

## EFFECTO DEL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELOS DE LA PLANICIE DE CORO, ESTADO FALCÓN

Frank Zamora<sup>1</sup>, Nectali Rodríguez<sup>2</sup>, Duilio Torres<sup>3</sup> y Héctor Yendis<sup>3</sup>

### RESUMEN

Con el propósito de determinar la potencialidad del uso de aguas residuales como alternativa para riego en las zonas semiáridas del estado Falcón se evaluó su efecto sobre algunas propiedades químicas en suelos de tres unidades de producción ubicadas en la planicie de Coro: una bajo riego permanente de pasto, otra con riego intermitente de hortalizas, y un área de suelo virgen sin uso de aguas residuales. Se encontró que la aplicación constante de aguas residuales en los suelos cultivados con pastos incrementó significativamente los niveles de materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio. Esto implica que hubo un efecto promisorio con el uso de las aguas residuales ya que éstas contribuyeron a mejorar la fertilidad del suelo; sin embargo, su uso prolongado incrementó los contenidos de cadmio y plomo en el suelo a niveles que pudieran implicar riesgos a la salud por la probable contaminación de los cultivos con metales pesados.

**Palabras clave adicionales:** Fertilidad de suelos, materia orgánica, metales pesados, zona semiárida

### ABSTRACT

#### **Use of wastewater for irrigation and its effect on chemical properties of soils in the plains of Coro, Falcon State, Venezuela**

With the purpose of determining the potential use of wastewaters as alternative for irrigation in the semi-arid areas of Falcon State, it was evaluated the effect on chemical properties of soils in three production zones located in the Coro plains: one under permanent irrigation of pasture, other with intermittent irrigation of vegetables, and an area of virgin soils without use of wastewaters. Results showed that the permanent use of wastewater on pasture improved soil fertility because it led to increments in the organic matter, P, K, and Mg contents. However, the continuous use of the wastewater increased the soil content of cadmium and lead at levels that could be harmful to health due to probable crop contamination with heavy metals.

**Additional key words:** Soil fertility, organic matter, heavy metals, semi-arid areas

### INTRODUCCIÓN

El uso de aguas residuales en la agricultura puede aumentar el ingreso de materia orgánica y nutrientes a los suelos cultivados lo cual contribuye a mantener e incrementar la fertilidad del mismo, pero también puede traer efectos ambientales nocivos que deterioran la calidad del suelo y del agua. Es decir, la dinámica de la materia orgánica en el suelo es importante ya que su descomposición influye en la liberación de moléculas orgánicas e inorgánicas enlazadas a ella

(Raber y Kogel-Knabner, 1995). Por tanto, la entrada del lodo de aguas residuales por varios años puede influenciar las características químicas y de fertilidad del suelo (Soler et al., 2002).

Las aguas residuales pueden constituir una alternativa en las zonas semiáridas donde hay escasez de este recurso, no sólo por ser una fuente de agua para los cultivos, sino por el aporte de nutrientes que mejoran la fertilidad del suelo, dado los altos contenidos de materia orgánica usualmente presentes en la misma (Simonete et al., 2003). No obstante, su uso sin un tratamiento

---

Recibido: Julio 18, 2007

Aceptado: Mayo 30, 2008

<sup>1</sup> Dpto. Producción y Desarrollo Agrícola, Complejo Docente El Hatillo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, e INIA, Estación Experimental Falcón. e-mail: fzamora@inia.gov.ve

<sup>2</sup> Dpto. Producción y Desarrollo Agrícola, Complejo Docente El Hatillo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. e-mail: nectajo@cantv.net

