

NOTA CIENTÍFICA

UTILIZACIÓN AGRARIA DE LOS BIOSÓLIDOS Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* MILL)

E. Utria-Borges¹; J. A. Cabrera-Rodríguez²;
I. M. Reynaldo-Escobar²; D. Morales-Guevara²;
A. M. Fernández³; E. Toledo Toledo⁴

¹Centro Universitario de Guantánamo. Carretera de Guantánamo a Santiago de Cuba.
Km 1½. Guantánamo, Cuba. CUBA.

Correo-e: eutria@inca.edu.cu (*Autor responsable)

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas.
C. P. 32700. La Habana, Cuba. CUBA.

³Estación Depuradora de Aguas Residuales "Quibú". Playa.
Ciudad de la Habana, Cuba. CIBA.

⁴Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas. MÉXICO.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la respuesta del crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a la aplicación de biosólidos en un suelo Ferralítico Rojo compactado, se condujo un experimento en condiciones semicontroladas (macetas). En el mismo se comparó la respuesta del área foliar, altura de las plántulas, diámetro del tallo, longitud radical y peso seco por órganos y total de las plántulas de tomate cultivadas en un suelo tratado con 135 g de biosólidos·kg⁻¹ de suelo con las desarrolladas en el suelo natural y en el suelo tratado con fertilizante mineral (urea), a razón de 150 kg de N·ha⁻¹. Los resultados mostraron que los indicadores relacionados con el crecimiento de las plántulas respondieron positivamente a la aplicación de biosólidos, donde se observó un evidente incremento en las magnitudes de todas las variables evaluadas, con resultados similares y superiores a las del tratamiento con fertilizante mineral, lo que indica que estos residuos tienen potencialidades para ser utilizados en sistemas de producción de plántulas en cultivos que necesiten de una fase de semillero antes de ser llevados al campo.

PALABRAS CLAVES ADICIONALES: biosólidos, crecimiento, plántula de tomate.

AGRICULTURAL UTILIZATION OF THE BIOSOLIDS AND INFLUENCE IN THE TOMATO CROP (*Lycopersicon esculentum* MILL)

ABSTRACT

With the objective of evaluating the response of the growth of tomato seedling (*Lycopersicon esculentum* Mill) to the biosolids application in a Ferralítico Red compacted soil, behaved an experiment in pots. In this work the response of the leaf area, seedling height, shoots diameter, radical longitude and dry weight for organs and total of the tomato seedling to cultivated in a soil treated with 135 g of biosolids for kg⁻¹ of soil was compared with those developed in the natural soil and in the soil treated with mineral fertilizer (urea), to reason of 150 kg of N·ha⁻¹. The results showed that indicators related with the growth of the seedling responded positively to the biosolids application, where an evident increment was observed in the magnitudes of all the evaluated variables, with similar and superiors results to those of the treatment with mineral fertilizer, what indicates that these residuals have potentialities to be used in systems of seedling production in cultivations that need to be taken to the field.

ADDITIONAL KEY WORDS: biosolids, growth, seedling tomato.

INTRODUCCIÓN

Debido a los problemas ecológicos y económicos provocados por el uso intensivo e inadecuado de los fertilizantes minerales sintéticos, la agricultura mundial en los últimos años está encaminada a lograr una agricultura sostenible sobre la base de obtener altos rendimientos con aplicación de bajos insumos de estos productos y ha revitalizado la idea de hacer uso de productos de origen orgánico (Terry, 2001). Además, la necesidad de preservar el ambiente libre de contaminación exige la depuración de las aguas residuales antes de ser vertidas a los cauces receptores, generando en este proceso elevadas cantidades de residuos orgánicos llamados lodos de depuradoras, biosólidos o fangos (Delgado *et al.*, 1999; Da Silva *et al.*, 2001; Illera *et al.*, 2001; Miralles *et al.*, 2002a y Cuevas y Walter, 2004).

El volumen de producción de estos residuos llega a convertirse en un grave problema en ciudades muy pobladas y su tratamiento posterior se hace cada vez más urgente a medida que el crecimiento demográfico se acelera (Delgado *et al.*, 2002).

En Cuba, existen siete Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), con una producción anual estimada de 9,600 toneladas anuales. En nuestro país no se han realizado estudios encaminados a determinar las opciones más adecuadas para la gestión de los biosólidos a partir de sus características y se han utilizados empíricamente por productores agrícolas independientes, sin conocer los posibles efectos nocivos de su uso inadecuado.

