

Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano

Evaluation of potential application disinfected of biosolids on radish cultivate

Jorge Antonio Silva-Leal^{1†}, Diego Fernando Bedoya^{2*}, y Patricia Torres-Lozada^{3‡}

¹Doctor en Ingeniería, Docente Asociado, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Boyacá. ²Ingeniero Sanitario, Estudiante de Maestría en Ingeniería, Énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. ³Doctora en Ingeniería Civil, Hidráulica y Saneamiento. Docente Titular, Facultad de Ingeniería, Área de Ingeniería Sanitaria, Universidad del Valle. †Autor para correspondencia: jorsilva@uniboyaca.edu.co, *unidiego86@gmail.com, ‡patricia.torres@correounivalle.edu.co

Rec.: 29.05.12 Acept.: 06.11.13

Resumen

Se evaluó el posible aprovechamiento de tres tipos de biosólidos, procedentes del manejo de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, para el cultivo y producción de rábano (*Raphanus sativa*) cultivado en un suelo Vertic endoaquepts. Los tratamientos de los biosólidos consistieron en: deshidratado-BD, secado térmicamente (60 °C por 12.58 h)-BST y alcalinizado (cal viva 9% peso seco)-BA, aplicados en dosis de 1, 2, 4 y 8 veces el requerimiento de nitrógeno del cultivo (80 kg/ha). En el cultivo se midieron el número de hojas de las plantas y la producción de biomasa y en los rábanos el peso final y el contenido de coliformes fecales, *Escherichia coli*, y huevos de helmintos al momento de la cosecha. Los resultados mostraron que la aplicación de biosólidos mejoró entre 17% y 150% los pesos de la planta y del rábano en relación con el tratamiento control; no obstante, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el peso del rábano entre tratamientos. Aunque la aplicación de los biosólidos no influyó en la concentración de coliformes fecales ni de *E. coli* en el rábano al momento de la cosecha, la aplicación de estos aumentó el contenido de huevos de helmintos viables, lo que presenta un riesgo elevado para la salud humana, y hace necesario implementar prácticas de higienización antes de su uso en cultivos.

Palabras clave: Aprovechamiento agrícola, biosólidos, rábano, secado térmico, tratamiento alcalino.

Abstract

We evaluated the potential for use in the cultivation on radish of three types of biosolids: dehydrated-BD, thermally dried (60 °C for 12.58 hours)-BST and alkalized (quicklime 9% dry weight)-BA in doses of 1, 2, 4 and 8 times the nitrogen requirement of the crop. We measure the number of leaves, biomass and weight of the radish and the content of faecal coliforms, *E. coli* and helminth eggs in the radish at the moment of harvest. The results showed that application of biosolids improves the weight of the radish from 17 to 150% in relation to the control, however, the statistical analysis showed no significant difference between treatments. Although the application of biosolids did not show a concentration of fecal coliforms and *E. coli* in radish for the three biosolids; the dehydrated biosolid application increase the content of viable helminth eggs in radish, presenting an elevated risk of use on these crops, being necessary to implement sanitation practices of biosolids before to the agricultural application.

Key words: Agricultural application, alkaline treatment, biosolids, radish, thermal drying.

Introducción

Los biosólidos resultantes del manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas-PTAR tienen un alto potencial para usos agrícolas debido a su contenido de materia orgánica y nutrientes. No obstante la presencia de microorganismos patógenos es un limitante para la aplicación directa sin tratamiento previo de este tipo de residuo, debido a la amenaza para la salud humana y biótica, siendo necesario implementar tratamientos complementarios de estabilización como el secado térmico y el tratamiento alcalino, entre otros (Kiely, 1999; EPA, 1999).

El secado térmico permite controlar de manera efectiva la temperatura y el tiempo de exposición y presenta un alto potencial de higienización como complemento a la modesta eficiencia en la remoción de patógenos de la digestión biológica de los lodos (Almeida *et al.*, 2006). Se ha encontrado que con temperaturas superiores a 45 °C es posible eliminar de manera significativa bacterias formadoras de esporas como *Clostridium perfringens*, *Bacillus* spp. y sulfito-reductoras, además de eliminar microorganismos de alta persistencia y patogenicidad como los huevos de helmintos (Gantzer, 2001). Los rangos de temperatura y tiempo recomendables varían entre 50 y 75 °C y entre 3 min y 13 días, lo cual depende del tipo de microorganismo a eliminar (Comparini y Sobrinho, 2002; Franco-Hernández *et al.*, 2003; Bagge *et al.*, 2005; Araque, 2006; Pecson *et al.*, 2007; Lang y Stephen, 2008; Avery *et al.*, 2009; Sidhu y Toze, 2009).

El tratamiento alcalino es uno de los más empleados para la higienización de los biosólidos y consiste en la estabilización alcalina utilizando una base, normalmente cal, la cual se mezcla con el biosólido para elevar el pH y destruir la mayor parte de los microorganismos patógenos (Fernández y de Souza, 2001). Según EPA (2003) este proceso se alcanza mediante la elevación del pH > 12 por un periodo de 72 h o más y de la temperatura a 52 °C por un periodo de 12 h.

