

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Aprovechamiento de biosólidos y composta en el cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.)
<i>Autor / Adscripción</i>	Sofía E. Garrido Hoyos Instituto Mexicano de Tecnología del Agua María Guadalupe Martín del Campo Sánchez Guillermina Gómez Beltrán Centro Interamericano de Recursos del Agua, México Rocío Vaca Paulín Jorge Alberto Lugo de la Fuente Universidad Autónoma del Estado de México
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 20(4): 121-135
<i>Fecha de publicación</i>	2005
<i>Resumen</i>	La disposición final que se le puede dar a los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales municipales depende de sus características físico-químicas y microbiológicas. El contenido de materia orgánica y su riqueza en elementos esenciales puede permitir que dichos biosólidos sean usados como fertilizantes agrícolas. El objetivo de este estudio fue determinar la acumulación de metales pesados en el suelo y en el cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.), así como el valor nutrimental de la semilla de haba, acondicionados con biosólidos y composta provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales del altiplano mexicano.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/801

Aprovechamiento de biosólidos y composta en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.)

Sofía E. Garrido-Hoyos

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

María Guadalupe Martín del Campo-Sánchez
Guillermina Gómez-Beltrán

Centro Interamericano de Recursos del Agua, México

Rocío Vaca-Paulín
Jorge Alberto Lugo-de la Fuente

Universidad Autónoma del Estado de México

*La disposición final que se le puede dar a los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales municipales depende de sus características físico-químicas y microbiológicas. El contenido de materia orgánica y su riqueza en elementos esenciales puede permitir que dichos biosólidos sean usados como fertilizantes agrícolas. El objetivo de este estudio fue determinar la acumulación de metales pesados en el suelo y en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), así como el valor nutrimental de la semilla de haba, acondicionados con biosólidos y composta provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales del altiplano mexicano. Se trabajó con tres tratamientos: biosólidos, composta (aplicando una dosis de 4.5 t ha^{-1}) y un testigo. Los resultados fueron los siguientes: para el suelo enmendado con biosólidos, el pH fue ligeramente ácido (6.71); mientras la materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) no presentaron diferencias significativas; las concentraciones de Cr, Zn, Ni y Cu totales en suelo sí fueron diferentes ($p < 0.05$) respecto del testigo; no se detectó Cd ni Cr. En el caso del suelo enmendado con composta, el Cu fue el metal más abundante (15.31%), mientras que no se detectó Cd ni Cr. Las plantas presentaron un mayor crecimiento con biosólidos (112.22 cm) y composta (103.73 cm), y una mayor productividad en vaina verde y rendimiento en semilla, que el testigo, sobre todo en las parcelas que contenían biosólidos, cuya productividad fue tres veces mayor, comparado con el testigo. Con respecto a la semilla de haba, ambos tratamientos arrojaron valores muy similares en cuanto al contenido de cenizas, fibra, grasa, proteína, almidón y metales pesados (Cu, Ni y Zn); tampoco en la semilla se detectaron Cd ni Cr. Como conclusión, se comprobó que el uso de los biosólidos y composta estudiados en el cultivo de haba no implica un riesgo ambiental, lo cual permitiría una solución al problema de la disposición final de biosólidos en la región.*

Palabras clave: biosólidos, composta, metales pesados, suelo enmendado, valor nutrimental.

Introducción

El uso de biosólidos y composta en agricultura puede mejorar las características físicas de los suelos y, con ello,

su capacidad productiva, ya que permite la incorporación de materia orgánica y nutrientes. Sin embargo, el uso de grandes cantidades de ambos compuestos puede provocar problemas de tipo ambiental (Korentanjer, 1991);

NRC, 1996; Korboulewsky *et al.*, 2002; Binder *et al.*, 2002) como la lixiviación, a través del suelo, de contaminantes, esencialmente nitrógeno y fósforo (Nikolaidis *et al.*, 1999; Siddique *et al.*, 2000; Lu y O'Connor, 2001; Elliot *et al.*, 2002). Los biosólidos y la composta aumentan la capacidad de retención de agua por parte del suelo, disminuyendo la erosión del mismo; además, al mejorar la estructura y aumentar el contenido orgánico del mismo, hacen posible el cultivo de alimentos en suelos con alto contenido de arcilla (Scott y Alhstrom, 1985). Thorne *et al.* (1998) sembraron vegetación sobre los escombros de una mina después de colocar biosólidos como estrato para reestablecer los nutrientes y microorganismos asociados con el desarrollo del suelo, y así crearon un sustrato que mantuvo la vegetación nativa de la zona. Brofas *et al.* (2000) utilizaron biosólidos como fertilizante para recuperar el suelo de una mina de bauxita calcárea y observaron que la concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo aumentaba, lo que derivó en un incremento del 35% en la capacidad de retención de agua.

Por otra parte, los biosólidos y la composta proveen a las plantas nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, calcio y potasio (Oberhaster, 1991), y trazas de nutrientes menores, indispensables para el crecimiento de las plantas, como boro, cobre, hierro, magnesio, níquel y zinc. No obstante, estos elementos, además del cadmio y cromo, en elevadas concentraciones pueden ser tóxicos para la planta y ocasionar una disminución en la productividad o rendimiento de la misma. Más aún, en algunas ocasiones se pueden producir síntomas que son menos pronunciados o parecen estar ausentes, pero en el interior de las células varios procesos se ven afectados debido al incremento local de la concentración de dichos elementos, lo que genera estrés en la planta (Ernest, 1993; Vangronsveld y Clijster, 1994). Los contenidos de fibra, grasa, proteína y almidón en la planta pueden ser modificados al incrementar el contenido de metales pesados.

El cultivo de haba (*Vicia faba L.*) en los países latinoamericanos tiene una gran importancia económica y nutricional. México es uno de los países en el mundo con mayor área cultivada. Se ha reportado como promedio nacional un rendimiento de haba verde de 4.70 Mg ha⁻¹, haba en grano de 0.90 Mg ha⁻¹ y una producción de 3,983 Mg para el año 1990 (SARH, 1990).

El objetivo de este estudio fue determinar la acumulación de metales pesados en el suelo y en cultivo de haba, así como el valor nutricional de la semilla de haba, acondicionados con biosólidos y composta provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales del altiplano mexicano.

Material y métodos

Descripción de la zona de estudio

El sitio de estudio se localiza en un área agrícola del municipio de Toluca, Estado de México, en la región central del país. El suelo es tipo Feozem (FAO-UNESCO, 1990) y tiene una textura migajón arcillosa, con alto contenido en materia orgánica (>5%) y una relación baja de C/N, con un valor medio en torno a nueve. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), el clima correspondiente al municipio de Toluca es tipo C(w₂)(w), definido como templado subhúmedo, con lluvias en verano, una temperatura media anual de 12.7° C y una precipitación media anual de 791.6 milímetros.

Descripción del cultivo

Se eligió como cultivo de temporal la leguminosa haba (*Vicia Faba L.*), la cual tiene una baja absorción de elementos tóxicos. La siembra se llevó a cabo en mayo del 2000 y la cosecha se recogió en septiembre. El periodo de maduración de este cultivo es de noventa a 220 días. La obtención de altos rendimientos en el cultivo de haba requiere un régimen de lluvias comprendido entre 650 y 1,000 mm año⁻¹, suelos profundos, fértiles y bien drenados, con un pH que oscile entre seis y siete, y suficientes reservas de materia orgánica. Los requerimientos nutritivos varían considerablemente de acuerdo con los tipos de suelo, pero debe haber una cantidad adecuada de potasio (Kay, 1979).