Sin embargo, a escala internacional han sido puestas en práctica algunas alternativas; la utilización agrícola con sus distintas variantes (jardinería, agroforestería, etc.) es la más adecuada, por ser éstos una fuente potencial de materia orgánica oxidable (MO) (Polo *et al.*, 1998; Miralles *et al.*, 2003) y nutrientes esenciales para las plantas (De Azevedo *et al.*, 2001; Nascimento *et al.*, 2004), fundamentalmente nitrógeno (N) (Miralles *et al.*, 2002a; Barbarick *et al.*, 2003), fósforo (P) (Beltrán *et al.*, 2002; Carneiro y Poggiani, 2003) y calcio (Ca) (Carneiro y Poggiani, 2003). Además, con esta práctica se disminuye el peligro que representa estos residuos como contaminantes del ambiente y se aprovecha un recurso de bajo costo, que además de mejorar las características químicas de los suelos, también mejoran sus características físicas y biológicas (Aggelides y Londra, 2000; Selivanovskaya *et al.*, 2001; Cuevas y Walter, 2004).

El efecto beneficioso del uso de biosólidos en la agricultura no se limita sólo a las propiedades químicas de los suelos. Ha sido demostrado por numerosos autores que además de éstas, las propiedades físicas, físico-químicas y biológicas de los suelos también se ven mejoradas con la adición de estos residuos (Aggelides y Londra, 2000; Benitez *et al.*, 2001; Selivanovskaya *et al.*, 2001).

Los nutrientes contenidos en los biosólidos incrementan la biomasa y el rendimiento de las plantas de cultivos (Brofas y Alifragis, 2000; Cogger *et al.*, 2001 y Gazete, 2001). Sin embargo, su aplicación en suelos agrícolas presentan algunos aspectos negativos, como son la presencia de metales pesados (Walter *et al.*, 2002) y microorganismos patógenos que pueden influir negativamente tanto en los suelos como en las plantas de cultivo (Dumontet *et al.*, 2001; Miralles *et al.*, 2002b).

El contenido de metales pesados representa la principal limitante para el uso de los biosólidos en la agricultura (Delgado *et al.*, 2000; Illera *et al.*, 2001; Cuevas y Walter, 2004). Entre estos metales existen algunos como el Cu, Zn, Ni, Fe y Mn que son elementos esenciales para las plantas y su deficiencia puede provocar problemas en los cultivos, mientras que si se encuentran en exceso implican riesgos de fitotoxicidad (Nyamangara y Mzezewa, 1999; Martins *et al.*, 2003; Passos *et al.*, 2004). Existen otros como el Cd, Hg, As y Pb que no tienen funciones fisiológicas reconocidas y su presencia en el suelo siempre será un riesgo potencial, ya que pueden contaminar y acumularse en los suelos (Anjos y Mattiazzo, 2001), el agua y los alimentos (Keller *et al.*, 2002).

Por otra parte, los sistemas deficientes en la obtención de plántulas sanas con alto poder de supervivencia y adaptación a la hora del trasplante es una de las problemáticas que afectan a la agricultura y especialmente a la producción de tomate. La búsqueda de alternativas técnicas, económicas y ecológicamente viables con vista a corregir esta deficiencia se ha hecho en nuestro planeta una práctica frecuente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado y el beneficio que representa la aplicación de biosólidos en el suelo desde el punto de vista ecológico y agrícola en áreas urbanas, se propuso como objetivo de este trabajo evaluar la respuesta del crecimiento de plántulas de tomate a la aplicación de biosólidos en un suelo Ferralítico Rojo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el municipio San José de las Lajas, provincia La Habana. El suelo utilizado se clasifica como Ferralítico Rojo compactado éutrico (Hernández, 1999).

Los biosólidos utilizados procedieron de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) "Quibú" del municipio Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba. Los mismos son obtenidos mediante un proceso de digestión anaeróbica y su producción varía de 413-521 toneladas anuales. La procedencia de estos residuos es fundamentalmente de origen residencial (entorno del Palacio de las Convenciones) y los niveles de metales pesados

detectados, se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por (NOM-004-ECOL-2001, México) y el BOE (1990) para su uso agrícola. Las propiedades químicas de los biosólidos estudiados se muestran en el Cuadro 1.

