminuye (Montero et al., 1997) ya que pasa de posiciones en las que está más intensamente fijado a otras en las que la desorción es más sencilla.

La evolución del contenido total de P ([figura 3](#)) es similar a la de N, lo cual indica que la solubilización de P se produce paralelamente al proceso de mineralización a partir de formas orgánicas. Esto es más marcado en las parcelas en las que se añadieron lodos residuales; variando de forma diferente en el control y, sobre todo, en el suelo fertilizado inorgánicamente. De ello se deduce que el P aportado por los lodos representa la fuente más importante de este elemento para los cultivos, ya que los procesos de movilización de P se ven favorecidos en las parcelas a las que se aportaron estos residuos por la disminución de acidez que provocan.

La evolución del contenido de K asimilable ([figura 4](#)) es similar en todas las parcelas. Se aprecia disminución durante el desarrollo del cultivo de cebada, para aumentar posteriormente debido al aporte de residuos vegetales de la primera cosecha. Al final del desarrollo de los cultivos, los suelos tratados con lodos contienen unos niveles de K asimilable mayores que el control y que el fertilizado inorgánicamente, lo cual sugiere que los procesos de solubilización de este elemento se ven favorecidos por la aplicación de lodos al suelo. Además la mayor producción en las parcelas así tratadas ([figura 4](#)) hace que la incorporación de los residuos vegetales de la primera cosecha, que aportan potasio, sea mayor en los suelos a los que se añadieron dosis más elevadas de lodo.

Esto se confirma al estudiar la evolución del contenido total de K ([figura 5](#)). Se aprecia que en la parcela tratada con 40 Mg ha^{-1} de lodo la cantidad total de K aumenta durante todo el desarrollo del segundo cultivo, a pesar del consumo del mismo probablemente, en parte, debido a la incorporación de los residuos de cebada.

Producción de materia seca.- El rendimiento medio de la cosecha de cebada en los suelos que han recibido los diferentes tratamientos se muestra en la [figura 6](#).

La producción aumentó significativamente con la cantidad de lodo añadida, mientras que el menor rendimiento se presentó en el control.

Los requerimientos en N, P y K de la cebada aumentan en la última etapa de su ciclo biológico, tiempo en el que la disponibilidad, sobre todo, de N y K fue significativamente mayor en las parcelas enmendadas con lodos que en el control y, de entre aquellas, fue superior en las tratadas con 20 y 40 Mgha^{-1} , lo cual dio lugar a las mayores producciones, estadísticamente significativas, obtenidas en éstas.

Con el fertilizante inorgánico se obtuvo una producción similar a la de los suelos tratados con 10 Mgha^{-1} de lodo, a pesar de que las cantidades de N, P y K aportadas al suelo con fertilización mineral fueron superiores a las añadidas con esta dosis de lodo. Sin embargo, con los lodos incrementan los niveles de otros nutrientes que la fertilización inorgánica no aporta. Estas, significativamente diferentes, producciones obtenidas coinciden con los datos de diversos autores (Eivazi, 1990) que indican mayor y mejor desarrollo de cultivos en suelos tratados con lodos residuales siempre que estos no contengan excesos de metales pesados que puedan causar toxicidad.

Los rendimientos medios de la cosecha de maíz ([figura 6](#)) muestran también mayor producción en los suelos tratados con lodos frente a la parcela control y a la fertilizada inorgánicamente. Ello está relacionado con los mayores niveles de N y K al inicio del desarrollo de este cultivo, época de mayor exigencia nutritiva de esta especie, lo que determina el más rápido desarrollo de las plantas al inicio de su ciclo y, en gran medida, la producción final obtenida.

CONCLUSIONES

El aporte de lodos aumenta el contenido de N de los suelos. En el fertilizado inorgánicamente las cantidades no absorbidas por las plantas se pierden por lixiviación; quedando, al final de la experiencia, con cantidades de N total próximas a las del suelo control.

Todas las parcelas contienen más P asimilable que el control ya desde el primer muestreo; aumentando este contenido cuanto mayor fue la dosis recibida.