La aplicación de biosólidos en el suelo es frecuente en silvicultura (plantaciones forestales o viveros), recuperación de suelos degradados, adecuación de zonas verdes, abono o enmienda orgánica y como biorremediación

de suelos contaminados (Castrejón *et al.*, 2000). La potencialidad de uso depende del tratamiento previo y del tipo de cultivo donde se apliquen. Los cultivos sobre el suelo y de consumo directo sin procesamiento previo presentan las mayores restricciones por el riesgo de presencia de patógenos.

La volatilización del nitrógeno es la pérdida más significativa durante el proceso de incorporación de biosólidos como fertilizante en el suelo. Este proceso depende de la temperatura, el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, la cobertura y la calidad de residuos en la superficie, el viento, la tensión de vapor superficial y la dosis aplicada (Sogaard *et al.*, 2002; Ferraris *et al.*, 2009).

Hoitink *et al.* (2003) observaron que la aplicación de biosólidos municipales sin higienizar a razón de 5.6% en volumen favoreció el crecimiento de 40 especies de plantas, entre ellas el rábano rojo (*Raphanus sativa*); por el contrario, Evanylo *et al.* (2005) y Lopes (2008) no encontraron cambios en el desarrollo y producción de rábano con la aplicación de diferentes dosis de biosólidos en el suelo.

En Colombia existen varios trabajos sobre aplicación a pequeña escala de lodos y biosólidos en cultivos. Ramírez y Pérez (2006) evaluaron el potencial agrícola de biosólidos de la PTAR El Salitre en el cultivo de rábano rojo en dosis variables desde 25% hasta 100% de los requerimientos de nitrógeno y encontraron que en dosis entre 25% y 50% se incrementó el crecimiento y el desarrollo del cultivo. Ramírez *et al.* (2007) observaron que la aplicación de biosólidos de la PTAR San Fernando, Medellín, con 4% y 8% de M.O. afectaron negativamente el crecimiento del gualanday (*Jacaranda mimosifolia*) debido al alto contenido de nutrientes y metales pesados en el suelo. Torres *et al.* (2007) evaluaron la aplicación agrícola del compost obtenido con biosólido primario de la PTAR Cañavalejo, Cali, en cultivos de rábano (*Raphanus sativus*) y acelga (*Beta vulgaris*) y no hallaron diferencias en producción de rábano en relación con la aplicación de fertilizante comercial 10-30-10; mientras que en acelga observaron un incremento entre 43% y 130% en relación con el suelo testigo. En Santander, Escobar

(2010) evaluó el efecto de la aplicación de biosólido de la PTAR Río Frío, estabilizado con cal agrícola en una dosis de 33% en plantas de lechuga (*Lactuca sativa*), guadua (*Guadua* spp) samán (*Samanea saman*) y encontró un efecto positivo principalmente en las plantas de lechuga.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial de aprovechamiento de los biosólidos deshidratados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, PTAR-C, de la ciudad de Cali, utilizando el rábano como cultivo indicador.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en un suelo Vertic endoaquepts (USDA, 1999) el cual es representativo de 9777 ha de los suelos del valle geográfico del río Cauca (Carbonell *et al.*, 2006). Los biosólidos fueron tomados de la PTAR-C que es operada con el sistema de tratamiento primario avanzado (TPA), donde los lodos son conducidos para tratamientos de espesamiento, digestión anaerobia y des-

hidratación mecánica en filtros prensa-BD); adicionalmente se evaluaron biosólidos sometidos previamente a procesos de reducción de patógenos mediante secado térmico a 60 °C por 12.58 h (BDST) y tratamiento alcalino con cal viva 9% peso seco (BDTA), según la recomendación de Silva *et al.* (2013).

Los biosólidos fueron caracterizados por sus particularidades físicas y químicas de pH, humedad, carbono orgánico (Walkley y Black, 1934), nitrógeno total (Kjeldahl, 1883), nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo (Bray y Kurtz, 1945), potasio, calcio, magnesio, azufre y metales pesados (As, B, Cd, Mn, Fe, Cu, Zn, Hg, Ni, Ag, Pb y Cr) (USDA y NRCS, 2004); microbiológicas por coliformes totales, fecales y *E. coli* (APHA *et al.*, 2005); y parasitológicas por huevos de helmintos (Bailinger, 1979).

El tratamiento de biosólido fue aplicado en el suelo para suplir el requerimiento de nitrógeno del cultivo de rábano, equivalente a 80 kg/ha (CHC, 2012) con base en la Ecuación 1 y el nitrógeno disponible se calculó con base en la Ecuación 2 (CETESB, 1999).

$$Dosis\ Biosólido = \frac{kg}{ha} = \frac{Nitrógeno\ recomendado\ para\ el\ cultivo\ \frac{kg}{ha}}{Nitrógeno\ disponible\ en\ el\ biosólido\ \frac{mg}{kg} \times 0.001} \quad Ec. 1$$

$$ND = \frac{Kmin}{100} \times (NKT - NH_4^+) + 0.5 (NH_4^+) + (NO_3^- + NO_2^-) \quad Ec. 2$$

donde:

ND: nitrógeno disponible (mg/kg),

Kmin: constante de mineralización para cada biosólido,

NKT: nitrógeno total Kjeldahl del biosólido (mg/kg),

NH₄⁺: nitrógeno amoniacal en el biosólido (mg/kg),

NO₃⁻ y NO₂⁻: nitratos y nitritos en el biosólido,

0.5: factor de volatilización del nitrógeno amoniacal por aplicación superficial,

0.001: factor de conversión de mg/kg a kg/t.