Biosólidos y composta

Los biosólidos con que se acondicionó el suelo y se llevó a cabo el compostaje se obtuvieron de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales Toluca Oriente. Se concentran en espesadores de banda, se estabilizan por digestión aerobia y se secan en filtros banda. Los biosólidos, como la composta, cumplieron con los límites máximos establecidos de contaminantes para su aprovechamiento y disposición por la Norma Oficial Mexicana (NOM-004-SEMARNAT-2002) y con el CRETIB, de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-1993.

El tiempo de composteo fue de ocho semanas, aproximadamente, incluyendo las siguientes etapas:

Homogenización: el lodo fue mezclado con materiales acondicionadores: rastrojo de maíz (como fuente de carbono) y pedacería de llanta (como agente de abultamiento) (Garrido *et al.*, 2002). Éstos, en general, proveen energía, absorben la humedad (incrementan el

contenido de sólidos), proveen integridad estructural y generan espacios vacíos, con lo que se obtiene la porosidad necesaria para permitir tanto la aireación como la ventilación del sistema (Kuhlman, 1990). Todo ello arroja una relación N/C de 30-40.

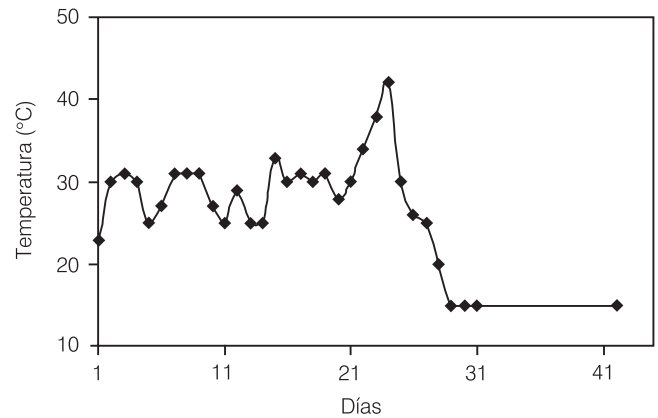
Construcción de la pila de composteo: el lodo acondicionado se depositó sobre una cama de malla metálica (30 cm de altura) y una capa de viruta, formando una pila de sección triangular de 1.5 m de diámetro en la base, 0.15 m de altura y superficie de 4 m², que se cubrió con una capa de 0.2 m³ de aserrín y 0.4 m³ de paja para evitar malos olores e influencia del viento. La aireación consistió en ventilación natural y volteos de la pila cada tercer día (ilustración 1).

Digestión aerobia termofílica: la materia orgánica fue degradada por microorganismos termófilos y se observó una variación de la temperatura de 15 a 42° C. Debido a las lluvias y a la baja temperatura que se presentaron durante los días en que se realizó la composta (ilustración 1), ésta no logró estabilizarse durante cinco días a 40° C, como lo marca la norma 40 CFR-257 publicada por la EPA (1985). Sin embargo, el NMP g⁻¹ en base seca de coliformes totales y fecales fue de 40,000 y <3,000, respectivamente, con lo cual la composta se clasificó como clase "C", según la NOM-004-SEMARNAT-2002. En esta clasificación, la composta es apta para usos agrícolas.

Curado: la duración fue de 21 días, con lo que se aseguró la completa estabilización de la composta y remoción de olores.

Separación del material: se realizó la separación del material acondicionador para obtener un producto homogéneo.

Ilustración 1. Evolución de la temperatura en el proceso de composteo (digestión aerobia termofílica y curado).



Muestreo

El muestreo para los biosólidos y composta se realizó según la metodología de la EPA (1985), tomando tres kilos de muestra de biosólido prensado durante siete días de operación de la macroplanta para formar una muestra compuesta con su respectiva repetición. La muestra de composta se tomó para su análisis antes de ser aplicada a las parcelas. Los biosólidos se colocaron en bolsas de polietileno, se secaron al aire y a la sombra, mezclándose para formar una muestra compuesta. Posteriormente, se cuartearon y molieron finamente, y se tamizaron en una malla de 2 mm para los análisis físicos, químicos y microbiológicos. Las muestras recogidas se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en el frigorífico (4° C) hasta su análisis.

Foto 1. Etapas del proceso de composteo: homogenización, construcción de la pila estática, digestión aerobia termofílica, curado y separación del material.



Análisis

Los análisis de los biosólidos y composta se realizaron por triplicado y permitieron determinar los siguientes parámetros: pH 1:2.5 agua destilada (Jackson, 1982); materia orgánica, por diferencia de peso por el método de Walkey y Black modificado por Jackson (1982), capacidad de intercambio catiónico (Jackson, 1982); nitrógeno total, método Kjeldahl (Bremmer, 1996); fósforo disponible, método de Olsen (Jackson, 1982) y conductividad eléctrica (CE) (Porta *et al.*, 1999). Las concentraciones de los cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K) se obtuvieron por el método del acetato de amonio (Chapman, 1973); los metales pesados totales (Cd, Cr, Cu, Ni y Zn), por el método 3050 de la EPA (1988), el cual consiste en pesar 0.5 g de muestra, añadir 10 ml de HNO₃ concentrado y llevar a digestión en microondas durante diez minutos. La cuantificación de los cationes intercambiables y de los metales pesados se realizó por espectrofotometría de absorción atómica utilizando un equipo *Varian Spectronic 20D*. Los metales disponibles se determinaron según Lindsay y Norvell (1978); se pesaron 10 g de muestra, se adicionaron 20 ml de DTPA (ácido dietilentriamino pentacético) 0.05 M y se agitó durante dos horas a 180 rpm; la cuantificación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un equipo *Varian Spectronic 20D*.

La determinación de coliformes fecales y totales se hizo por el método de fermentación en tubo múltiple (NMP) (APHA, AWWA y WRCF, 1995) y la de huevos de helminto, según NMX-AA-113-SCFI/1999.

En el cuadro 1 se muestran las características físico-químicas de los biosólidos y la composta, y en el cuadro 2, la concentración de metales pesados totales y disponibles.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de biosólidos y composta.

Parámetro	Biosólidos	Composta
Físicos		
Humedad, %	80.91	56.65
Conductividad eléctrica, S m ⁻¹	0.37	0.68
Químicos		
pH H ₂ O (1:2.5)	6.27	7.37
pH KCl 1N (1:5)	6.20	7.12
Materia orgánica, %	53.65	49.24
N total, mg kg ⁻¹	63,600	50,200
P disponible, mg kg ⁻¹	4,100	5,700
C/N	4.69	5.45
C.I.C., cmol _c kg ⁻¹	75.60	61.31
Ca, cmol _c kg ⁻¹	19.03	10.22
Mg, cmol _c kg ⁻¹	29.18	6.94
Na, cmol _c kg ⁻¹	4.43	6.09
K, cmol _c kg ⁻¹	10.58	19.18

Suelo

Muestreo

Una vez establecida el área del terreno, y tras determinar el tamaño de las parcelas en 6 m² y las calles de separación en 1 m, se realizó un muestreo aleatorio, ya que es un terreno homogéneo, de acuerdo con diversos estudios llevados a cabo en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) (Gómez, 1998; Vaca *et al.*, 2000; Albino, 2000), los cuales mostraron que no hay diferencias significativas en las características físicas y químicas del terreno. Se tomaron tres muestras aleatorias en el área de estudio del horizonte Ap (capa arable, que son los primeros 30 cm de profundidad) para evaluar las condiciones

Cuadro 2. Concentración de metales pesados totales y disponibles en biosólidos y composta.