El suelo fertilizado inorgánicamente contiene mayores cantidades de P a lo largo de toda la experiencia. Durante el desarrollo del segundo cultivo la disponibilidad de P, en los

suelos tratados con lodos, es mayor a causa de disminución de la acidez causada por la incorporación de este material.

Al final del desarrollo de los cultivos, los suelos tratados con lodos contienen unos niveles de K asimilable mayores que el control y que el fertilizado inorgánicamente, lo cual sugiere que la disponibilidad de K se favorece por la aplicación de lodos al suelo.

La producción de materia seca aumentó con la cantidad de lodo añadida, mientras que el menor rendimiento se presentó en el control.

Los rendimientos medios de la cosecha de maíz son mayores en los suelos tratados con lodos que en el control y en el fertilizado inorgánicamente, porque los lodos incrementan los niveles de otros nutrientes que la fertilización inorgánica no aporta.

BIBLIOGRAFÍA

Alexander,T.G., Robertson,J.A.(1968): Ascorbic acid as a reductant for total phosphorus determination of plant available micronutrients in soils. *Can. J. Soil Sci.*, 48, 217-218.

Andrade,M.L., Quinteiro,M., Reyzábal,M.L., Estévez,J.(1999): Composición de materia orgánica y determinación de metales en lodos para su uso potencial como enmendantes de suelos. *Revista Información Tecnológica A Vol 10, N° 6: 79-88.*

Bray,R.H., Kurtz,L.T.(1945): Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci*, 59: 39-45.

Chui,V.W.D., Lam-Leung,S.Y., Cheung,M., Wu,D.K.C.(1992): The use of sewage sludge as basal dressing for vegetable cultivation. *Environ. Internat.*, 18; 201-209.

Council of the European Communities.(1986): Directive concerning sludge amendments. *Off. J. June*, 12, L181/6.

Council of the European Communities.(1991): Directive concerning wastewater treatment. *May*, 21, 91/271.

Díaz Burgos,M.A.(1990): Compostaje de lodos residuales: aplicación agronómica y criterios de madurez. Tesis doctoral. Universidad autónoma de Madrid, 127 p.

Eivazi,F.(1990): Nitrogen fixation of soyben and alfalfa on sewage sludge-amended soils. *Agic Ecosystems Environm.*, 30:1239-136.

Genevini,P.L., Vismara,R., Mezzanotte,V.(1986):. Utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione. Quaderni d'ingegneria ambientale, 5; 1-119.

Guidi,G., Pagliai,M., Giachetti,M.(1983): Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost applications. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soil. J. Catroux, P.L'Hermitte y E. Suss (eds). 122-130.

Gutián,F., Carballas,T.(1976): Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela. España.

Hernandez,T., García,C., Costa,F., Valero,J.A., Ayuso,M.(1992): Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. Suelo y Planta 2, 373-383

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

Korentager,L.(1991): A review of the agricultural use of sewage sludge benefits and potential hazards. Water, Air and Soil Pollution, 17: 189-196.

Lindsay,W.L., Norvell,W.A.(1978): Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am

Montero,M.J., Marcet,P., Andrade,M.L., Estévez,J.(1997): Efecto de la adición de lodo residual urbano sobre la mineralización del nitrógeno, pH, y contenidos de P y materia orgánica en suelo a lo largo de un periodo de incubación. Edafología. A 2. 77-83.

Morel,J.I.(1977): Contribution a l'étude des boues résiduaires dans le sol. Thèse d'état. Faculté des Sciences. Paris, 135 pp.

Murphy,J.L., Riley,J.P.(1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. Anal. Chim. Acta, 27, 31-36.

Real decreto 1310/1990 de 29 de Octubre por el que se regula la utilización de lodos en el sector agrario. B.O.E. nº 262 de 1 de noviembre.

Walkley,A., Black,I.A.(1934): An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. Soil Sci. 34, 29-38.

Zucconi,F., Pera,A., Forte,M., Monaco,A., De Bertoldi,M.(1981): Evaluating toxicity of immature compost. BioCycle 27-29.

FIGURAS Y TABLAS.