<sup>3</sup> Dpto. Ambiente y Tecnología Agrícola, Complejo Docente El Hatillo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Código postal 4101. Coro, estado Falcón. e-mail: duiliotr@unefm.edu.ve; hyendis@unefm.edu.ve

previo puede ocasionar problemas debido al alto contenido de sales, contaminación con metales pesados y la presencia de algunos microorganismos patógenos al hombre. Por ello es necesario evaluar su uso cuantificando su efecto sobre las propiedades químicas del suelo, con el fin de garantizar que su utilización no sólo mejore la fertilidad y productividad del suelo, sino que conlleve a mantener la calidad de este recurso, garantizando que no ocasionen problemas ambientales, ni de salud pública. En tal sentido, en esta investigación se evaluaron los cambios en algunas propiedades químicas de los suelos del sector llanura de Coro, estado Falcón, para determinar los beneficios o inconvenientes que puede ofrecer el uso de aguas residuales urbanas e industriales provenientes de la ciudad de Coro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada en la llanura de Coro, en las coordenadas 11° 25' N y 69° 43' W, en las fincas San Isidro, Santa Rosa y Valle Verde, que abarcan una superficie de 638 ha. Los suelos del área presentan texturas muy finas y un desarrollo estructural en un rango de débil a moderado. El drenaje interno y externo es de moderado a lento; de permeabilidad muy lenta y pH alcalino. La fertilidad natural de estos suelos es baja y por lo general presentan problemas de erosión y salinidad.

El diseño experimental se basó en un estudio cuasiexperimental, en el que se evaluaron los siguientes tres tipos de uso de la tierra: a) pastizales con uso permanente de aguas residuales; b) hortalizas con uso intermitente de aguas residuales; y c) suelo virgen sin uso de aguas residuales. Para el tratamiento con pastizales se obtuvieron ocho muestras compuestas (sector San Isidro), para el de hortalizas tres muestras compuestas (sector Valle Verde) y para el suelo virgen dos muestras compuestas (sector Santa Rosa), obteniéndose un total de 13 unidades de observación.

### Descripción de los tratamientos

- Pastizales con uso permanente de aguas residuales: En este sistema se cultivan aproximadamente 300 ha de pasto alemán (*Echinochloa polystachia*), siendo el sistema

dominante en el uso de aguas residuales. El manejo consiste en la aplicación de aguas residuales por inundación inmediatamente después de ser pastoreado.

- Hortalizas con uso intermitente de aguas residuales: Este sistema se caracteriza por el cultivo temporal de algunos rubros hortícolas, especialmente melón y pimentón, con un máximo de dos ciclos de siembra y posteriormente el terreno es dejado en barbecho. Las muestras fueron tomadas luego del ciclo de cosecha durante el período de descanso del predio.

- Suelo virgen, sin uso de aguas residuales: Este sistema consiste en una zona que no ha sido cultivada, por lo que las condiciones naturales de suelo no han sido alteradas y sirvió como tratamiento de referencia.

### Caracterización de las aguas residuales

Se evaluó el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en la unidad de producción, el cual consiste en un sistema de dos lagunas de oxidación colocadas en serie. Para ello se recolectaron muestras de agua en el sitio de descarga de aguas residuales, en ambas lagunas, y en la descarga hacia la parcela de riego. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, determinándose los coliformes fecales, coliformes totales, pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas, fósforo total, nitrógeno total, sólidos totales, disueltos y suspendidos, y los metales Fe, Zn, Cu, Cr, Cd y Pb.

### Variabes edáficas

Se evaluaron las variables químicas del suelo como el carbono orgánico (Walkley y Black), pH y conductividad eléctrica, así como Ca, Mg, K, Cd y Pb (absorción atómica) y capacidad de intercambio catiónico (extracción con acetato de amonio y cuantificación por absorción atómica). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INIA, en Maracay.

Los resultados fueron analizados como un diseño completamente aleatorio. El análisis estadístico fue realizado mediante análisis de varianza y pruebas de medias según Tukey, usando el paquete estadístico Infostat, versión 1.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del sistema de tratamiento de aguas residuales

Los resultados indican que no existieron niveles altos de contaminación de las aguas por elementos metálicos en las muestras tomadas en el sitio de descarga y éstas mostraron características típicas de aguas residuales urbanas, como se puede observar en los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), y fósforo total, así como los altos valores de coliformes totales (Cuadro 1). Se observa también una disminución de la DQO, DBO y detergentes en la primera laguna de oxidación, así como una fuerte caída en los valores de coliformes totales a partir de la segunda laguna. Los resultados sugieren que, aparentemente, estas aguas podrían ser tratadas por medios biológicos en virtud de que no se detectó contaminación por metales pesados.