La constante de mineralización de cada biosólido (Kmin) fue determinada por el método propuesto por Silva *et al.* (2013). Los tratamientos aplicados fueron equivalentes a 1, 2, 4 y 8 veces los requerimientos del cultivo (Cuadro 1) propuestos por Vieira y Cardoso

(2003), Vieira (2004), Vieira *et al.* (2005), Guimarães (2007) y Chiba *et al.* (2008 a,b).

Como cultivo indicador se utilizó rábano rojo, de rápida germinación (7 días) y ciclo de vida corto (45 días a cosecha) (CHC, 2012). Cada unidad experimental consistió en ma-

Cuadro 1. Tipos de biosólidos y dosis aplicadas en rábano.

Tratamiento (tipo de biosólido)	Equivalentes de requerimiento de nitrógeno para rábano	K mineralización (%)	Cantidad aplicada (t/ha)
Control (suelo)	0		0
Deshidratado -BD	1	33	9.3
	2		18.6
	4		37.2
	8		74.4
Secado térmicamente -BST	1	45.7	6.7
	2		13.5
	4		26.9
Alcalinizado -BA	1	26	16.8
	2		33.7
	4		67.5
	8		134.9

teras de 0.7 lt de capacidad, en cada una de las cuales se sembraron cuatro semillas. El diseño experimental empleado fue factorial con dos factores: tipo de biosólido (deshidratado, térmico y alcalino) y dosis aplicada, para un total de 13 tratamientos, incluido el tratamiento control, que se replicaron dos veces para un total de 26 unidades experimentales. En la cosecha, 45 días después de la siembra, se midieron el número de hojas, la biomasa aérea de la planta y el peso fresco de rábano. En estos se hizo un análisis microbiológico y parasitológico para determinar el contenido de coliformes fecales, *E. coli* y huevos de helmintos por el método de Bailinger (1979) modificado (Cuadro 2). El análisis estadístico de datos se hizo mediante Anova empleando el software estadístico R.2.10

Resultados y discusión

Características de los biosólidos

Los análisis de suelos mostraron que el contenido de carbono orgánico era bajo (Cuadro 3), según las categorías definidas por Quintero (1993) para los suelos del valle geográfico del río Cauca. La composición química de los biosólidos deshidratados fue similar a la encontrada por Vieira *et al.* (2005), Bettiol y Camargo (2008) y Dynia *et al.* (2008) para biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Brasil, las cuales emplean en su mayoría sistemas de tratamiento aerobio en lagunas y tanques de aireación y los lodos son deshidratados y digeridos por vía anaerobia. La composición del biosólido secado de forma térmica fue

Cuadro 2. Variables medidas al cultivo y frecuencia

Variable	Unidad	Frecuencia	Método
Número de hojas	Número	Final del cultivo	Directo
Biomasa de la planta	Gramos	Final del cultivo	Gravimétrico
Peso del rábano	Gramos	Final del cultivo	Gravimétrico
Coliformes Fecales	UFC/g	Final del cultivo	Filtración por membrana
<i>E. coli</i>	UFC/g	Final del cultivo	Filtración por membrana
Huevos de Helmintos	HH/g	Final del cultivo	Bailinger, 1979 modificado

Cuadro 3. Caracterización inicial del suelo, biosólidos deshidratado, secado térmicamente y alcalinizado

Variable	Suelo	Tipo de biosólido			Valor referencia
		Deshidratado (BD)	Secado térmicamente (BDST)	Alcalinizado (BDA)	
pH	7.4	7.7	7.8	12.1	5.5-6.4 ^a
Humedad (%)	27.4	67.4	16.8	57.9	71.2-82.7 ^a
Carbono orgánico (g/kg)	6.8	243.1	257.4	218.2	201-382 ^a
N-Total, Kjeldahl (g/kg)	-	25.0	25.8	18.0	21.0-68.2 ^b
N-NH ₄ (mg/kg)	8.1	1824.7	1130.7	113.1	1403-10253 ^b
N-NO ₂ (mg/kg)	1.7	0.0	0	0	-
N-NO ₃ (mg/kg)	4.4	33.8	17.8	34.5	51-106 ^c
P-Total (mg/kg)	7.6	14.5	14.3	9.8	0.95-26.9 ^a
K (g/kg)	0.2	1.0	0.94	0.72	0.34-1.0 ^a
Ca (g/kg)	21.7	35.4	31.9	137.5	6.6-47.8 ^a
Mg (g/kg)	9.0	5.5	5.7	5.2	1.3-6.0 ^a
S-Total (g/kg)	27.4	17.6	13.8	11.5	-
Arsénico (ppm)	0.17	0.64	0.53	0.58	<1
Boro (ppm)	0.82	0.93	0.93	0.92	10.1-29.3
Cadmio (ppm)	<0.37	0.65	0.77	0.77	2.1-9.4
Manganeso (mg/kg)	21.1	386.2	378.2	270.1	232-425 ¹
Hierro (mg/kg)	0.2	36434.6	37168.5	34127.3	15730-37990
Cobre (ppm)	63	96.98	126.63	141.82	114-953
Zinc (mg/kg)	0.4	1068.3	1163.1	861.2	530-3372
Mercurio (ppm)	<0.025	1.07	0.77	0.72	0.01-1.8
Níquel (ppm)	44.26	42.84	48.57	57.21	25.3-605.8
Plata (ppm)	<0.50	3.8	3.32	2.95	-
Plomo (ppm)	3.58	28.07	34.9	31.55	60-349
Cromo (ppm)	65.75	43.99	63.03	62.58	53-1230
Coliformes totales UFC/g	1.0 x 10 ⁵	1.94x10 ^{7*}	1. x 10 ²	0	-
Coliformes fecales UFC/g	0	2.08x10 ^{6*}	0	0	<1 x 10 ^{3c}
<i>E. Coli</i> UFC/g	0	1.70x10 ^{6*}	0	0	-
Huevos de helmintos no./g	0	9	0	0	<1 ^d