Tabla 1. Características generales de los lodos residuales urbanos. (Todos los resultados se expresan referidos a materia seca).

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Peso Seco %	43,18	Al _{total} (mgKg ⁻¹)	220
Cenizas %	40	Cd _{extraible} (mgKg ⁻¹)	0,25
pH _{H2O}	8,52	Cd _{total} (mgKg ⁻¹)	6
pH _{KCl}	7,72	Fe _{extraible} (mgKg ⁻¹)	12
N total (gKg ⁻¹)	26,40	Fe _{total} (gKg ⁻¹ Fe ₂ O ₃)	20
C (gKg ⁻¹)	267,30	Mn _{extraible} (mgKg ⁻¹)	11
M.O. (gKg ⁻¹)	461	Mn _{total} (mgKg ⁻¹)	262
C/N	10,13	Zn _{extraible} (mgKg ⁻¹)	80
P _{extraible} (mgKg ⁻¹)	1376	Zn _{total} (mgKg ⁻¹)	2000
P _{total} (gKg ⁻¹ P ₂ O ₅)	13,5	Cu _{extraible} (mgKg ⁻¹)	18
K _{extraible} (mgKg ⁻¹)	926	Cu _{total} (mgKg ⁻¹)	565
K _{total} (gKg ⁻¹ K ₂ O)	11,1	Co _{extraible} (mgKg ⁻¹)	8
Ca _{extraible} (mgKg ⁻¹)	20312	Co _{total} (mgKg ⁻¹)	78
Ca _{total} (mgKg ⁻¹)	32141	Pb _{extraible} (mgKg ⁻¹)	23
Mg _{extraible} (mgKg ⁻¹)	949	Pb _{total} (mgKg ⁻¹)	106
Mg _{total} (mgKg ⁻¹)	1204	Cr _{extraible} (mgKg ⁻¹)	10
Na _{extraible} (mgKg ⁻¹)	1157	Cr _{total} (mgKg ⁻¹)	84
Na _{total} (mgKg ⁻¹)	2162	Ni _{extraible} (mgKg ⁻¹)	8
Al _{extraible} (mgKg ⁻¹)	60	Ni _{total} (mgKg ⁻¹)	58