Se destaca que las dos lagunas de oxidación reflejan el mismo porcentaje de remoción de materia orgánica, y no hay remoción efectiva de los nutrientes P y N. Este aspecto parece importante desde el punto de vista agrícola ya que los incrementos de carbono orgánico, fósforo y nitrógeno pueden mejorar la fertilidad del suelo. Dempsey et al. (1989), Elliott et al. (1990) y Elliott y Dempsey (1991) señalan que el uso continuo de aguas residuales mejoró sustancialmente el ciclaje de nutrientes, incrementando la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y carbono orgánico en los suelos.

A pesar de los altos contenidos de cloruros encontrados en las aguas residuales y que no fueron removidas eficientemente por las lagunas de oxidación (Cuadro 1), los niveles de conductividad eléctrica no fueron altos (<800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), por lo que es baja la posibilidad de ocasionar salinización del suelo por el uso prolongado de estas aguas.

**Cuadro 1.** Caracterización del sistema de tratamiento de aguas residuales utilizadas para el riego en tres unidades de producción ubicadas en la Llanura de Coro, Venezuela

Punto de muestreo	Ce	ST	STD	SS	Cl	Nt	Pt	SO <sub>4</sub>	DBO	DQO	pH
	( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	(mg·L <sup>-1</sup> )									
Descarga	624	492	399	93	56	18	2,3	108	78	190	7,0
Laguna I	769	604	492	112	130	23	5,0	130	13	61	7,0
Laguna II	792	584	507	77	70	23	5,1	153	13	76	7,2
Salida al riego	792	584	507	77	67	23	5,1	67	13	76	7,2

  

Punto de muestreo	Aceites	Detergentes	Cd	Cu	Cr	Fe	Pb	Zn	Coliformes (NMP·100 mL <sup>-1</sup> )
			(mg·L <sup>-1</sup> )						
Descarga	1	2,20	0,020	0,05	0,10	0,05	0,1	0,1	16000000
Laguna I	1	0,41	0,020	0,05	0,10	0,05	0,1	0,1	16000000
Laguna II	1	0,14	0,005	0,05	0,05	0,10	0,1	0,1	130000
Salida al riego	1	0,14	0,005	0,05	0,05	0,10	0,1	0,1	30000

### Efecto del uso de las aguas residuales sobre las propiedades químicas del suelo

El uso de aguas residuales produjo cambios en las propiedades químicas del suelo (Cuadro 2), especialmente debido a los aportes de materia orgánica que se reflejaron en incrementos del contenido de nutrientes (fósforo y potasio), lo que conllevó a mejorar la fertilidad del suelo en los pastizales bajo riego permanente en comparación a las áreas bajo riego intermitente (hortalizas) o el área bajo suelo virgen. No obstante, el uso prolongando de las mismas ocasionó problemas de contaminación en el suelo debido al

incremento en los contenidos de metales pesados (cadmio y plomo), constituyendo un riesgo de contaminación para las poblaciones que consumen las hortalizas y los animales que comen los pastos.

### Materia orgánica

La aplicación constante de aguas residuales en el tipo de uso bajo pasto incrementó los niveles de materia orgánica a valores de 43,1 g·kg<sup>-1</sup>, los cuales fueron significativamente superiores ( $P \leq 0,05$ ) al contenido de materia orgánica reportado en el suelo bajo riego intermitente y el

suelo virgen los cuales presentaron valores de 13,3  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  y 8,5  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente. Estos dos últimos valores son similares a los reportados normalmente para suelos de las zonas semiáridas donde los niveles de materia orgánica son bajos debido al escaso aporte de biomasa vegetal, por lo cual el uso de aguas residuales puede ser una práctica prometedora para mejorar los niveles de

fertilidad del suelo.