Metal	Biosólidos		Composta		México, (NOM-004-SEMARNAT-2002)
	Total	Disponible	Total	Disponible	
mg kg ⁻¹ , ps					
Cadmio	3.75	0.8	3.5	1.38	39-85
Cobre	169.6	40.05	148.05	123.88	1,500-4,300
Cromo	49.2	ND	31.0	ND	1,200-3,000
Níquel	38.1	19.09	33.7	22.19	420
Zinc	583.3	66.22	544.75	66.20	2,800-7,500

iniciales del terreno. Después de la cosecha se tomaron dos muestras del horizonte Ap de cada parcela para formar una muestra compuesta, dando un total de nueve muestras. Las muestras recogidas se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en el frigorífico (4° C) hasta su análisis.

Análisis

Los análisis se realizaron por triplicado y permitieron determinar los siguientes parámetros: pH, CE, CIC, nitrógeno total, MO, cationes intercambiables, metales totales y disponibles, según los métodos descritos para el caso de los biosólidos y composta; textura, método de Bouyoucos (1963); fósforo disponible, método de Bray I (Bray, 1966).

El cuadro 3 muestra las características químicas y físicas del suelo testigo, del suelo acondicionado con biosólidos y del suelo acondicionado con composta.

Planta de haba

Muestreo

Las vainas verdes de las parcelas se recogieron y guardaron en bolsas de polietileno con su respectiva identificación. Una vez en el laboratorio, las vainas se pesaron para determinar la productividad, es decir, cuántos kilos se obtuvieron por parcela y cuántos por tratamiento, para después extrapolar los resultados a Mg ha⁻¹. Luego de determinar la productividad, las vainas fueron retiradas para obtener la semilla y así determinar el rendimiento de la semilla de haba, el cual se obtuvo pesando las semillas de cada parcela y extrapolar los resultados a Mg ha⁻¹. Para la determinación nutrimental, se tomaron dos muestras de las semillas de cada parcela; nueve muestras en total. Se secaron las semillas de haba a una temperatura de 55° C durante 24 horas. Posteriormente, se molieron en un mortero y después, finalmente, con un molino.

Cuadro 3. Características físicas y químicas del suelo.

Parámetros	T [†]	B [‡]	C [§]
Físicos			
Textura del suelo, g kg ⁻¹			
Arena	424.0	447.0	444.0
Limo	272.0	249.7	264.0
Arcilla	304.0	303.0	292.0
Clasificación			
Migajón-arcillosa			
Conductividad eléctrica (S m ⁻¹)	0.38	0.33	0.36
Químicos			
pH H ₂ O (1:2.5)	7.18 ^a	6.71 ^b	7.33 ^a
pH KCl (1:5)	6.55 ^a	6.11 ^b	6.41 ^a
MO, %	5.22 ^a	5.39 ^a	5.45 ^a
N total, mg kg ⁻¹	3,000	2,800	2,800
Fósforo disponible, mg kg ⁻¹	57.14 ^a	106.9 ^b	123.2 ^b
C/N	10.10	11.18	11.28
CIC, cmol _c kg ⁻¹	30.58	30.38	30.48
Calcio, cmol _c kg ⁻¹	18.21 ^a	17.78 ^b	18.10 ^a
Magnesio, cmol _c kg ⁻¹	9.91	10.73	9.51
Sodio, cmol _c kg ⁻¹	0.86	0.79	0.82
Potasio, cmol _c kg ⁻¹	0.49	0.53	0.51
Coliformes totales NMP g ⁻¹	5,480	3,074	3,566
Coliformes fecales NMP g ⁻¹	<300	2,200	1,190

[†]Suelo sin tratamiento.

[‡]Suelo acondicionado con biosólidos prensados.

[§]Suelo acondicionado con composta.

NOTA: Letras diferentes (a y b) denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Los parámetros que no presentan letras, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$).

Análisis

Para evaluar la calidad nutrimental, se realizaron los siguientes análisis por triplicado: porcentaje de humedad y cenizas, fibra cruda por el método de detergente ácido (Bateman, 1970), grasa por el método Goldfish (NOM-F-90-S-1978), nitrógeno y proteína por el método de Kjeldahl (Bateman, 1970), almidón por el método DNS (AOAC, 1990) y metales pesados, según el método de Van Loon (1998), que consiste en llevar a cabo una digestión en microondas durante veinte minutos, tras pesar 0.5 g de muestra, añadirle 5 ml HNO_3 y aforar a 50 ml. La cuantificación se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica, con un equipo *Varian Spectronic 20D*.

Se determinó la altura de la planta (desde la base al ápice más alto del tallo principal), la productividad y el rendimiento de la cosecha.

Análisis estadístico de los datos

Diseño experimental

El trabajo experimental se llevó a cabo en las inmediaciones de la macroplanta Toluca Oriente, donde se definieron nueve parcelas de 2 x 3 m, distribuidas en cuadrado latino; tres parcelas eran testigo (sin acondicionar), otras tres fueron acondicionadas con 4.5 Mg ha^{-1} de biosólidos en base seca —dosis recomendada para el suelo analizado en un periodo de cincuenta años, de acuerdo con estudios realizados por Gómez (1998) basados en la fórmula de la Comunidad Económica Europea (Lester, 1987; Ortiz, 1994)— y a las tres restantes se les aplicó composta a la misma dosis. Todas separadas entre ellas por 1 m (tres tratamientos repetidos tres veces). Los biosólidos y composta se aplicaron en mayo del 2000 y se incorporaron al suelo de forma manual (15 cm de profundidad).

Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para comparar las medias de los diferentes tratamientos, además de correlaciones simples y múltiples para determinar posibles dependencias entre las características del suelo enmendado con biosólidos y composta, con la calidad nutrimental del haba. Los resultados se analizaron con un nivel de confianza del 95%.

Resultados y discusión

Biosólidos y composta

Como se muestra en el cuadro 1, la humedad disminuyó en el composteo debido a la temperatura

alcanzada y a que el metabolismo microbiano requiere importantes cantidades de agua (ilustración 1). El pH se incrementó en una unidad aproximadamente debido a la mineralización de la materia orgánica y a la producción de NH_3 , el cual está en el rango de 6-8, recomendado por el TCCA, 1993. La conductividad presentó un aumento del 45.59% en el composteo, atribuido esto al incremento de concentración de 27.26 y 44.83% de los cationes sodio y potasio. Hay que tener en cuenta que una conductividad $>0.4 \text{ S m}^{-1}$ restringe el crecimiento de las plantas, pues provoca altas presiones osmóticas en las raíces de las mismas (Ortiz, 1994). La relación C/N en los biosólidos y composta fue de 4.69 y 5.45, respectivamente, relativamente bajo en comparación con el rango óptimo, que es de 10-16 (Carmona *et al.*, 1994), debido a que los biosólidos y la composta tenían un contenido de nitrógeno alto. El contenido de materia orgánica, Ca y Mg (8.22, 46.29 y 76.22%, respectivamente) disminuyó en el composteo por la acción de los microorganismos degradadores de la materia orgánica, los cuales la mineralizan y disponen de algunos iones, incluyendo metales pesados. Por otro lado, el fósforo se incrementó 28.07% después del composteo, y el potasio un 44.83%. Darmony *et al.* (1983) mencionan que el composteo incrementa los valores de estos elementos por la mineralización a la que son sujetos durante el proceso.

Los valores de los metales pesados totales (cuadro 2) disminuyeron con el composteo. Xin-Tao *et al.* (1992) mencionan que en estudios realizados con lodos composteados, encontraron una menor concentración de metales pesados que en los biosólidos, no obstante que su disponibilidad se incrementaba. Esto se observa en el caso del cobre, en que hay un aumento del 83%. El composteo incrementa la disponibilidad de los metales, como Cd y Cu, ya que la actividad microbiana contribuye a la pérdida de sitios de intercambio, como los de la materia orgánica, durante la descomposición de ésta. De hecho, tanto el Zn como el Cu pueden ser móviles en el composteo por la correlación directa que tienen ambos metales con el carbono orgánico (Darmony *et al.*, 1983).