El experimento se desarrolló en macetas de 6 litros de capacidad con una altura y diámetro superior de 0.21 m y un diámetro basal de 0.18 m. Para la siembra se utilizaron semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) de la variedad INCA 9-1, en cada maceta se depositaron 5 kg de sustrato y se desarrollaron tres plántulas. Los tratamientos estudiados fueron: S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g de biosólidos·kg⁻¹ de suelo.

Para la preparación de los sustratos se utilizó suelo de la capa superficial (0 - 20 cm) y se mezcló con la cantidad de biosólidos necesaria para formular las dosis deseadas. Las dosificaciones de biosólidos se realizaron teniendo en cuenta el contenido de N de los biosólidos, las recomendaciones de N para el cultivo en este tipo de suelo (MINAGRI, 1990) y las consideraciones publicadas en el Boletín Oficial de Aragón (BOA, 1997) y el Boletín Oficial de Canarias (BOC, 2000), en España. El portador utilizado para la fertilización química fue urea (46 % de N) a razón de 150 kg·ha⁻¹.

Las variables área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo, longitud radical y peso seco por órganos (raíz, tallo y hojas) y total de la plántulas, se evaluaron a los 15 días después de la germinación de las semillas.

Área foliar (cm²). Se estimó utilizando el método del disco, citado por Soto (1980). Se utilizaron 5 plántulas por tratamiento.

Altura de la planta (cm). Se midió desde la base hasta el brote terminal tallo principal y se seleccionaron 10 plántulas por tratamiento.

Diámetro del tallo (cm). La evaluación del diámetro del tallo, se efectuó en la base del mismo y se escogieron 10 plántulas por tratamiento.

Peso seco por órganos (g). Las muestras seleccionadas por órganos se mantuvieron a 70 ± 5 °C, hasta lograr peso constante y el peso seco total de la plántula se obtuvo por la suma de los pesos secos individuales de cada órgano. Para la evaluación de esta variable se seleccionaron cinco plántulas por tratamiento.

Durante el desarrollo de la experimentación el riego a las macetas se efectuó cada dos días a partir de la siembra, en horas de la mañana y a máxima capacidad de retención de humedad, utilizando el método gravimétrico.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado y los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple. Las comparaciones de medias se realizaron según la prueba de Tukey para el 5 % de probabilidad de error. Para el análisis estadístico fue utilizado el paquete estadístico STATGRAPHICS Versión 5.0 y para realizar los gráficos el programa SigmaPlot versión 6, ambos en ambiente Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar el área foliar a los 15 días después de la germinación de las semillas (Figura 1), se encontró que las plántulas cultivadas en el suelo tratado con biosólidos (B) incrementó la magnitud de dicha variable, logrando resultados similares al de las desarrolladas en el suelo tratado con fertilizante mineral (F) y superiores a las desarrolladas en el suelo natural (S).

El incremento en el área foliar tiene una gran importancia fisiológica para el vegetal, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual

CUADRO 1. Propiedades químicas de los biosólidos procedentes de cinco descargas de la Estación Depuradora de aguas residuales urbanas "Quibú" en diferentes meses de los años 2001, 2002, 2003 y 2004 (resultados expresados en base seca).

Indicador	Media	Intervalo de Confianza	Indicador	Media	Intervalo de Confianza
MO oxidable, %	42.35	39.33 - 45.37	Fe (%)	2.09	1.99 - 2.19
N, %	2.60	1.90 - 3.37	Cu, mg·kg ⁻¹	337.67	332.5 - 342.84
P, %	1.35	1.11 - 1.59	Zn, mg·kg ⁻¹	135.00	61.82 - 208.18
K, %	0.76	0.49 - 1.03	Cr, mg·kg ⁻¹	79.37	68.76 - 89.98
Ca, %	8.84	7.30 - 10.38	Ni, mg·kg ⁻¹	59.50	52.98 - 66.02
Mg, %	0.84	0.62 - 1.06	Mn, mg·kg ⁻¹	55.67	54.24 - 57.10
pH	7.12	6.99 - 7.25	Co, mg·kg ⁻¹	18.83	16.66 - 21.00
Relación C/N	10/1	8/1 - 4/1	Pb, mg·kg ⁻¹	< LD	-

LD: Límite de detección.