El aumento obtenido en los contenidos de materia orgánica fueron similares a los reportados por Nascimento et al. (2004) quienes hallaron incrementos de 53 % en un suelo Espodosol y 62 % en un Argisol luego de la aplicación de aguas residuales en suelos de la zona semiárida Brasileña.

**Cuadro 2.** Efecto del uso de aguas residuales sobre algunos parámetros químicos en tres tipos de uso de la tierra en la Llanura de Coro, Venezuela

Tipo de uso	Materia orgánica ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	P	K	Ca	Mg	Cd	Pb	Ce ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )	pH
Pastizales con riego permanente con aguas residuales	43,1 a	126,44 a	284,92 a	9320 a	754,2 a	2,30	23,30	1,02 a	7,58 b
Hortalizas bajo riego intermitente con aguas residuales	13,3 b	14,66 b	140,0 b	9510 a	240 b	-	-	1,10 a	8,35 a
Suelo Virgen	8,5 b	10,5 b	83,5 b	8420 a	340 b	-	-	1,58 a	8,20 a

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P\leq 0,05$ )

### Contenido de P

El incremento del P total fue significativamente mayor ( $P\leq 0,05$ ) en el tratamiento donde se utilizó aguas residuales en pastizales de forma continua (Cuadro 2). Esto coincide con lo señalado por Andrade et al. (2000) quienes reportaron que en suelos regados con aguas residuales a medida que mayor fue el tiempo de riego y la dosis aplicada, mayor fue el incremento en los contenidos de P del suelo. Entre las causas de una mayor disponibilidad de fósforo, luego de la aplicación de aguas residuales se encuentran los aportes provenientes del fósforo orgánico como producto de la mineralización de la materia orgánica o a la disminución de la acidez causada por la incorporación de materiales de reacción alcalina (Korentajer, 1991).

Los resultados obtenidos difieren de los reportados por Bugbee y Frink (1985) y Elliott y Singer (1988) quienes notaron severas deficiencias de fósforo asociadas a una excesiva aplicación de aguas residuales. Lo anterior pudiera ser una consecuencia de las sales de hierro y sulfato de aluminio usualmente empleadas para remover la turbidez de las aguas residuales durante su proceso de tratamiento, las cuales aumentan sustancialmente el potencial de fijación de P (Cox

et al., 1997; Gallimore et al., 1999; Basta et al., 2000). En este sentido, Ippollito et al. (1999) estudiaron los efectos de la aplicación de aguas residuales sobre la absorción de fósforo y concluyeron que la aplicación de las mismas produjo la inmovilización del fósforo soluble e indujeron su deficiencia en el cultivo. Este efecto permite inferir que la disponibilidad de fósforo va a depender de las características del agua y fundamentalmente del sistema de tratamiento empleado para su purificación (Hyde y Morris, 2000).

### Contenido de K

Luego de la aplicación de las aguas residuales se observó un incremento significativo ( $P\leq 0,05$ ) en el contenido de K en aquellos tratamientos donde se utilizó el agua residual de manera constante con promedio de 284,92  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Cuadro 2) en comparación con los otros dos tratamientos, y entre éstos el suelo virgen tendió a presentar el valor más bajo con promedio de 83,5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Estos resultados coinciden con los reportados por David y Struchtemeyer (1980) y Rodrigues et al. (2006) quienes encontraron incrementos en los niveles de K en suelos donde se utilizaron aguas residuales; pero son

contrarios a los reportados por Stewart et al. (1990) quienes no encontraron incrementos de K en los primeros 55 cm de parcelas agrícolas luego de cuatro aplicaciones de agua residual, y hallaron diferencias significativas sólo a partir de los 60 cm.

#### **Contenido de cationes cambiables**

Los valores de calcio no presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos, pero el magnesio se incrementó en los suelos regados con aguas residuales de manera permanente, mostrando valores de  $754,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Este resultado es similar al reportado por Simonete et al. (2003) quienes obtuvieron diferencias entre los tratamientos en relación a los contenidos de Mg, pero es contrario a lo reportado por Silva et al. (2001) quienes señalan que este elemento se reduce en los suelos regados con aguas residuales debido a que es sustituido por el Na en los sitios de intercambio.