Suelo acondicionado con biosólidos y composta

El suelo testigo y el acondicionado con composta presentaron un pH ligeramente básico, 7.18 y 7.33 (cuadro 3), respectivamente, mientras que el pH del suelo acondicionado con biosólidos fue de 6.71, es decir, ligeramente ácido; las diferencias son significativas ($p < 0.05$). Esta ligera disminución de pH puede deberse a la formación de ácidos orgánicos,

producto de la adición de materia orgánica al suelo sin haber pasado por un proceso de mineralización, como en el caso de los biosólidos. El porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en el suelo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos.

Respecto de los cationes intercambiables, se observa que aunque se añadió calcio mediante los biosólidos, se presentó una concentración de 17.78 cmol_c kg⁻¹, significativamente menor ($p < 0.05$), comparada con el testigo (18.21 cmol_c kg⁻¹) y el suelo acondicionado con composta (18.10 cmol_c kg⁻¹) (cuadro 3). El magnesio, sodio y potasio no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$), por lo tanto, tampoco en la actividad.

A pesar de que los biosólidos se consideran un excelente medio para reponer el nitrógeno que el suelo pierde al ser cultivado, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). La relación C/N es mayor con el tratamiento biosólidos-composta que con los demás tratamientos. Esto sugiere que el suelo tiene un buen nivel de fertilidad, ya que de acuerdo con Tisdale y Nelson (1992), una relación C/N mayor de 15 puede producir inmovilización del N (Castellanos et al., 2000).

El suelo testigo presentó menores concentraciones de fósforo (57.14 mg kg⁻¹), en comparación con el suelo tratado con biosólidos (106.9 mg kg⁻¹) y el tratado con composta (123.2 mg kg⁻¹), lo que significa un incremento del 43 y 53%, respectivamente (cuadro 3), con diferencias significativas entre los tratamientos. El acondicionamiento con composta presentó una mayor concentración de fósforo disponible, ya que la adición de composta en el suelo incrementa los niveles de este nutriente (Darmony et al., 1983). James y Aschmann (1992) encontraron que la aplicación de composta al suelo aumenta hasta cuarenta veces el fósforo

disponible, en relación con el acondicionamiento con biosólidos.

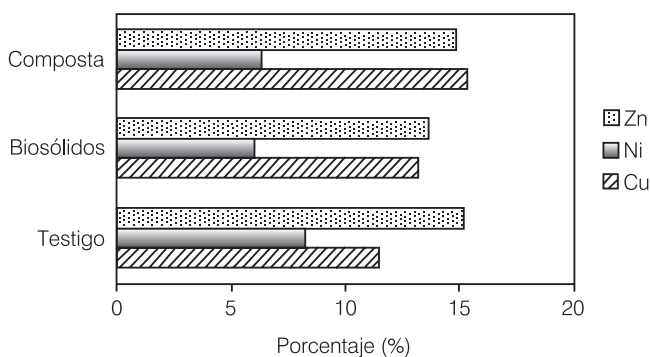
La concentración de arena, limo y arcilla se presenta en el cuadro 3; es evidente que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos. De acuerdo con la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el suelo resultante es de una textura migajón arcillosa (Porta et al., 1999).

La concentración de metales pesados totales en el suelo presentó la siguiente secuencia: Zn > Ni > Cu > Cr; no se detectó Cd. Para los metales pesados disponibles, la secuencia fue Zn > Cu > Ni > Cr = Cd (cuadro 4).

En la ilustración 2 se muestra el porcentaje de disponibilidad de metales pesados en suelo.

El suelo testigo presentó la más baja concentración de Cr total (cuadro 4), ya que con la aplicación de biosólidos, la cantidad de Cr se incrementó casi dos veces, por lo que se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el suelo testigo y los dos tratamientos. Aun así, no se detectó Cr disponible. El suelo testigo y el enmendado con composta presentaron las menores concentraciones de Cu (cuadro 4), significativamente

Ilustración 2. Porcentaje de disponibilidad de metales pesados en suelo.



Cuadro 4. Concentración total y disponible de metales pesados en suelo.

	Cr			Cu			Ni			Zn		
	T [†]	B [‡]	C [§]	T [†]	B [‡]	C [§]	T [†]	B [‡]	C [§]	T [†]	B [‡]	C [§]
mg kg ⁻¹ , ps												
Total	4.43 ^a	8.82 ^b	7.51 ^b	11.52 ^a	14.53 ^b	11.11 ^a	13.43 ^a	23.38 ^c	20.02 ^b	46.09 ^a	58.38 ^b	52.44
Disponible	ND	ND	ND	1.33 ^a	1.93 ^b	1.71 ^a	1.11 ^a	1.40 ^b	1.27 ^b	7.03 ^a	8.00 ^b	7.81 ^b
SD, total	1.19	1.59	1.18	1.71	1.35	1.29	3.76	2.25	2.43	6.08	5.26	6.82
SD, disponible	-	-	-	0.36	0.24	0.23	0.20	0.21	0.15	1.03	0.41	0.07

[†]Suelo sin tratamiento.

[‡]Suelo acondicionado con biosólidos prensados.

[§]Suelo acondicionado con composta.

ps: peso seco.

ND: no detectado.

SD: desviación estándar para n=3.

NOTA: Letras diferentes (a, b y c) denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Los parámetros que no presentan letras, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$).

distintas al tratamiento de biosólidos. El Cu tiene baja movilidad, porque forma enlaces estables con la materia orgánica, lo que disminuye la disponibilidad (Zhu y Alva, 1993).

La concentración total de Ni fue de 13.43 mg kg⁻¹ para el suelo testigo, y 23.38 y 20.02 mg kg⁻¹ para el suelo tratado con biosólidos y composta, respectivamente, con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre éstos. Lo mismo sucede con el Ni disponible, el cual tuvo una mayor concentración tras la aplicación de biosólidos. Sin embargo, el porcentaje de disponibilidad, comparado con el Ni total es muy bajo. Kabata y Pendias (2001) afirman que el alto contenido de materia orgánica en los lodos residuales puede disminuir la disponibilidad de este metal hacia las plantas.

El contenido de Zn presentó una mayor concentración en el suelo acondicionado con biosólidos (58.38 mg kg⁻¹) que en el tratado con composta (52.44 mg kg⁻¹); ambos fueron significativamente distintos ($p < 0.05$) del testigo (cuadro 4). Las concentraciones de Zn total y disponible presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el testigo y los tratamientos. La disponibilidad del Zn corresponde a una séptima parte de la concentración total. Es importante considerar que las altas concentraciones de Zn en los biosólidos pueden incrementar las concentraciones en el suelo, y en altas dosis compite con otros nutrientes, como hierro y manganeso, lo que genera un desequilibrio nutrimental (Otte y White, 1993). Se pone especial atención en este metal porque los biosólidos aplicados al suelo presentan altas concentraciones del mismo, las cuales pueden estar a disposición de las plantas. Sin embargo, un factor que ayuda a disminuir los efectos es la materia orgánica, ya que se forman complejos estables con este elemento, lo que disminuye la disponibilidad del metal (Cripps *et al.*, 1992). El Zn presentó una correlación negativa ($r = -0.91$, $p < 0.05$) con el Cu, lo cual sugiere que la absorción de ambos metales sigue el mismo

mecanismo y que compiten entre sí (Kabata y Pendias, 2001). Las concentraciones de metales pesados no rebasaron los límites permisibles para fines agrícolas (cuadro 5), de acuerdo con Alloway (1990), Bohn (1993) y Kabata y Pendias (1995).

Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo con la finalidad de detectar algunos organismos indicadores de contaminación fecal (coliformes totales y fecales). Los resultados muestran variaciones entre los tratamientos (cuadro 3), lo cual denota que la aplicación de biosólidos no alteró la concentración de coliformes que se encuentran de manera natural en el suelo, debido a la competencia existente entre los microorganismos; además de que, al estar expuestos a las condiciones ambientales antes de cultivar el suelo, los biosólidos pueden presentar una disminución de la población de microorganismos patógenos (Ortiz, 1994). Cabe destacar que en los biosólidos no se detectaron huevos de helminto.

Piatkin (1986) menciona que la mayoría de los microorganismos diseminados en el suelo por contaminación, fertilización y laboreo no forman esporas, por lo que persisten en el suelo poco tiempo. Así entonces, el suelo es un medio desfavorable para la mayoría de las especies patógenas.

Efecto de los biosólidos y composta en la planta

Productividad y rendimiento

Con respecto a la productividad y el rendimiento, las plantas acondicionadas con biosólidos y composta fueron más grandes, verdes y de mejor follaje, sobre todo las plantas del tratamiento con biosólidos. Las diferencias son significativas ($p < 0.05$). De hecho, las plantas que primero florecieron y dieron frutos fueron las de las parcelas acondicionadas con biosólidos, con una altura desde la base al ápice más alto del tallo

Cuadro 5. Concentraciones máximas permisibles de metales pesados totales en biosólidos para uso en agricultura.

Metal	E.U. (Page <i>et al.</i> , 1983)	U.E. Lester (1987)	Alloway (1990)	Bohn <i>et al.</i> (1993)	Kabata y Pendias (1995)
mg kg⁻¹, ps					
Cadmio	50	20	0.01-2.4	0.01-7	3-5
Cobre	800-1,000	1,000	2-250	2-100	50-120
Cromo	1,000	750	5-1,500	5-1,000	50-125
Níquel	100-200	300	2-1,000	10-1,000	20-100
Zinc	2,000-2,500	2,500	10-300	10-300	70-400

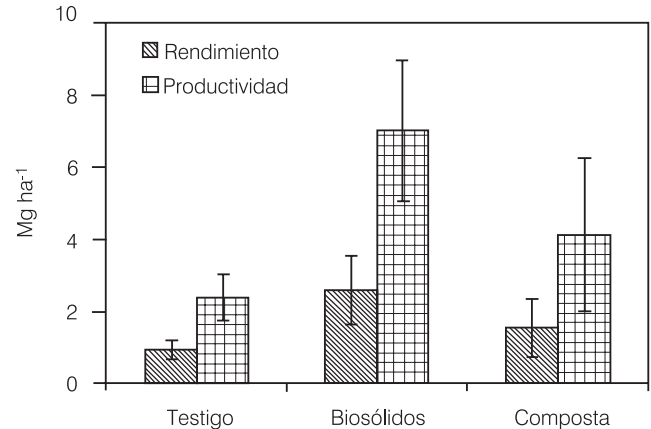
ps: peso seco.

principal de 112.22 cm; para el suelo acondicionado con composta, de 103.73 cm y, para el suelo testigo, de 94.62 centímetros.

La ilustración 3 muestra que en el suelo acondicionado con biosólidos se obtuvo una productividad de 7 Mg ha⁻¹ y un rendimiento de 2.58 Mg ha⁻¹, casi tres veces más que el suelo testigo (productividad de 2.39 Mg ha⁻¹ y rendimiento de 0.93 Mg ha⁻¹). Asimismo, el suelo acondicionado con composta presentó una productividad de 4.08 t ha⁻¹ y un rendimiento de 2.58 Mg ha⁻¹, casi dos veces más que el suelo testigo. Estos resultados demuestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la productividad y rendimiento entre los tratamientos, lo cual se puede atribuir a los beneficios nutrimentales que aportan los biosólidos. Sin embargo, cabe señalar que debido a las lluvias constantes, la cosecha se recogió entre veinte y treinta días antes de tiempo, por lo que la productividad no es proporcional al rendimiento y posiblemente se hubiera obtenido una mayor cantidad de semillas durante la cosecha de no haberse adelantado ésta. Cuadros (1989) encontró que un retraso en la fecha de siembra del haba significaba rendimientos menores hasta en un 80%, debido a las condiciones inadecuadas de humedad y temperatura. Es importante que la época de lluvias esté bien establecida y no se presenten granizadas, pues pueden ocasionar la pérdida de la flor de la planta, lo cual influye considerablemente en el peso y calidad de la semilla y, por lo tanto, en el rendimiento del producto.

Aunque el rendimiento obtenido fue menor al esperado y se hace una comparación con la productividad y rendimiento de 1990, en el Estado de

Ilustración 3. Productividad y rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba L.*).



México, de 5.45 y 1.58 Mg ha⁻¹, respectivamente, y de 1995, de 3.84 hasta 5.11 Mg ha⁻¹ en productividad y 0.8 Mg ha⁻¹ en rendimiento de haba verde (SARH, 1990; Sagar, 1995; INEGI, 1999), la producción y rendimiento obtenidos en este trabajo fueron favorables (foto 2).

Análisis químicos

Metales pesados en la semilla de haba

La presencia de metales pesados totales en biosólidos puede tener efectos tóxicos sobre cultivos, como favorecer la marchitez o disminuir la producción. Por ello, los metales pesados son un factor limitante para emplear biosólidos en tierras de cultivo (Logan *et al.*,

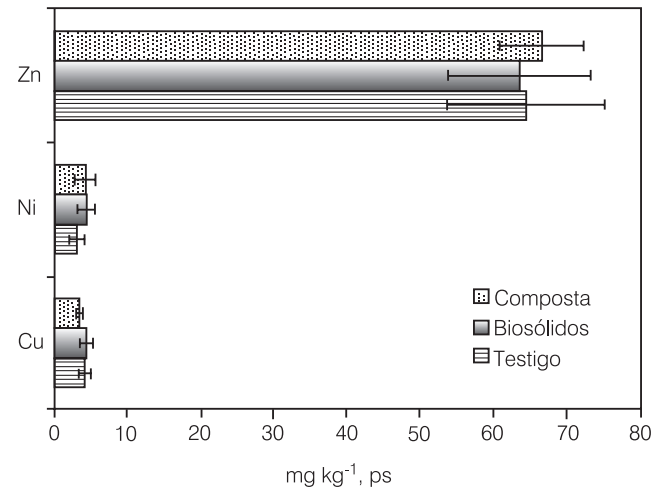
Foto 2. Cultivo de haba suelo sin acondicionar y suelo acondicionado con biosólidos.



1987). En este estudio, la concentración de metales pesados totales en la semilla no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos. En la ilustración 4 se muestra que la concentración de Cu es mayor en la semilla tratada con biosólidos, 4.40 mg kg^{-1} , que en el tratamiento con composta, 3.42 mg kg^{-1} , y en el testigo, 4.13 mg kg^{-1} . Una explicación para la mayor cantidad de Cu es que los biosólidos utilizados contenían gran cantidad de Zn, elemento antagonista en la absorción de las plantas, por lo que el Cu se halla en desventaja. No se detectaron cadmio ni cromo, pues no se encuentran en forma disponible en el suelo. Es importante mencionar que los metales pesados pueden acumularse en las plantas en varios grados, dependiendo del tipo de suelo, pH, concentración de elementos, especies de plantas y tasas de aplicación (Alberici *et al.*, 1989). Las plantas que acumulan fácilmente Zn, Cu, Cd y Ni, entre otros, afectan sus procesos fisiológicos, como la transpiración, respiración y fotosíntesis, y su desarrollo puede estar visiblemente inhibido, ya sea por falta de crecimiento, desarrollo o reproducción.