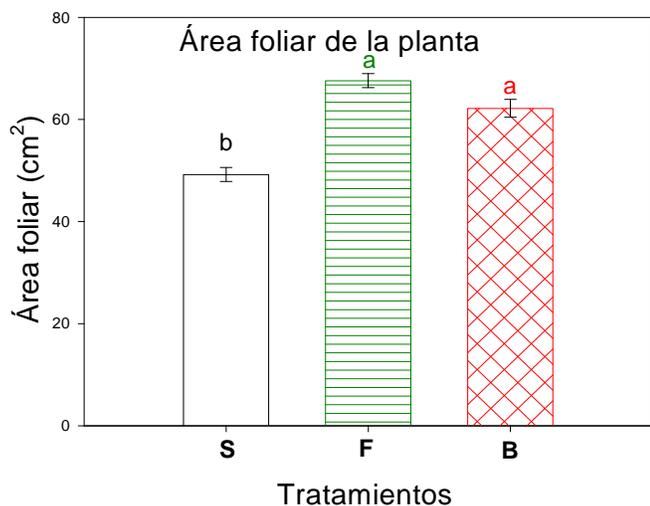


FIGURA 1. Área foliar de plántulas de tomate cultivadas en un suelo tratado con biosólidos de aguas residuales municipales. S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g de biosólidos·kg⁻¹ de suelo. I, error estándar de la media.

favorece la producción de carbohidratos, el cual unido al agua y los elementos minerales absorbidos influyen directamente en la síntesis de proteínas u otros compuestos orgánicos que tienen relación directa con el aumento de la producción de biomasa (peso seco) de las plantas.

En la Figura 2 se observa como la aplicación de biosólidos también estimuló positivamente el crecimiento en altura de las plántulas (Figura 2a), con valores similares a las desarrolladas en el suelo tratado con fertilizante mineral (F) y superiores a las que crecieron en el suelo natural (S). Sin embargo, al evaluar el diámetro del tallo (Figura 2 b) se pudo observar que las plantas cultivadas en el suelo tratado con fertilizante mineral lograron los mayores valores

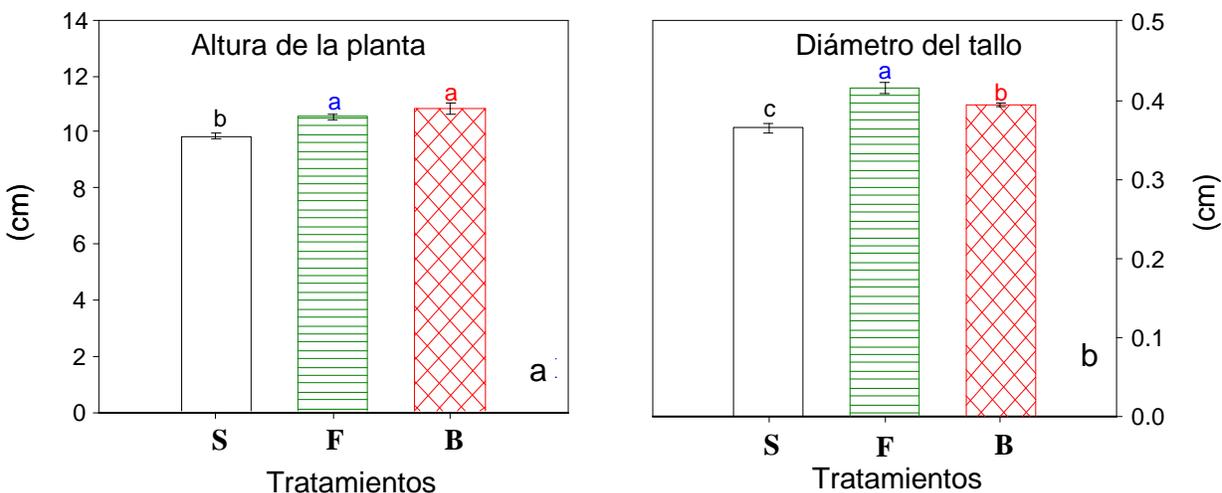


FIGURA 2. Altura (a) y diámetro del tallo (b) de plántulas de tomate cultivadas en un suelo tratado con biosólidos de aguas residuales municipales. S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g de biosólidos·kg⁻¹ de suelo. I, error estándar de la media.

de esta variable. En ambos casos, las plantas desarrolladas en el suelo natural lograron los menores valores. Este hecho, no es más que la respuesta de la planta al aumento de las concentraciones de elementos esenciales que experimentó el suelo cuando se aplicó fertilizante mineral sintético y biosólidos. En este sentido, Maclaren *et al.* (2003) informaron del incremento en el crecimiento de las plantas provocado por la aplicación de biosólidos al suelo.