^a. Bettioli y Camargo (2008), ^bDynia *et al.* (2008), ^cVieira *et al.* (2005), ^dEPA (2003) clase A.

similar a la encontrada por Smith y Durham (2002), Tarrasón *et al.* (2008) y Ramírez *et al.* (2008) quienes no observaron diferencias entre biosólidos secados de forma térmica o deshidratados. El tratamiento alcalino redujo el contenido de carbono orgánico y de nitrógeno amoniacal del biosólido, lo que indica que este tratamiento influye significativamente en estas propiedades y confirma los hallazgos de Czechowski y Marcinkowski (2006) quienes encontraron pérdidas de nitrógeno de 28% en relación con biosólidos deshidratados.

Los biosólidos evaluados en este estudio no presentaron limitaciones por el contenido de metales pesados, de acuerdo con las recomendaciones de la EPA (2003); no obstante, aunque por su contenido de microorganismos patógenos y parásitos, el biosólido deshidratado fue similar al obtenido por Guzmán y Campos (2004), Ramírez y Pérez (2006), Araque (2006) y Torres *et al.* (2009), este ma-

terial presenta restricciones para su uso ya que no cumple con los requerimientos de la EPA para biosólidos clases A y B. El secado térmico y el tratamiento alcalino garantizan la obtención de un biosólido clase A que puede ser utilizado en agricultura sin restricción de tipo microbiológico.

Características de las plantas

La aplicación de las diferentes dosis de biosólidos no influyó en el número de hojas, ni en el desarrollo del cultivo, cuando se comparó con el tratamiento control (Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por Ramírez y Pérez (2006) y Lopes (2008) quienes encontraron que la aplicación de biosólidos en dosis hasta de 294 t/ha no influyó en el desarrollo del cultivo de rábano rojo.

En la Figura 2 se observa el efecto favorable de la incorporación de los biosólidos en el suelo sobre el aumento de la biomasa

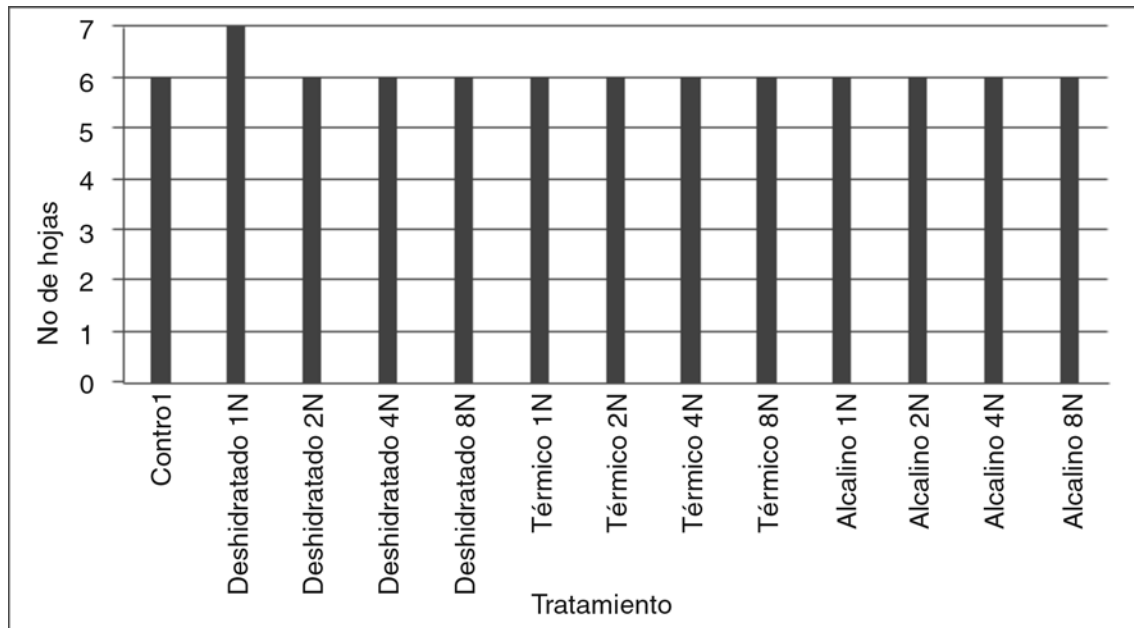


Figura 1. Número de hojas finales en cada tratamiento aplicado.