En las semillas de haba de las parcelas tratadas con biosólidos y composta se detectó mayor contenido de Ni, 4.35 y 4.20 mg kg^{-1} , respectivamente, mientras que el testigo presentó 3.12 mg kg^{-1} . Los valores de las parcelas tratadas rebasan los intervalos máximos permisibles propuestos por la mayoría de los autores presentados en el cuadro 6. El Ni es un metal en cuya fase soluble es rápidamente absorbido por la planta, para después almacenarlo en las hojas y, sobre todo, en la semilla. Los rangos de toxicidad por Ni en las plantas, según Kloke *et al.* (1994) y MacNicol y Becket (1985), son de $10\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$; o bien, algunos vegetales se ven afectados por rangos de $10\text{-}30 \text{ mg kg}^{-1}$. Las plantas no presentaron síntomas de toxicidad como clorosis, que es inducida por la falta de Fe, consecuencia de un exceso de Ni (Kabata y Pendias, 2001).

Ilustración 4. Concentración de metales pesados totales en semilla de haba (media y desviación estándar $n=3$).



La concentración de Zn se encuentra ligeramente más elevada en la semilla del tratamiento con composta, 66.43 mg kg^{-1} , que en la de biosólidos 63.43 mg kg^{-1} (testigo, 64.3 mg kg^{-1}), debido a que el composteo permite mayor disponibilidad de los metales pesados, sobre todo Zn, que es un elemento móvil y de rápida absorción en la planta (Castellanos *et al.*, 2000). Dado que el Zn y el Cu son elementos antagonistas; el primero presentó mayor concentración en la semilla y el segundo, una disminución.

Valor nutrimental de la semilla

Los parámetros que se analizaron para la calidad nutrimental de la semilla de haba no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos. Sin embargo, existen ciertas tendencias en algunos de los análisis, como se aprecia en el cuadro 7.

Cuadro 6. Concentraciones e intervalos permisibles para metales pesados en plantas.

Metal	Loué (1988)	Bohn <i>et al.</i> (1993)	Kabata y Pendias (2001)	Ortiz (1994)	Calvo <i>et al.</i> (1999)
mg kg^{-1} ps					
Cadmio	NR	0.1-0.8	0.5	NR	NR
Cobre	3-6	4-15	30	6-40	5-20
Cromo	NR	NR	2	0.22-2.07	NR
Níquel	NR	1	3	0.14	NR
Zinc	20-50	8-15	55	31-36	25-150

NR: no reportado.

Cuadro 7. Análisis de calidad nutrimental en haba (*Vicia faba* L.).

	Humedad			Cenizas			Proteína			Grasa			Fibra			Almidón		
	%									g 100g ⁻¹ , de haba comestible								
	T [†]	B [‡]	§C	T [†]	B [‡]	§C	T [†]	B [‡]	§C	T [†]	B [‡]	§C	T [†]	B [‡]	§C	T [†]	B [‡]	§C
	7.93	72.72	71.20	4.14	4.31	4.61	23.20	25.49	24.27	2.81	3.40	3.33	11.11	9.85	10.34	41.02	39.15	42.92
1*		78			4.0				21-41				8.0-15					30-42.3
SD	1.75	4.98	1.64	0.20	0.35	0.12	0.97	1.15	2.40	0.53	0.48	0.30	1.34	0.98	1.09	4.24	5.24	4.40

[†]Suelo sin tratamiento, [‡]Suelo acondicionado con biosólidos prensados, [§]Suelo acondicionado con composta.

1*: INEGI (1995) y Franco (1997).

SD: desviación estándar para $n=3$.

Los porcentajes de humedad y cenizas correspondientes a cada uno de los tratamientos no presentan diferencias entre sí. El porcentaje de humedad en semilla de haba reportado por el INEGI (1995) es del 78%, pero es variable según el tipo de haba; el porcentaje de cenizas reportado es de 4.0%. La proteína aumentó de 23.20 a 25.4 g 100 g⁻¹ de haba comestible con la aplicación de los biosólidos, posiblemente porque la semilla del tratamiento con biosólidos presentó mayor concentración de Cu, el cual juega un papel importante en la síntesis de proteínas (Cervantes, 1999; Castellanos *et al.*, 2000). Cuando existe una alta concentración de Cu en la planta, ésta induce la producción de proteínas con el fin de estabilizar la concentración de Cu en la célula (Tomsett y Thurman, 1988; Cervantes, 1999).

La concentración de grasa también aumentó: del 2.81 al 3.40 g 100 g⁻¹ de haba comestible con el tratamiento con biosólidos, debido a que el Cu juega un papel importante también en la síntesis de lípidos (Barón *et al.*, 1995). Por ello, el mecanismo para tolerar las concentraciones de metales pesados es un aumento en la síntesis de lípidos (Zeiger, 1998).

Por el contrario, la fibra disminuye con el tratamiento con composta y, sobre todo, con el de biosólidos: de 11.11 a 9.85, y a 10.3 g 100 g⁻¹ de haba comestible, respectivamente. En presencia de agentes que produzcan estrés en la planta, como bacterias, hongos y metales pesados, se sintetiza rápidamente la fibra, constituida por lignina, para formar una barrera o pared, y así bloquear los contaminantes (Zeiger, 1998). Sin embargo, en algunas plantas puede suceder lo contrario: una disminución de lignina, pero un aumento de proteínas y grasa, como mecanismo de protección.

El contenido de almidón en la semilla fue menor en el tratamiento con biosólidos (41.02 a 39.15 g 100 g⁻¹ de haba comestible), pero mayor en el tratamiento con composta (41.02 a 42.92 g 100 g⁻¹ de haba comestible), lo cual se atribuye a que la semilla, en este último, presentó

una mayor concentración de Zn disponible, elemento que participa activamente en la formación del almidón. Vaca *et al.* (2000), al aplicar diferentes concentraciones de biosólidos al cultivo de haba, observaron en análisis microscópico de la raíz de la planta, una disminución del contenido de almidón en las células conforme aumentaba la concentración de biosólidos.

De acuerdo con los resultados del análisis nutrimental, los valores de humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra y almidón se encuentran dentro de los intervalos reportados por INEGI (1995) y Franco (1997) (cuadro 7). No se presentaron correlaciones significativas ($p>0.05$) entre los parámetros físicos y químicos del suelo con la calidad nutrimental de la semilla de haba.

Conclusiones

- Se comprobó que la disposición de los biosólidos y composta no implica riesgos ambientales, lo cual permitiría dar una solución al problema de la disposición final de biosólidos en la región.
- La concentración de metales pesados en los biosólidos no rebasa los límites permisibles impuestos por la Norma Oficial Mexicana, lo que implica una baja disponibilidad de metales pesados para las plantas y un uso potencial de biosólidos en la agricultura.
- El composteo de los biosólidos permitió una disminución de coliformes totales y fecales, lo que permite un mejor manejo de los biosólidos.
- Se presentó un aumento significativo (mayor a 40%) de Cr y Ni, y de Cu y Zn (mayor a 20%) en las parcelas tratadas con biosólidos y composta. No obstante, ninguno de los tratamientos rebasó los límites permisibles de éstos.
- La disponibilidad de los elementos Cu, Zn y Ni fue significativamente mayor en los suelos acondicionados con biosólidos y composta.

- Las plantas de haba mostraron un mejor crecimiento en las parcelas acondicionadas con biosólidos, esto es un rendimiento tres veces mayor al testigo.
- La semilla de haba no presentó diferencias significativas en las concentraciones de Cu, Ni y Zn.
- Los porcentajes de fibra, proteína, grasa y almidón no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, los porcentajes de almidón y fibra fueron menores en las plantas acondicionadas con biosólidos, pero el contenido de proteína y grasa fue mayor. En las plantas acondicionadas con composta, el almidón no tendió a aumentar.
- La productividad y el rendimiento del cultivo de haba de las parcelas acondicionadas con biosólidos fueron mayores. No obstante, la composta da una mayor estabilidad, eliminando los microorganismos patógenos y el mal olor.