En cuanto a los resultados observados al evaluar la longitud radical a los 15 días después de la germinación de las semillas no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3), quizá debido al periodo relativamente corto del desarrollo del experimento, lo cual provocó que las propiedades físicas de los sustratos empleados no obstaculizarán la exploración del sistema radical en ninguno de los tratamientos evaluados.

El peso seco foliar, del tallo, radical y total de la planta mostró un marcado incremento en respuesta a la aplicación de biosólidos (Figura 4), logrando magnitudes superiores a las encontradas en las plantas cultivadas en el suelo natural (S) y similares a las desarrolladas en el suelo tratado con biosólidos (F). Resultados similares fueron encontrados por Al-Jaloud, (1999) en sorgo, Miralles *et al.*, (2002b) en plantas de trigo y Martínez *et al.*, (2003) en zanahoria, quienes concluyeron que la aplicación de biosólidos incrementa significativamente el peso seco de las plantas, como respuesta al incremento que provoca este residuo en el contenido de elementos esenciales del suelo.

El comportamiento de esta variable mantiene la misma tendencia al del área foliar, lo que evidencia el posible efecto del incremento del área fotosintéticamente activa de la planta en la producción de biomasa de la misma, lo cual garantiza una mayor cantidad de productos sintetizados por la fotosíntesis (carbohidratos) y éstos unidos con los elementos

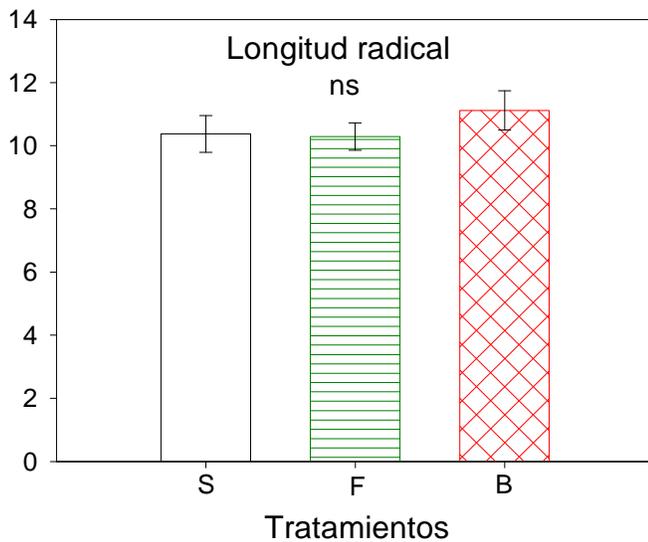


FIGURA 3. Longitud radical de plántulas de tomate cultivadas en un suelo tratado con biosólidos de aguas residuales municipales. S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g de biosólidos-kg⁻¹ de suelo. I, error estándar de la media. ns, diferencias no significativas.

minerales esenciales absorbidos por las raíces, garantizan una mayor síntesis de aminoácidos, amidas, proteínas u otros compuestos orgánicos que contribuyen directamente a la síntesis de nuevo material vegetal.

De forma general, en esta investigación se pudo observar la respuesta positiva del crecimiento vegetativo de las plantas a la aplicación de biosólidos al suelo, debido a que la aplicación de estos residuos orgánicos incrementa los contenidos de macronutrientes y micronutrientes esenciales en los suelos en forma directamente asimilable por las plantas, además de los procedentes de la mineralización de la MO en forma gradual, todo esto provoca que las plantas tengan una mayor disponibilidad, absorción y asimilación de los nutrientes durante todo su desarrollo y que las pérdidas de los nutrientes por lixiviación o lavados sean mínimas (Andrade *et al.*, 1999; Hernández, 2001).