#### **Cambios en el pH**

La utilización continua de las aguas residuales contribuyó a una disminución significativa ( $P \leq 0,05$ ) en los valores de pH (Cuadro 2). En diversos trabajos ha sido reportada la eficiencia de las aguas residuales en disminuir el pH del suelo, lo cual es atribuido en parte a la nitrificación del amonio proveniente del nitrógeno orgánico, la oxidación de los sulfitos y la producción de ácidos orgánicos producto de la mineralización materia orgánica (Oliveira et al., 2002; Bettiol y Fernández, 2004; Simonete et al., 2003).

#### **Conductividad eléctrica**

No se detectaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos para la conductividad eléctrica del suelo (Cuadro 2). Aunque no existe una explicación clara para este fenómeno, la respuesta podría atribuirse a la baja conductividad eléctrica del agua residual (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Theis (UNEFM. Datos no publicados).

#### **Metales pesados**

Se encontraron niveles elevados de cadmio ( $2,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y plomo ( $23,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en los suelos bajo riego permanente con aguas residuales (Cuadro 2) a pesar de que éstas presentaron niveles bajos de metales pesados (Cuadro 1).

Estos niveles son superiores a los máximos permitidos por la mayoría de las normas mundiales, los cuales son  $1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  para el cadmio y  $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  para el plomo, lo que implica que el uso agrícola de esta agua residual debe ser monitoreado para evitar los riesgos de contaminación del suelo y daños a la salud por la presencia de estos elementos. En otras investigaciones, se ha encontrado que luego de la aplicación continua de aguas residuales los valores de Cd y Pb incrementaron a niveles de 3 y  $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente (Perucci, 1992; Silva et al., 2001).

El incremento de metales pesados en el suelo, depende del contenido original del metal, la textura del suelo, contenido de materia orgánica y de la capacidad de intercambio catiónico (Andreoli y Pegorini, 2000). Los altos valores de metales pesados hallados en este estudio pudieran responder al tiempo prolongado de riego con aguas residuales en estos potreros, a los altos contenidos de arcillas finas que favorecen la adsorción de los metales y al alto contenido de materia orgánica que incrementa la capacidad de intercambio catiónico, aumentando la retención de los mismos y evitando su lixiviación.

Además del riesgo potencial por la acumulación de metales pesados, es necesario vigilar problemas colaterales de salud pública asociados a la presencia de coliformes totales y fecales en el suelo (Cuadro 2) que podrían incrementar por el uso prolongado de estas aguas residuales.

No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación ratifican la importancia del uso de aguas residuales como alternativa para el manejo del recurso agua en las regiones semiáridas, en virtud de la escasez de la misma, aunado al aporte de sustancias orgánicas y macronutrientes que mejoran la fertilidad de los suelos.

## **CONCLUSIONES**

La aplicación constante de aguas residuales en los suelos cultivados con pastos en las llanuras de Coro ha incrementado los niveles de materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio con relación a los suelos bajo riego intermitente o en condición virgen. Esto implica que se ha logrado mejorar la fertilidad del mismo, producto del aporte de nutrientes provenientes de las aguas residuales.

Los suelos bajo riego continuo con aguas residuales muestran elevadas concentraciones de cadmio y plomo, lo cual puede implicar riesgos a la salud por contaminación con metales pesados.

El sistema de tratamiento de aguas residuales permitió disminuir la DQO, DBO y coliformes totales, aunque no hubo remoción efectiva de los nutrientes P y N.