Agradecimientos

A la operadora de Ecosistemas, S.A. de C.V., macroplanta Toluca Oriente, Estado de México, México.

Recibido: 03/09/2004
Aprobado: 04/01/2005

Referencias

- ALBERICI, T.M., SOPPER, W.E., G.L. y YAHNER, R.H. Trace metals in soil, vegetation and voles from mine land treated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* Vol. 18, 1989, pp. 115-120.
- ALBINO, G.R. *Adición de lodos residuales a un cultivo de pasto forrajero (Lolium multiflorum)*. Congreso Nacional de Geoquímica. México: Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 2000.
- ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley and Sons, 1990.
- AOAC. Association of the Official Analytical Chemist. *Official Methods of Analysis* Vol. II. Washington D.C.: AOAC, 1990.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19a ed., Washington, D.C.: APHA, AWWA & WEF, 1995.
- BARÓN, N.R., ARELLANO, J.B. y LÓPEZ, J.G. Coper and photosystem II. A controversial relationship. *Physiol. Plant.* Vol. 94, 1995, pp. 174-180.
- BATEMAN, V.J. *Manual de métodos analíticos*. México: Herrero Hermanos, 1970.
- BINDER, D.L., DOBERMANN, A., AANDER, D.H. y GASSMAN, K.G. Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 66, 2002, pp. 531-543.
- BOHN, L.H., McNEAL, L.B. y O'CONNOR, A.J. *Química de suelos*. México: Limusa, 1993.
- BOUYUCOS, G.V. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Sci.* Vol. 42, 1963, pp. 23-30.
- BRAY, R.H. y KURT, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphates in soils. *Soil Sci.* Vol. 59, 1966, pp. 39-45.
- BREMNER, J.M. *Nitrogen-Total*. In Sparks DL. Ed. Methods of soil analysis. Part 3 Chemical methods. SSSA Book Ser 5. SSSA, Madison, WI, 1996, pp. 1103-1108.
- BROFAS, G., MICHPOULOS, P. y ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. *J. Environ. Qual.* Vol. 29, 2000, pp. 811-816.
- CALVO, M., CHACÓN, A., GUTIÉRREZ, A. y ANGULO, I. *Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión*. México: Mundiprensa, 1999.
- CARMONA, A., GARCÍA, M. y AZAOLA, E. Determinación de las condiciones óptimas para la obtención de compostas de alta calidad agronómica. *Biotecnología*. Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. Vol. 3, núm. 4, 1994, pp. 12-20.
- CASTELLANOS, J.Z., UVALLE, B.J. y AGUILAR, S.A. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2ª edición. México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, 2000.
- CERVANTES, C. *Contaminación ambiental por metales pesados*. Primera edición. México: AGT, 1999.
- CHAPMAN, D.H. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México: Trillas, 1973.
- CRIPPS, W., WINFREE, S.K. y REAGAN, J.L. Effects of sewage sludge application method on corn production. *Soil. Sci. Plant Anal.* Vol. 23, 1992, pp. 1705-1715.
- CUADROS, V.P. *Efecto de la fecha de siembra sobre el cultivo de haba (Vicia faba) en el municipio de Toluca*. Tesis de licenciatura. Toluca, México: Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, 1989.
- DARMONY, G.R., FOSS, E.J., McINTOSH, M., y WOLF, D. Municipal sewage sludge compost amended soils: Some spatiotemporal treatment effects. *J. Environ. Qual.* Vol. 12, 1983, pp. 231-235.
- ELLIOT, H.A., O'CONNOR, G.A. y BRINTON, S. Phosphorous leaching from biosolids-amended sandy soils. *J. Environ. Qual.* Vol. 31, 2002, pp. 681-689.
- EPA. Environmental Protection Agency. *Composting of municipal wastewater sludges*. EPA/625/4-85/014. Cincinnati Ohio, 1985.
- EPA. Environmental Protection Agency. *Samples procedures and protocols for the national sewage sludge survey*. WH-

- 552, EPA, Washington D.C.: Office of water regulations and standards, 1988.
- ERNEST, W.H. *Plant adaptation to environmental stress*. Londres: Chapman & Hall, 1993.
- FAO-UNESCO. Soil map of the world, revised legend. *World Soil Resources*. Roma: FAO, 1990.
- FRANCO, M.O. *Evaluación del rendimiento de vaina en estado fresco de seis líneas y tres poblaciones criollas de haba (Vicia faba) en dos localidades Valle de Toluca-Lerma*. Tesis de licenciatura. Toluca, México: Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, 1997, 82 pp.
- GARCÍA, E. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptado a las condiciones de la república mexicana)*. Cuarta edición. México: UNAM, Instituto de Geografía, 1988, pp. 39-41.
- GARRIDO, S.E., VILCHIS, J.A., ANDRÉ, C., GARCÍA, J.J., ÁLVAREZ, A. y GOROSTIETA, E. Aerobic thermophilic composting of wastewater sludge. *Resources, conservation and recycling*. Vol. 34, 2002, pp. 161-173.
- GÓMEZ, B.G. *Variación estacional de metales pesados en lodos residuales de la planta Toluca Oriente México*. Tesis de licenciatura. México, D.F.: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México, 1998, 72 pp.
- INEGI. *Anuario estadístico del Estado de México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1999.
- INEGI. *El sector alimentario en México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1995.
- JACKSON, L.M. *Análisis químico de suelos*. Cuarta edición. Barcelona: Omega, 1982.
- JAMES, B.E. y ASCHMANN, S.G. Soluble phosphorous in a forest soil Ap horizon amended with municipal wastewater sludge or compost. *Soil. Sci. Plant Anal.* Vol. 23, 1992, pp. 861-875.
- KABATA-PENDIAS, A. Agricultural problems related to excessive trace metals contents of soil. *Concerning heavy metals: problems and solutions*. Salomons, W., Förstner, U. y Mader, P. (editores). Berlín: Springer-Verlag, 1995, pp. 19-31.
- KABATA-PENDIAS, A. y PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. Tercera edición. Boca Ratón, Florida: CRC Press, 2001.
- KAY, D.E. *Legumbres alimenticias*. Zaragoza, España: ACRIBIA, 1979.
- KLOKE, A., SAUERBECK, D.R. y VETTER, H. The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chain. *Changing metals cycles and human health*. Berlín: Dahlem, 1984, pp. 113-125.
- KORBOULEWSKY, N., DUPOUYET, S. y BONIN, G. Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorous accumulation. *J. Environ. Qual.* Vol. 31, 2002, pp. 1522-1527.
- KORENTANJER, L. A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards. *Water, air and soil pollution*. Vol. 17, 1991, pp. 189-196.
- KUHLMAN, L.R. Windrow composting of agricultural and municipal waste. *Resources, conservation and recycling*. Vol. 4, 1990, pp. 151-160.
- LESTER, N. *Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes*. Vol. II. Treatment and Disposal. Florida: CRC Press. 1987.
- LINDSAY, W.L. y NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* Vol. 42, 1978, pp. 421-428.
- LOGAN, T.J., CHANG, A.C., PAGE, A.L. y GANJE, T.L. Accumulation of selenium in crops grown on sludge treated soil. *J. Environ. Qual.* Vol. 16, 1987, pp. 349-352.
- LOUÉ, A. *Los microelementos en agricultura*. México, D.F.: Mundiprensa, 1988.
- LU, P. y O'CONNOR, G.A. Biosolids effects on phosphorous retention and release in some sandy Florida soils. *Soils J. Environ. Qual.* Vol. 30, 2001, pp. 1059-1063.
- MACNICOL, R.D. y BECKETT, P.H. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil*. 1985, p. 107.
- NIKOLAIDIS, N.P., CHEDA, P., LACKOVIC, J.A., GUILLARD, K., SIMPSON, B. y PEDERSON, T. Nitrogen mobility in biosolid-amended glaciated soil. *Water Environ. Res.* Vol. 71, 1999, pp. 368-376.
- NMX-AA-113-SCFI/1999. Norma mexicana, análisis de agua - Determinación de huevos de helminto. Método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. México, 5 de agosto de 1999.
- NOM-052-SEMARNAT-1993. Norma Oficial Mexicana, que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. *Diario Oficial de la Federación*. 23 de octubre de 1993.
- NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. *Diario Oficial de la Federación*. 15 de agosto de 2003.
- NOM-F-90-S-1978. Determinación de fibra cruda en alimentos. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación*, México, 27 de marzo de 1979.
- NRC. *Use of reclaimed water and sludge in food crop production*. Washington, D.C.: National Research Council, 1996.
- OBERHASTER, G. South African practice in land disposal of sludge, including legislation and health aspects. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 15, 1991, pp. 151-155.
- ORTIZ, H.L. *Caracterización y propuesta de manejo de lodos*