CONCLUSIONES

Las variables área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo y peso seco por órganos y total de las plántulas,

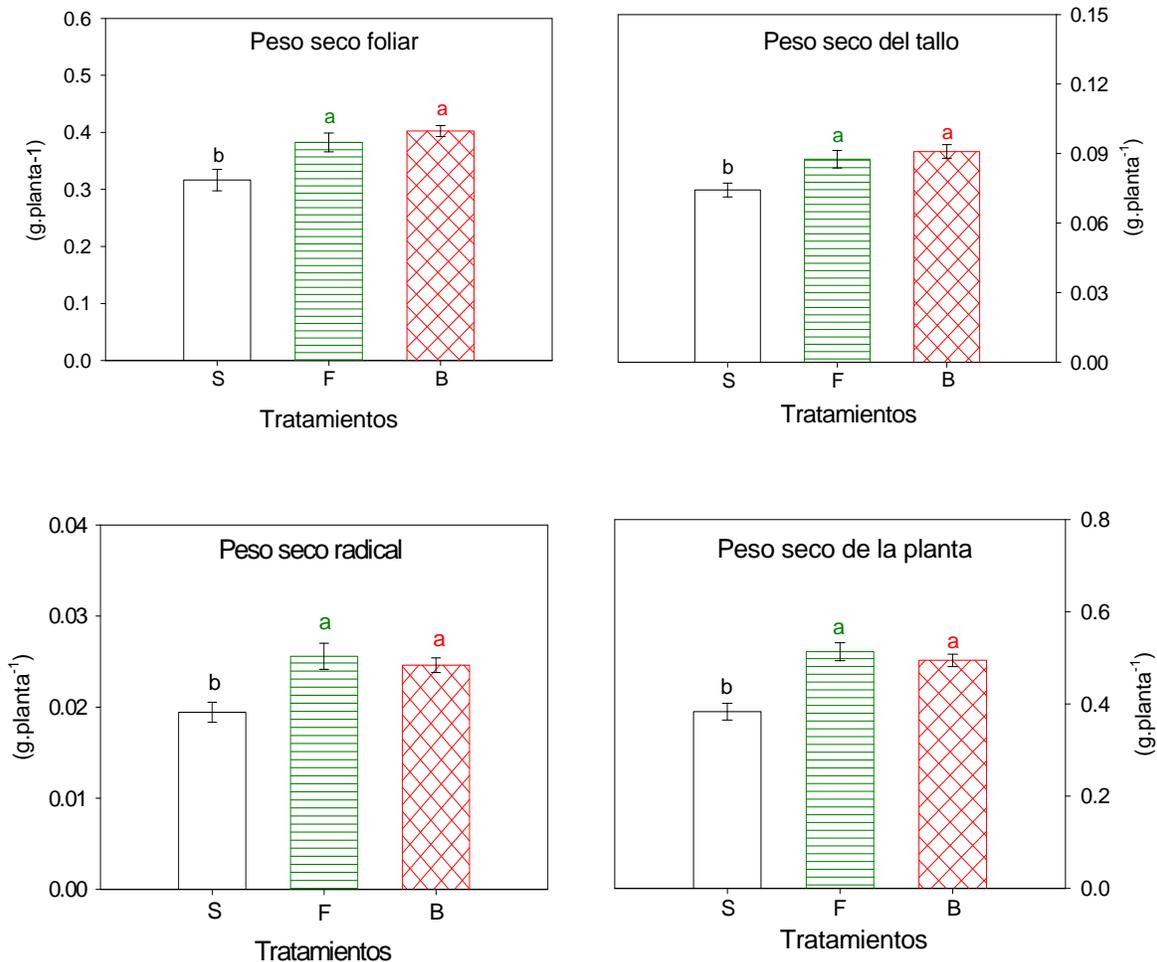


FIGURA 4. Peso seco por órganos y total de plántulas de tomate cultivadas en un suelo tratado con biosólidos de aguas residuales municipales. S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g de biosólidos-kg⁻¹ de suelo. I, error estándar de la media.

respondieron positivamente a la aplicación de biosólidos en un periodo relativamente corto de apenas 15 días después de la germinación de las semillas.

La aplicación de biosólidos no tuvo efecto sobre la longitud radical de las plántulas de tomate a los 15 días después de la siembra.