1N: Una vez el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 2N: Dos veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 4N: Cuatro veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 8N: Ocho veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

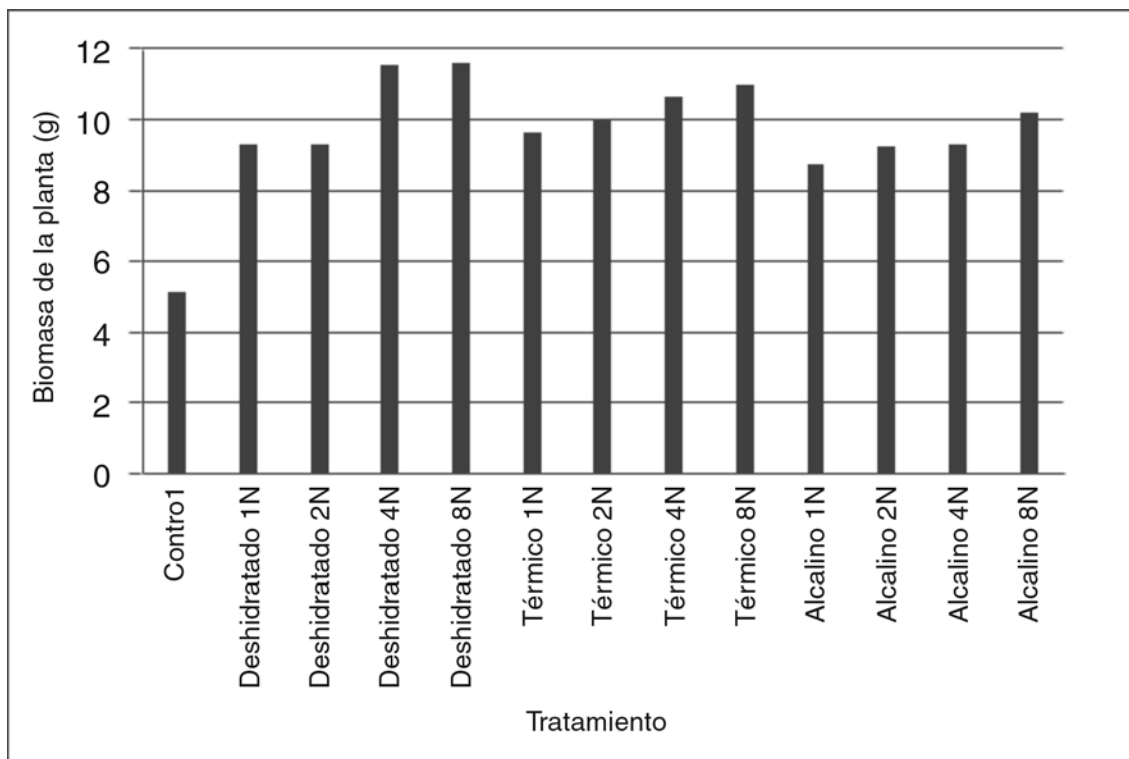


Figura 2. Biomasa total de las plantas de rábano.

1N: Una vez el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 2N: Dos veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 4N: Cuatro veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 8N: Ocho veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

total de la planta de rábano. A excepción del tratamiento control, los pesos de la biomasa de las plantas fueron similares en los demás tratamientos y variaron entre 8.8 y 11.6 g.

El peso fresco de los rábanos (Figura 3), al igual que la biomasa de la planta, fue afectado de forma favorable por la aplicación de biosólidos, no obstante en este caso se observaron diferencias entre tipos, presentando el menor efecto los alcalinizados y el mayor los secados térmicamente. Esta diferencia es debida a que el proceso de secado térmico incrementa el contenido de nitrógeno mineralizado en los biosólidos, lo que los convierte en una fuente efectiva y rápida de nitrógeno para las plantas (Rigby *et al.*, 2009). El análisis estadístico de los datos del peso del rábano mostró que no existe una diferencia significativa entre los biosólidos comparado con el control ($P = 0.249$). No obstante el peso

aumentó entre 40% y 150% para los rábanos en el biosólido deshidratado, entre un 92% y 109% en el biosólido secado térmicamente y entre 17% y 40% en el biosólido alcalinizado.

Presencia de patógenos

Los resultados en la Figura 4 muestran que la aplicación de biosólidos no influyó sobre la presencia de coliformes fecales y *E. coli* en rábano al final del cultivo; en el caso del biosólido deshidratado se encontró presencia de huevos de helmintos en el rábano, los cuales crecieron a medida que se incrementó la dosis aplicada, lo que aumenta el riesgo sobre la salud pública por el uso de este tipo de biosólidos, tal como lo demostró Gerba (1983) quien encontró que ciertos parásitos pueden sobrevivir por meses o años, lo cual depende de las condiciones climáticas y del suelo.