- residuales de la planta de tratamiento de Civac, estado de Morelos. Tesis de maestría. México, D.F.: Facultad de Ciencias de la UNAM, 1994.
- OTTE, L. y WHITE, M. Environmental variation between habitats and uptake of heavy metals by *Urtica dioica*. *Environ. Monito. and Asses.* Vol. 25, 1993, pp. 263-275.
- PAGE, A., GLEASON, J., ISANDAR, I. y SOMMERS, L. *Utilization of municipal wastewater and sludge on land*. Proc. Workshop USEPA. Universidad de California, 1983.
- PIATKIN, P.D. *Microbiología*. Segunda edición. Moscú: MIR, 1986.
- PORTA, J., LÓPEZ, A.M. y ROQUERO, C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundiprensa, 1999.
- SAGAR. *Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. Tomo I. México, D.F.: Centro de Estadística Agropecuario, Secretaría de Agricultura, 1995.
- SARH. *Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. Tomo I. Datos básicos agrícolas de la Subdelegación de Planeación, Estado de México. México, D.F.: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1990.
- SCOTT, B. y AHLSTROM, P.E. Irradiation of municipal sludge for agricultural use. *Radiat. Chem.* Vol. 28, 1985, pp. 1-3.
- SIDDIQUE, M.T., ROBINSON, J.S. y ALLOWAY, B.J. Phosphorous reactions and leaching potential in solid amended with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* Vol. 29, 2000, pp. 1931-1938.
- TCCA. The Composting Council. *Compost facility operating guide*. Alexandria, EU: TCCA, 1993.
- TISDALE, S. y NELSON, W. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell*. Ediciones Mundi-Prensa, 1992, 1045 pp.
- TOMSETT, A.B. y THURMAN, D.A. Molecular biology of metal tolerance of plants. *Plant Cell Environ.* Vol. 11, 1988, pp. 383-394.
- THORNE, E.M., ZAMORA, A.B. y KENNEDY, C.A. Sewage sludge and mycorrhizal effects on sear bluebunch wheatgrass in mine spoil. *J. Environ. Qual.* Vol. 27, 1998, pp. 1228-1233.
- VACA-PAULÍN, P., GUADARRAMA, M. y LUGO DE LA FUENTE, J. *Comparación anatómico estructural y determinación de metales pesados en Vicia Faba cultivada en suelos acondicionados con lodos residuales*. Congreso Universitario Internacional de Edafología. Nicolás Aguilera. México, 2000.
- VAN LOON, C.J. *Selected methods of trace metal analysis. Biological and environmental samples*. Vol. 18. Toronto: Wiley Science Publication, 1998.
- VANGRONSVELD, J. y CLIJSTER, H. Toxic effects of metal. *Plants and chemical elements*. Farago, M. (editor). Weinheim, Alemania: VCH Verlagsgesellschaft, 1994, pp. 149-177.
- XIN-TAO, H., TRAINA, J. y LOGAN, J. Chemical properties of municipal solid waste composts. *J Environ. Qual.* Vol. 21, 1992, pp. 318-329.
- ZEIGER, T. *Plant physiology*. Segunda edición. Massachussets: Sinaver Associates, 1998.
- ZHU, B. y ALVA, A.K. Differential adsorption of trace metals by soils as influenced by exchangeable cations and ionic strength. *Soil Sci.* Vol. 155, 1993, pp. 61-66.

Abstract

GARRIDO-HOYOS, S., MARTÍN-DEL CAMPO, SÁNCHEZ, M.G., GÓMEZ-BELTRÁN, G., VACA-PAULÍN, R. & LUGO-DE LA FUENTE, J.A. Use of biosolids and compost in broad bean crop (*Vicia faba L.*). Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XX, no. 4, October-December, 2005, pp. 121-135.

*The final use that may be given to biosolids resulting from the treatment of municipal wastewater depends on its physical, chemical, and microbiological characteristics. Its content of organic matter and essential elements may allow it to be used for agricultural fertilization purposes. The objective of this study was to investigate the accumulation of heavy metals in the soil and in the broad bean crop (*Vicia faba L.*), as well as the nutritional quality of broad bean seeds treated with biosolids and compost coming from a wastewater treatment plant from the Mexican Plateau. Three treatments were used: biosolids, compost applying a dose of 4.5 ton ha⁻¹, with a control. The results were: The pH was slightly acid in the soil treated with biosolids (6.71). Organic matter (OM) and cation exchange capacity (CEC) did not represent significant differences. The total concentrations of Cr, Zn, Ni and Cu in the soil showed significant differences ($p < 0.05$) between the treated soil and the control, Cd was not detected. Cu was the metal that showed to be more available in the soil treated with compost (15.31%), Cd and Cr were not detected. Plants showed a greater growth with biosolids (112.22 cm) and compost (103.73 cm); a higher productivity in green broad bean and in seed yield, especially in plots that contained biosolids, and this was three times higher when compared to the control. As far as the broad bean seeds were concerned, the content of ashes, fiber, fats, protein, starch, and heavy metals (Cu, Ni and Zn) showed no significant differences between the treatments. Cd and Cr were not detected. Finally, it was proved that the use of biosolids and compost in this study does not imply environmental risks, which would provide a solution to the problem of the final disposal of biosolids in this region.*

Keywords: *agricultural land application, biosolids, compost, heavy metals, nutritional quality.*

Dirección institucional de los autores:

Dra. Sofía E. Garrido-Hoyos

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,
Paseo Cuauhnáhuac 8532,
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos, México,
teléfono: + (52) (777) 329 3662,
fax: + (52) (777) 319 4381,
sgarrido@tlaloc.imta.mx

*M. en C. María Guadalupe Martín-del Campo Sánchez
Ing. Guillermina Gómez-Beltrán*

Centro Interamericano de Recursos del Agua,
Facultad de Ingeniería,
Cerro de Coatepec, C.U. Toluca, C.P. 50130, México,
teléfono: + (52) (722) 296 5550,
fax: + (52) (722) 296 5551,
malumdc@yahoo.com.mx

*M. en C. Rocío Vaca-Paulín
Dr. Jorge Alberto Lugo-de la Fuente*

Universidad Autónoma del Estado de México,
Facultad de Ciencias Agrícolas,
El Cerrillo, Piedras Blancas, 50200, Toluca,
Estado de México, México,
teléfono: + (52) (722) 296 5553,
fax: + (52) (722) 296 5554,
fcagrico@uaemex.mx