LITERATURA CITADA

- AGGELIDES, S. M.; LONDRA, P. A. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*. 71(3): 253-259.
- AL-JALOOD, A. 1999. Effect of sewage sludge on germination, growth and biomass yield of Sorghum in calcareous soil. *Journal of Biological Science* 2(2): 494-497.
- ANDRADE, M. L.; QUINTERO, M.; REYZABAL, M. L.; ESTÉVEZ, J. 1999. Composición de materia orgánica y determinación de metales en biosólidos para su uso potencial como enmendantes de suelo. *Revista Información Tecnológica* 10(6): 79-88.
- ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. 2001. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolos tratados com biossólido e cultivado com milho. *Scientia Agrícola, Piracicaba* 58(2): 337-344.
- BARBARICK, K. A.; HIPÓLITO, J. A. 2003. Termination of sewage biosolids application affects wheat yield and other agronomic characteristics. *Agronomy Journal* 95 (5): 1288-1294.
- BELTRÁN, E. M.; MIRALLES, R.; PORCEL, M. A.; DELGADO M. M.; BERINGOLA, J. V.; BIGERIEGO, M. 2002a. Effect of sewage sludge compost application on ammonium-nitrogen and nitrate-nitrogen contents of an olive grove soil. *Proceedings 12th International Soil Conservation. Organization Conference*. (Tsinghua University Press). Pekín. China III: 395-402.
- BENITEZ, E.; ROMERO, M.; GÓMEZ, M.; GALLARDOLARO, F.; NOGALES, R. 2001. Biosolid and biosolid ash as sources of heavy metals in plant-soil system. *Water, Air and Soil Pollution* 132: 75-87.
- BOA (BOLETÍN OFICIAL DE ARAGÓN). Decreto 77/1997, de 27 de mayo, del gobierno de Aragón, por el que se aprueba el código de buenas prácticas agrarias de la comunidad autónoma de Aragón y se designan determinadas áreas zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. 321 p.
- BOC (BOLETÍN OFICIAL DE CANARIAS). Orden de 11 de febrero de 2000, de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, por la que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunidad Autónoma de Canarias. 296 p.
- BOE (BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO) 263/1990 de 01-11-1190, pág. 32339. Mº de Agricultura Pesca y Alimentación. Real decreto 1310/1990, de 29 de octubre (1990/26490, por la que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario).
- BROFAS, G. P.; ALIFRAGIS, D. 2000. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. *J. Environ. Qual.* 29: 811-816.
- CARNEIRO, M.; POGGIANI, F. 2003. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. *Scientia Forestalis* 63: 188-201.
- COGGER, C.G.; BARY, A. I.; FRANSEN, S. C.; SULLIVAN, D. M. 2001. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *J. Environ. Qual.* 30: 2188-2194.
- CUEVAS, G.; WALTER, I. 2004. Metales pesados en Maíz (*Zea mays*, L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de composta de lodo residual. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 20(2): 59-68.
- DA SILVA F. C.; BOARETO, A. E.; BERTON, R.; BAZAGLIA, H.; PEEXE, C. A.; MENDOÇA, E. 2001. Efeito de biosólidos de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado con cana-açúcar. *Pesq. Agrop. Bras., Brasília* 35(5): 831-840.
- DE AZEVEDO, C.; ROCHA, A.; DE LIMA, M. R.; POHLMAN, M. 2001. Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atributos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico. *Scientia Agraria* 2(2): 87-91.
- DELGADO, M.; MIRALLES, R.; PORCEL, M. A.; BELTRÁN, E. M.; BERINGOLA, L.; MARTÍN J. V.; BIGERIEGO, M. 2002. Ensayo sobre el efecto como fertilizantes del compost de lodo y del RSU, para su empleo en la forestación de tierra agrarias. *Montes* 67: 54-58.
- DELGADO, M.; PORCEL, M. A.; MIRALLES, R.; BELLIDO, N.; BERINGOLA, L.; BELTRÁN, E. M.; CALVO R. 1999. Mineralización de nitrógeno procedente de residuos orgánicos. *Rev. Int. de Contam. Ambient.* 15(1): 19-25).
- DELGADO, M.; PORCEL, M. A.; MIRALLES, R.; BELTRÁN, E.; GARCÍA, J.; BELLIDO, N.; BIGERIEGO, M. 2000. Empleo de compost de depuradora como fertilizante en cultivo de maíz. *Vida Rural* 109: 24-26.
- DUMONTET, S.; SCOPA, A.; KERJE, S.; KROVACEK, K. J. 2001. The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge. *J. Air Waste Manage Assoc.* 51: 848-860.
- GAZETE, R. 2001. Toprak KirililiÜi Kontrol. *Y.netmeliÜi*, no: 24609, Ankara.
- HERNÁNDEZ, A. 1999. Nueva versión de clasificación genérica de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. AGRINFOR. Ministerio de la agricultura. La Habana. Cuba. 64 P.
- HERNÁNDEZ, R. Nutrición mineral de las plantas. 2001. En: Libro de Botánica On line. [Consultado 26/9/2005]. Disponible en: <<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>>.
- ILLERA, V.; WALTER, I.; CALA, V. 2001. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 17(4): 170-186.
- KELLER, C.; MCGRATH, S. P.; DUNHAM, S. J. 2002. Trace metal leaching through a soil-Grassland System after sewage sludge application. *J. Environ. Qual.* 31(5): 1550-1560.
- MACLAREN, R. G.; CLUCAS, L. M.; TAYLOR, M. D.; HENDRY, T. 2003. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soil treated with metal-spiked sewage sludge. 1. Leaching of macronutrients. *Australian Journal of Soil Research.* 41(3): 571-588.
- MARTÍNEZ, F.; CUEVAS, G.; CALVO, R.; WALTER, I. 2003. Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. *J. Environ. Qual.* 32(2): 472-479.
- MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A. 2003. Corn yield and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn from sewage sludge-amended soil with and without liming. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 27(3): 563-574.
- MINAGRI. 1990. Carta Tecnológica del cultivo del tomate.
- MIRALLES, R.; BELTRÁN, E.; PORCEL, M. A.; DELGADO, M.; BERINGOLA, M. L.; VALERO, J.; CALVO, R.; WALTER I. 2002. Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado,