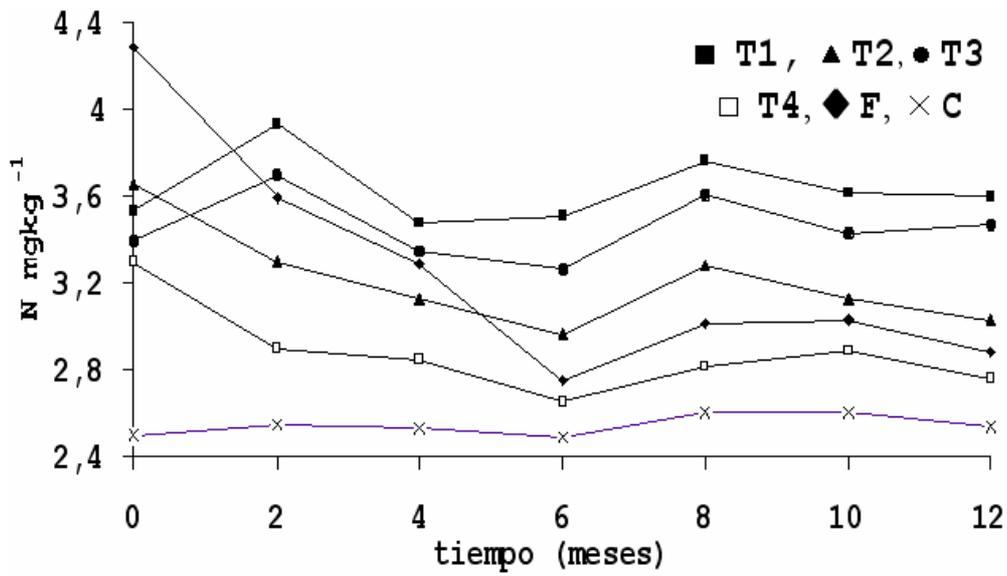


Figura 1. Evolución del contenido de nitrógeno con los distintos tratamientos

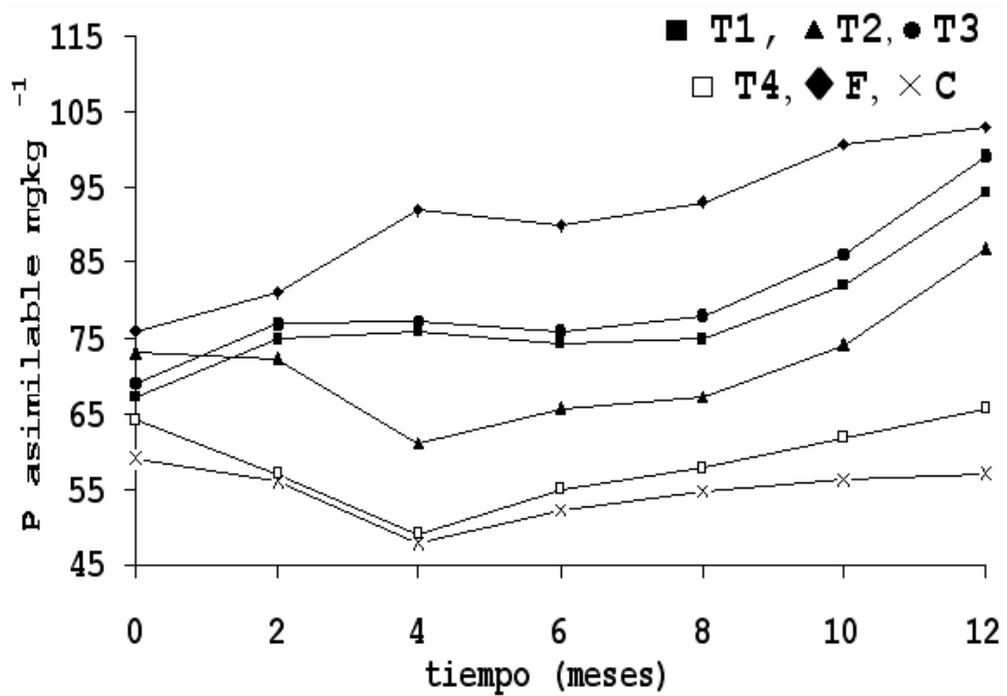


Figura 2. Evolución del contenido de Fósforo asimilable con los distintos tratamientos