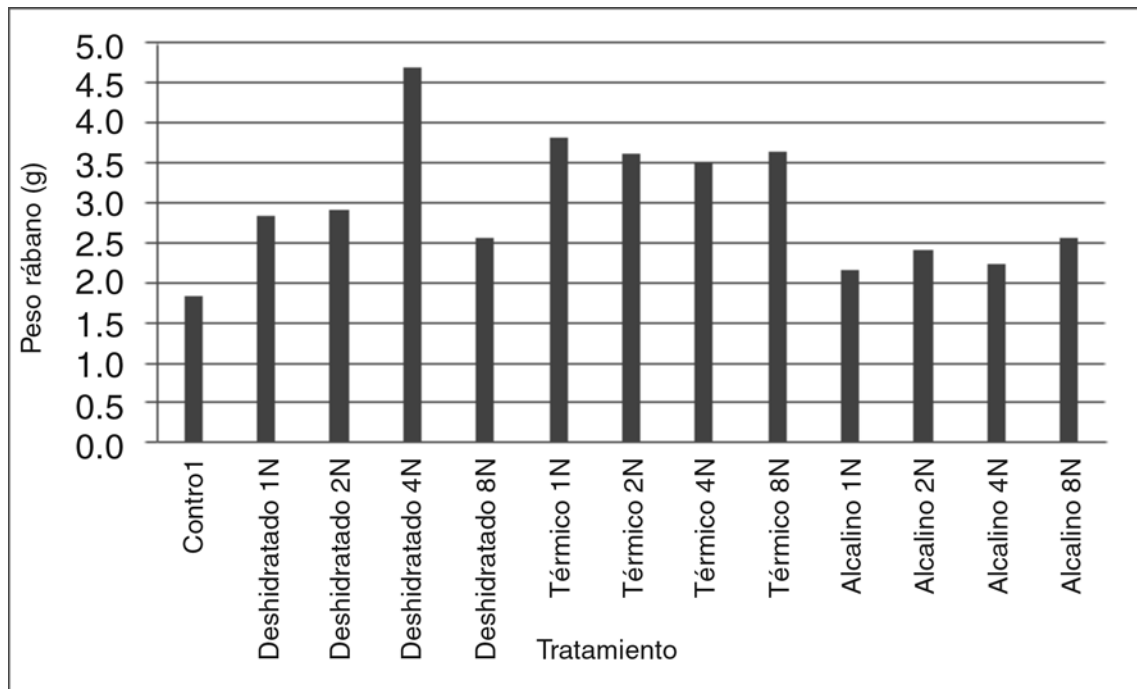


Figura 3. Peso de rábano en la cosecha

1N: Una vez el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

2N: Dos veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

4N: Cuatro veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

8N: Ocho veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

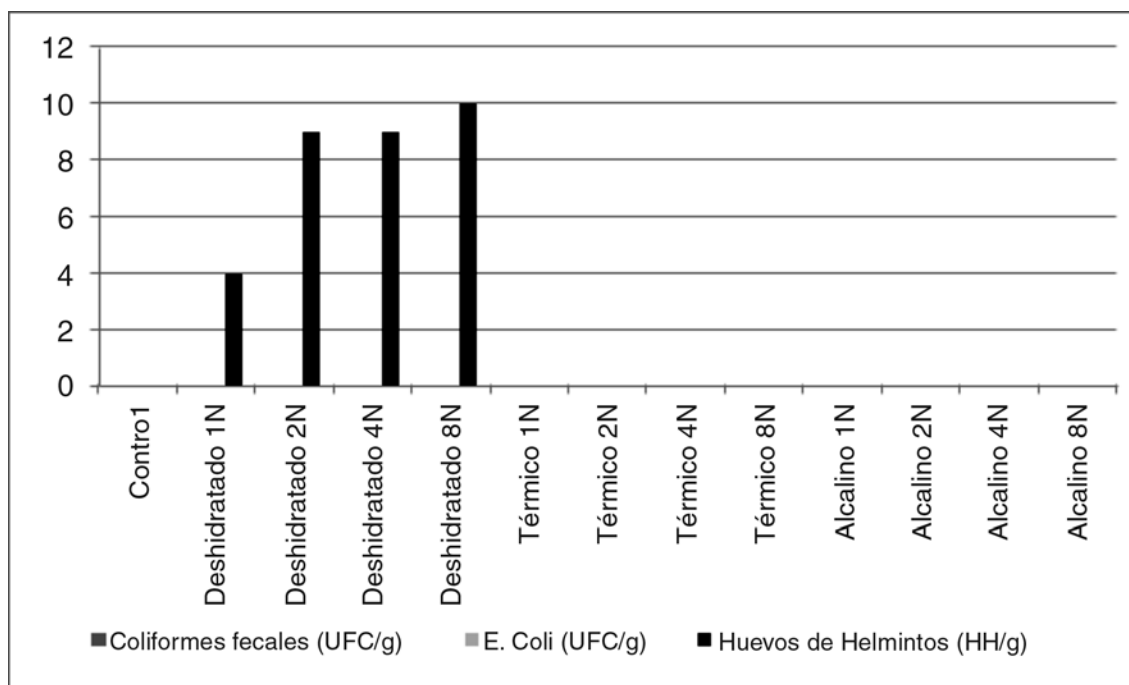


Figura 4. Resultados microbiológicos del rábano al final del cultivo
 1N: Una vez el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 2N: Dos veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 4N: Cuatro veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo
 8N: Ocho veces el requerimiento de nitrógeno por el cultivo

Conclusiones

- Los biosólidos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, Colombia, no presentaron restricciones fisico-químicas ni microbiológicas para el uso en cultivos agrícolas, con excepción del biosólido deshidratado, que presentó valores de coliformes fecales de 2.08×10^6 UFC/g y de huevos de helmintos de 9 HH/g que limitan su uso en la agricultura.
- La aplicación de los biosólidos en el suelo mejoró hasta 150% el peso de la parte aérea de la planta y del rábano con relación al tratamiento control.
- La aplicación del biosólido deshidratado aumentó el contenido de huevos de helmintos en el rábano, lo cual es un alto riesgo para la salud humana y confirma la necesidad de aplicar prácticas de higienización de los biosólidos antes de su aplicación en agricultura.