- de estaciones depuradoras. Rev. Int. Contam. Ambient. 18(3): 139-146.
- MIRALLES, R.; BELTRÁN, E.; PORCEL, M. A.; BERINGOLA, M. L.; MARTÍN, J. V.; CALVO, R.; DELGADO, M. M. 2002b. Influencia de tres tipos de biosólidos de estaciones depuradoras en el desarrollo de estaquillas de olivo. Rev. Int. Contam. Ambient. 14(4): 163-169.
- MIRALLES, R.; BELTRÁN, E.; PORCEL, M. A.; BERINGOLA, M. L.; VALERO, J.; CALVO, R.; DELGADO, M. 2003. Disponibilidad de nutrientes por el aporte de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras. Rev. Int. Contam. Ambient. 19(3): 127-136.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C. 2004. Soil chemical alterations and growth of maize and bean plants after sewage sludge application. Rev. Bras. Ciênc. Solo 28(2): 385-392.
- NOM-004-ECOL-2001. Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental; lodos y biosólidos; especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMARNAT. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de febrero de 2002.
- NYAMANGARA, J.; MZEZEWA, J. 1999. The effect of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. Agriculture Ecosystems and Environment 73: 199-204.
- PASSOS, O. J.; SILVA, C. A.; WAGNER BETTIOL, W.; GUIMARÃES, L. R.; DYNIA, J. F. 2004. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb E Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. Ciênc. Agrotec. Lavras 28(1): 15-23.
- POLO, M. J.; ORDÓÑEZ, R.; GIRÁLDEZ, J. V. 1998. Caracterización de los fangos de depuradora de la EDAR de Córdoba. Estudio de su aptitud agronómica. Tecnología del Agua 172: 20-27.
- SELIVANOVSKAYA, S. Y.; LATYPOVA, V. Z.; KIYAMOVA, S. N.; ALIMOVA, F. K. 2001. Use of microbial parameters to access treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. Agriculture, Ecosystem and Environment. 86: 145-153.
- SOTO, F. 1980. Estimación de área foliar en *C. Arábica* L., a partir de las medidas lineales de las hojas. Cultivo Tropicales 2(3): 115-128.
- TERRY, E.; NUÑEZ, M.; PINO, M. A.; MEDINA, N. 2001. Efectividad de la combinación Biofertilizantes-Análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Cultivos Tropicales 22(2): 59-65.
- WALTER, I.; MARTÍNEZ, F.; ALONSO, L.; DE GRACÍA, J.; CUEVAS, G. 2002. Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application in agricultural soil. Environ. Pollut. 117: 315-321.