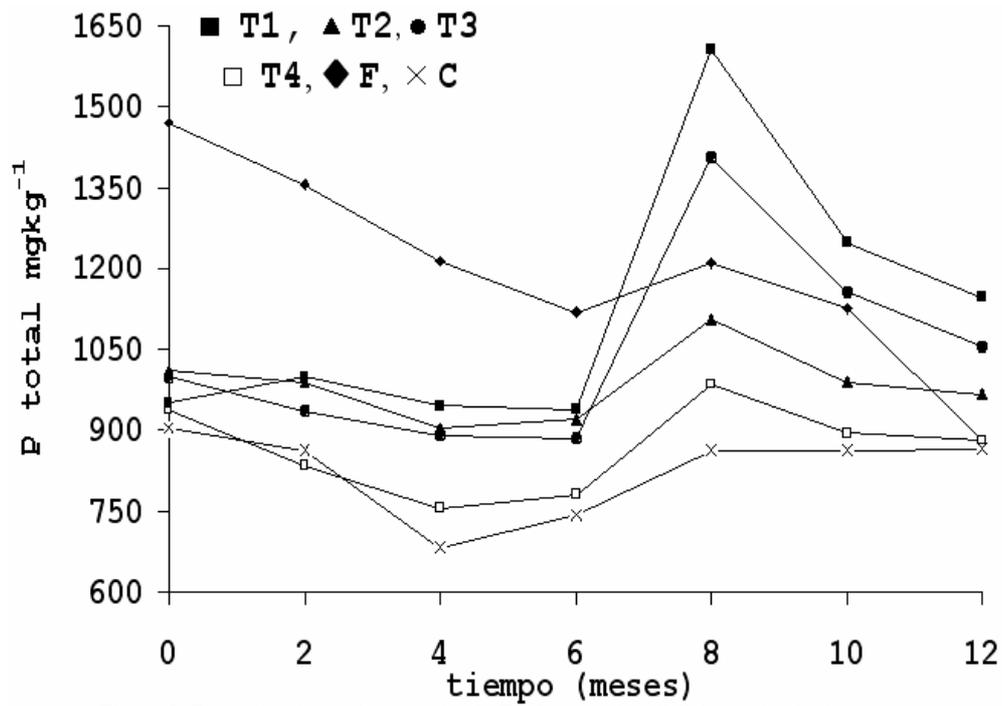


Figura 3. Evolución del contenido total de Fósforo con los distintos tratamientos