### LITERATURA CITADA

- Andrade, M.L., P. Marcet, M.L. Reyzábal y M.J. Montero. 2000. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología* 7-3: 21-29.
- Andreoli, C. y E.S. Pegorini. 2000. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. *In*: W. Bettiol y O.A. Camargo (eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA. Meio Ambiente pp. 281-312.
- Basta, N.T., R.J. Spanish y E.A. Dayton. 2000. Evaluating soil tests to predict bermudagrass growth in drinking water treatment residuals with phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.* 29: 2007-2012.
- Bettiol, W. y S. Fernández. 2004. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. Jaguariúna, SP: Embrapa, Comunicado Técnico pp. 24-35.
- Bugbee, G. y C. Frink. 1985. Alum sludge as a soil amendment: Effects on soil properties and plant growth. *Bull.* 823. Connecticut Agric. Exp. Stn., New Haven. 85 p.
- Cox, A.E., J.J. Camberato y B.R. Smith. 1997. Phosphate availability and inorganic transformation in an alum sludge-affected soil. *J. Environ. Qual.* 26: 1393-1398.
- David, M y R. Struchtemeyer. 1980. Effects of spraying sewage effluent unforested land at Sugarloaf Mountain, Maine. *Bulletin* 773, University of Maine at Orono. 86 p.
- Dempsey, B.A., J. DeWolfe, D. Hamilton, Y. Lee, R. Liebowitz y H.A. Elliott. 1989. Land application of water plant sludges. *Proc. 44<sup>th</sup> Purdue Industrial Waste Conf.*, Purdue Univ., West Lafayette. Lewis Publ., Chelsea, MI. pp. 537-543.
- Elliott, H. y L. Singer. 1988. Effect of water treatment sludge on growth and elemental composition of tomato shoots. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19: 345-354.
- Elliott, H., B. Dempsey, D. Hamilton y J. Dewolfe. 1990. Land application of water treatment sludges: Impact and management. *Am. Water Works Assoc. Res. Foundation*, Denver. 152 p.
- Elliott, H y B. Dempsey. 1991. Agronomic effects of land application of water treatment sludges. *J. Am. Water Works Assoc.* 83: 126-131.
- Gallimore, L.E., N.T. Basta, D.E. Storm, M.E. Payton, R.H. Huhnke y M.D. Smolen. 1999. Water treatment residual to reduce nutrients in surface runoff from agricultural land. *J. Environ. Qual.* 28: 1474-1478.
- Hyde, J.E. y T.F. Morris. 2000. Phosphorus availability in soils amended with dewatered water treatment residual and metal concentrations with time. *J. Environ. Qual.* 29: 1896-1904.
- Ippollito, J., K. Barbarick y E. Redente. 1999. Co-application effects of water treatment residuals and biosolids on two range grasses. *J. Environ. Qual.* 28: 1644-1650.
- Korentajer, L. 1991. A review of the agricultural use of sewage sludge benefits and potential hazards. *Water, Air and Soil Pollution* 17: 189-196.
- Nascimento, C., A. Barros, D. Melo y A. Oliveira. 2004. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo* 28(2): 385-392.
- Oliveira, F., M. Matiazzo, C. Marciano y R.

- Rosseto. 2002. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência de Solo* 26(2): 505-519.
18. Perucci, P. 1992. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. *Biol. Fertil. Soils* 14: 54-60.
19. Raber, B. y I. Kogel-Knabner. 1995. Desorption of PAH polycyclic aromatic hydrocarbons from soils under the influence of dissolved organic substances. *Mitt. Dtsch. Bodenkd. Ges.* 76: 421-424.
20. Rodrigues, T., S. Arruda, F. Cleidson, F. Machado y L. Arnaldo. 2006. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados con diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de la Ciencia del Solo y Nutrición Vegetal* 6(1): 52-63.
21. Silva, F., A. Boaretto, R. Berton, H. Zotelli, C.A. Pexe y H.M. Bernardes. 2001. Effect of sewage sludge on the fertility of a Paleudult soil cultivated with sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36(5): 831-840.
22. Simonete, M., J. Kiehl y T. Andrade. 2003. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38(10): 1187-1195.
23. Soler, R., P. Brunetti y N. Senesi. 2002. Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acids from sewage sludges and sludge-amended soils. *Soil Sci.* 167: 235-245.
24. Stewart, H., P. Hopmans y D. Flinn. 1990. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. *Environmental Pollution* 63: 155-177.