Referencias

- Almeida, G.; Fanhani, C. J.; D'Oliveiras, S. P.; y Dias-Filho, P. B. 2006. Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. *Iniciação Científica Cesumar* 08(1):95.
- APHA ; AWWA y WPPFC, 2005. Standard methods for the examination of waters and wastewaters. 21th edition.
- Araque, M. P. 2006. Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección del lodo generado en la PTAR El Salitre. Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Avery, L. A.; Williams, P.; Killham, K.; y Jones, D. 2009. Heat and lime-treatment as effective control methods for *E. coli* O157:H7 in organic wastes. *Bioresour Technol.* 100(10): 2692 - 2698.
- Bagge, E.; Sahlström, L.; y Albiñ, A. 2005. The effect of hygienic treatment on the microbial flora of biowaste at biogas plants. *Water Res.* 39(20):4879 - 4886.
- Bailinger, J. 1979. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. *J. Am. Med. Technol.* 41:65 - 71.

- Bettiol, W y Camargo, O. 2008. Lodo de esgoto impactos ambientais na agricultura. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA). 2ª. edición. 349p.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in Soil. *Soil Sci.* 59:39.
- Carbonell, J. A.; Osorio, M. C.; y Cortes, A. 2006. Levantamiento detallado de suelos en cifras. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar – Tecnicaña. Cali, Colombia.
- Castrejón, A.; Barrios, J. A.; Jiménez, B.; Maya, C.; Rodríguez, A. C.; y González, A. 2000. Evaluación de la calidad de lodos residuales de México. Instituto de Ingeniería. Grupo de Tratamiento y Reúso. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 14 p.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 1999. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação. Manual Técnico CETESB. 32 p.
- CHC (Cadena Hortofrutícola de Córdoba). 2012. Guía técnica para el cultivo de rábano o rabanito. Montería - Córdoba – Colombia. 6p.
- Czechowski, F. y Marcinkowski, T. 2006. Sewage sludge stabilisation with calcium hydroxide: Effect on physicochemical properties and molecular composition. *Water Res.* 40:1895.
- Chiba, K. M.; Mattiazzo, M. E.; y Oliveira, C. 2008a. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I. Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. *Rev. Bras. Ciên. Solo* 32:643 - 652.
- Chiba, K. M.; Mattiazzo, M. E.; y Oliveira, C. 2008b. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II. fertilidade do solo e nutrição da planta. *Rev. Bras. Ciên. Solo* 32:653 - 662.
- Comparini, J. B.; y Sobrinho, P. A. 2002. Decaimento de patógenos em biosólidos submetidos à secagem em estufa agrícola. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. AIDIS. Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud. FEMISCA. México, DF. 8p.
- Dynia, J. F.; Boeira, R. C.; y de Souza, M. D. 2008. Nitrate no perfil de um Latossolo vermelho distroférrico cultivado con milho sob aplicacoes sequencias de lodos de esgoto. En: Bettiol, W y Camargo, O. (eds.). Lodo de esgoto impactos ambientais na agricultura. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa). 2ª. edición. Cap. 5, p. 79 - 90.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2003. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503. Office of Water/Office Science and Technology Sludge/Risk Assessment Branch. Washington. 173 p.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1999. Biosolids generation, use and disposal in the United States. Office of Solid Waste. Estados Unidos. 57 p.
- Escobar, M. 2010. Efecto de la aplicación del biosólido de la PTAR de Río Frío (Floridablanca, Santander, Colombia), compostado o estabilizado con cal, en plantas de lechuga *Lactuca sativa*, Guadua *Bambusa guadua* y Saman *Pithecellobium saman*. Formulación y Desarrollo del Plan General de Ordenación Forestal del Área de Jurisdicción de la CDMB 6p.
- Evanylo, G., B.; Sukkariyah, M.; Anderson E.; y Zelazny, L. 2006. Bioavailability of heavy metals in biosolids-amended soil. *Com. Soil Sci. Plant Analysis*, 37(15 - 20):2157 - 2170.
- Fernandes, F. y de Souza, S. 2001. Estabilização de lodo de esgoto, en: Resíduos sólidos do saneamento; Processamento, reciclagem e disposição final. ABES y PROSAB. Brasil. Cap. 2:282.
- Ferraris, G.; Couretot, L.; y Toribio M. 2009. Perdidas de nitrógeno por volatilización e implicaciones en el rendimiento de maíz. *Inform. Agron.* 1(1):1 - 13.
- Franco-Hernández, O.; McKelligan-González, A. N.; López-Olguín, A. M.; Espinosa-Ceron, E; Escamilla-Silva, E.; y Dendooven, L. 2003. Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Biores. Technol.* 87(1):93 - 102.
- Gantzer, C. 2001. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Res.* 35(16):3763 - 3770.
- Gattie, D. K. y Lewis D. L. 2004. A high-level disinfection standard for land-applied sewage sludges (Biosolids). *Environ. Health Persp.* 112(2):126 - 131.
- Gerba, C.P. 1983. Pathogens. In: Utilization of wastewater and sludge on land. Page, A. L.; Gleason III; Smith, J. E. Iskandar, I. K.; y Sommers, L. E. Utilization of municipal wastewater and sludge on land. Proceedings of a workshop. . USEPA, ACOE, USDA, National Science foundation, University of California- Kearney foundation of soil science. University of California, Riverside. P147-187.
- Guimarães, J. C. 2007. Comportamento da cultura de cana-de-acucar (*Saccharum spp.*) cultivada com lodo de esgoto e vinhaça: estudo de metais pesados no solo-planta, produtividade e variáveis agroindustriais em Pontal- Região nordeste do Estado de São Paulo. Mestrado em Tecnologia Ambiental. Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo. 72p.