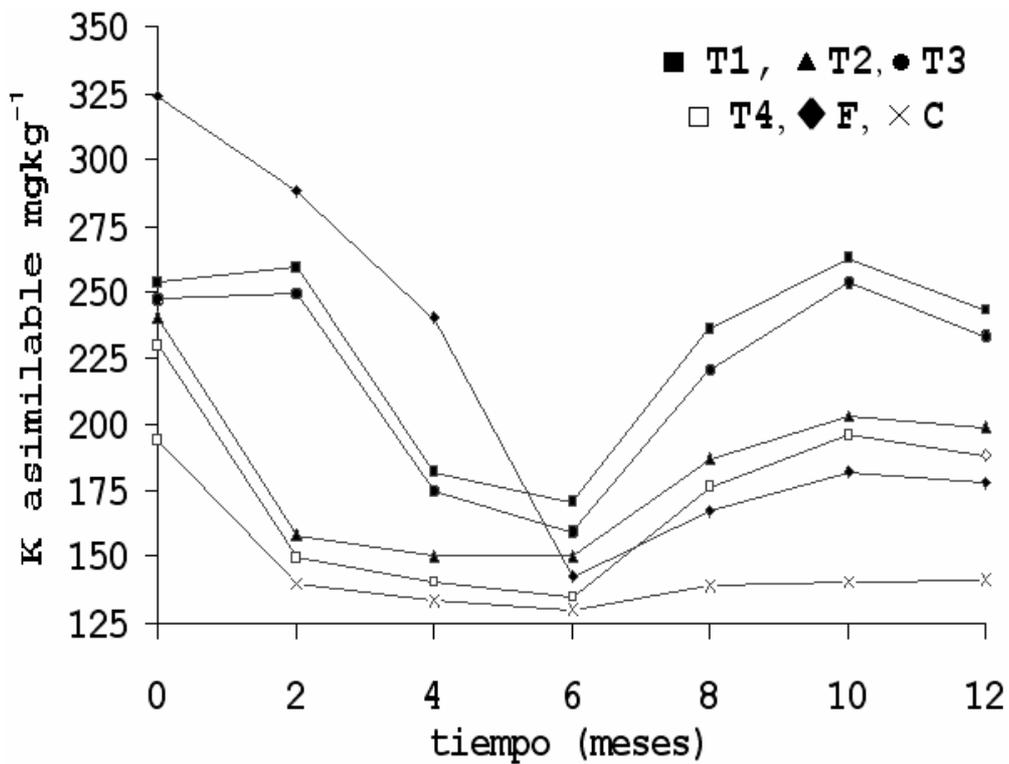


Figura 4. Evolución del contenido de K asimilable con los distintos tratamientos

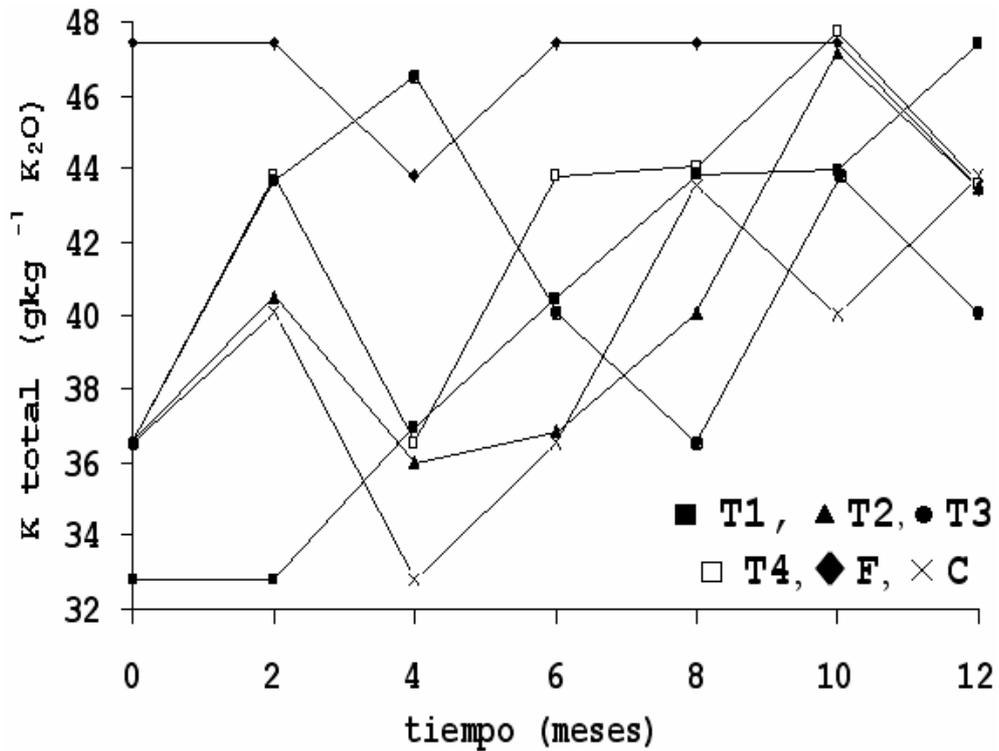


Figura 5. Evolución del contenido total de K con los distintos tratamientos

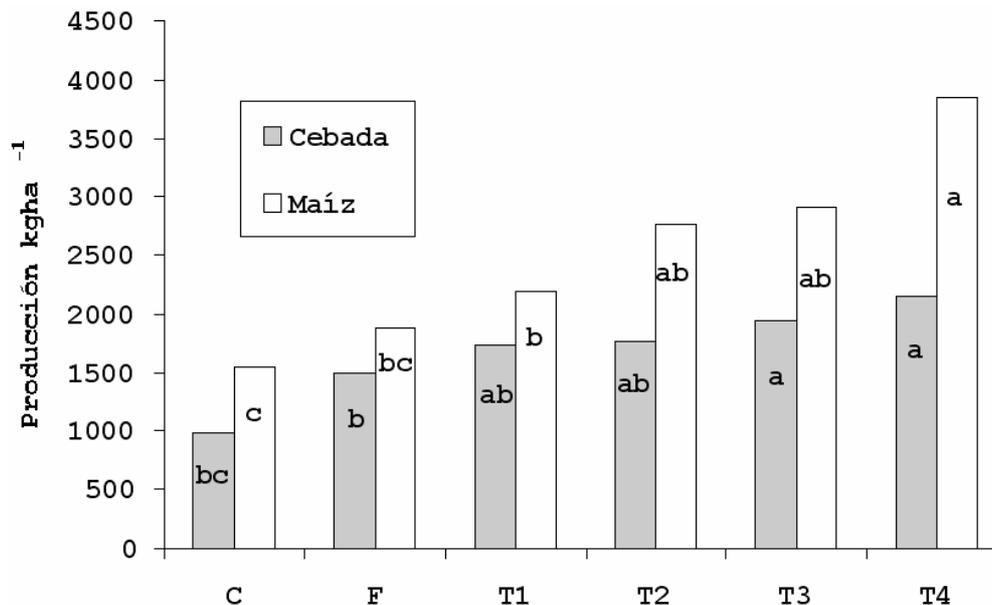


Figura 6. Producción de materia seca con los distintos tratamientos (Para cada cultivo, letras diferentes en los distintos tratamientos, indican diferencias significativas $P < 0,05$)