- Guzmán, C. y Campos, C. 2004. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. *Universitas Scientiarum* 9(1):59 - 67.
- Hoitink, H. A.; Moore, T. L.; Horst, L. E.; Krause, C. R.; Zondag, R. A.; y Mathers, H. 2003. Biological suppression of foliar diseases of ornamental plants with composted manures, biosolids, and *Trichoderma hamatum*. En: Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooste. Ornamental Plants Special Circ. 189:50 - 56.
- Kjeldahl, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in Organischen Korpern. *Z. Anal. Chem.* 22:366.
- Kiely, G. 1999. Ingeniería ambiental. Fundamentos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol I, II y III. España. Mac Graw Hill.
- Lang, L. y Stephen, R. 2008. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. *Water Res.* 42(8-9):229 - 2241.
- Lopes, M. A. 2008. Incorporação de lodo de esgoto e seus efeitos sobre alguns atributos do solo cultivado com rabanete. Posgraduação em Desenvolvimento em processis ambientais. Universidad Católica de Pernambuco.
- Pecson, B. M.; Barrios, J. A.; Jiménez, J. A. y Nelson, K. L. 2007. The effects of temperature, pH, and ammonia concentration on the inactivation of ascaris eggs in sewage sludge. *Water Res.* 41(13):2893 - 2902.
- Quintero, R. 1993. Interpretación del Análisis de Suelo y Recomendaciones de Fertilizantes para la Caña de Azúcar. Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia-CENICAÑA. Serie Técnica No. 14. 12p.
- Ramírez, W.A.; Domene, X.; Ortiz, O.; y Alcañiz, J. M. 2008. Toxic Effects of digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plants. *Biores. Technol.* 99(15):7168.
- Ramírez, R. P.; Velazquez, C. P.; y Acosta, B. E. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* (Gualanday) y en las condiciones físicas y químicas de un suelo degradado. *Medellín. Rev. Fac. Nal. Agron.* 60(1):3751 - 3770.
- Ramírez P y Pérez A. 2006. Evaluation of the potential for biosolids obtained from wastewater treatment for agricultural use and their effect on cultivation of red radish (*Raphanus sativus* L.). *Medellín. Rev. Fac. Nal. Agron.* 59(2):3543 - 3556.
- Rigby, H.; Perez-Viana, F.; Cass, J.; Rogers, M.; y Smith, S. R. 2009. The Influence of soil and biosolids type, and microbial immobilization on nitrogen availability in biosolids-amended agricultural soils. Implications for fertilizer recommendations. *Soil Use Managen.* 25:395.
- Smith, S. R. y Durham, E. 2002. Nitrogen Release and fertiliser value of thermally-dried biosolids. *J. Ciwem.* 16(2):121 - 126.
- Sidhu, J. y Toze, S. G. 2009. Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. *Environ. Int.* 35:187 - 201.
- Silva, J. A.; Torres, P.; y Cardoza, Y. 2013. Thermal drying and alkaline treatment of biosolids: Effects on nitrogen mineralization. *Clean Soil, Air, Water* 41(3):298 - 303.
- Sogaard, H. T.; Sommer, S. G.; Hutchings, N. J.; Huijsmans, J. F.; Bussink, D. W.; y F Nicholson. 2002. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry. The ALFAM model. *Atmospheric Environ.* 20 (7):3309 - 3319.
- Tarrasón, D.; Ojeda, G.; Ortiz, O.; y Alcañiz, J. M. 2008. Differences on nitrogen availability in a soil amended with fresh, composted and thermally-dried sewage sludge. *Biores. Technol.* 99(2):252.
- Torres, P.; Madera, C.; y Silva, J. A. 2009. Eliminación de patógenos en biosólidos por estabilización alcalina. *Acta agron.* 58(3):197 - 205.
- Torres, P.; Pérez, A. Escobar, J.; y Uribe, I. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Eng. Agric.* 27 (1): 267-275.
- USDA (United States Department of agriculture). 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service.
- USDA (United States Department of Agriculture), NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2004. Soil Survey Laboratory. Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42.
- Vieira, R. F., Maia, A. H. N.; y Teixeira, M. A. 2005. Inorganic nitrogen in a tropical soil with frequent amendments of sewage sludge. *Biol. Fert. Soils* 41:273 - 279.
- Vieira, R. F. 2004. Lodo de esgoto na agricultura: estudo de caso. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). *Bol. Pesq. e Desenv.* 18 p.
- Vieira, R. F. y Cardoso, A. A. 2003. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.* 38(7):867 - 874.
- Walkley, I. y Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff Method for determining organic carbon in Soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* (63): 251 -263.